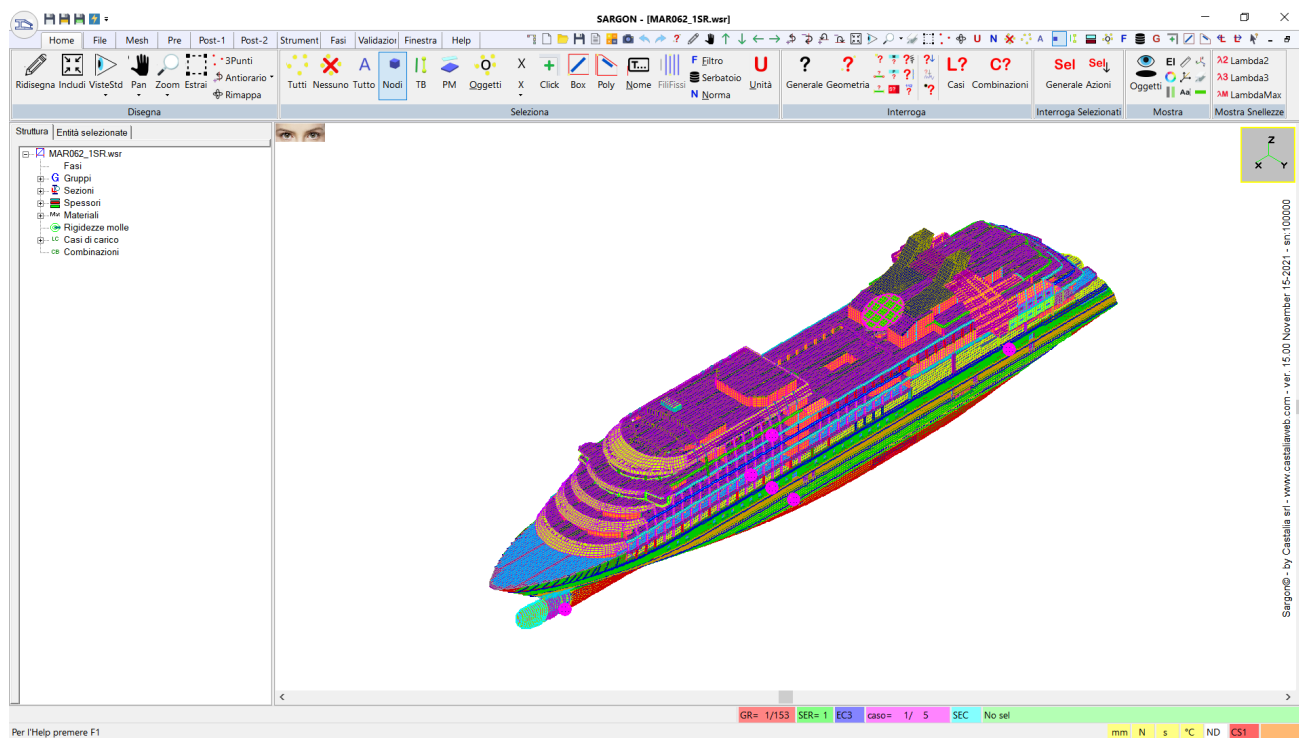




# Sargon - Guida

Versione 18.00



# CASTALIA

<http://www.castaliaweb.com>  
Via XX Settembre, 39  
26900 Lodi  
[staff@castaliaweb.com](mailto:staff@castaliaweb.com)  
Copyright 1991-2026 - Castalia srl

Revisione 43 del 30 Giugno 2026





# Premessa

---

*Sargon è un vasto ed ambizioso programma di calcolo dedicato al calcolo delle strutture. Il progetto è incominciato verso l'inizio degli anni '90 e dura ancora oggi: molte migliaia di ore di lavoro, studio e ricerca sono state dedicate a questo progetto.*

*Oltre dalla guida, qui presente, il programma è illustrato da numerosi filmati e lezioni reperibili all'indirizzo web:  
[www.castaliaweb.com](http://www.castaliaweb.com)*

*Vi preghiamo di segnalare eventuali inesattezze o parti che richiedano miglior approfondimento scrivendoci a [staff@castaliaweb.com](mailto:staff@castaliaweb.com).*

*Grazie*

**Paolo Rugarli**

# Help di SARGON

**Sargon - 1991-2026 - Copyright Castalia srl - Milan - Italy - [www.castaliaweb.com](http://www.castaliaweb.com)**

Tutti i diritti riservati. Nessuna parte di questo lavoro può essere riprodotta in qualsiasi forma o mediante qualsiasi mezzo - grafico, elettronico - o meccanico inclusa la fotocopiatura, la registrazione - senza il consenso scritto del produttore. Fa eccezione l'uso interno alle loro strutture dei licenziatari del prodotto.

I prodotti a cui ci si riferisce in questo documento possono essere marchi commerciali e/o marchi commerciali registrati dei rispettivi proprietari. Il produttore e gli autori non hanno alcun diritto su questi marchi commerciali.

Sebbene ogni precauzione sia stata esercitata nella preparazione di questo documento, il produttore e gli autori non si assumono alcuna responsabilità per gli eventuali errori od omissioni, o per i danni derivanti dall'uso delle informazioni contenute in questo documento o dall'uso del programma che lo accompagna. In nessun caso il produttore e gli autori saranno perseguibili per qualsiasi perdita di profitto o ogni altro danno commerciale causato o sostenuto esser stato causato direttamente o indirettamente da questo documento

Creato: 01/07/2026 in Milano

All rights reserved. No parts of this work may be reproduced in any form or by any means - graphic, electronic, or mechanical, including photocopying, recording, taping, or information storage and retrieval systems - without the written permission of the publisher.

Registered user can freely copy this document for internal use only.

Products that are referred to in this document may be either trademarks and/or registered trademarks of the respective owners. The publisher and the author make no claim to these trademarks.

While every precaution has been taken in the preparation of this document, the publisher and the author assume no responsibility for errors or omissions, or for damages resulting from the use of information contained in this document or from the use of programs and source code that may accompany it. In no event shall the publisher and the author be liable for any loss of profit or any other commercial damage caused or alleged to have been caused directly or indirectly by this document.

Created: 01/07/2026 in Milan

**Produttore:**

*Castalia srl*

**Autore di Sargon:**

*Ing. Paolo Rugarli*

**Guida a cura di:**

*Ing. Paolo Rugarli*

**Web:**

*[www.castaliaweb.com](http://www.castaliaweb.com)*

**Assistenza:**

*[staff@castaliaweb.com](mailto:staff@castaliaweb.com)*

# Sommario

Premessa	27
<b>Parte I Introduzione</b>	<b>29</b>
1 Sargon: a cosa serve, a chi è diretto	30
2 Polisar: a cosa serve, a chi è diretto	33
3 Struttura del programma	34
4 Itinerario di lavoro tipico	35
5 L'interfaccia grafica	36
6 Funzionamento dei comandi	63
Comandi modali e non modali	63
Dare un box	64
Dare una poligonale	65
7 Estensioni dei file gestiti	66
<b>Parte II Come...</b>	<b>69</b>
1 Avere aiuto	70
2 Uscire da Sargon	70
3 Come utilizzare le modalità di rappresentazione	71
4 Creare una mesh	72
Cosa è una mesh	73
I mattoni fondamentali	74
Nodo	75
Trave	76
Biella	78
Piastra	79
Membrana	80
Molla	81
Superelemento	82
Solido	82
Creazione o modifica della mesh in Sargon	83
Importazione della mesh o del modello fatto altrove	86
Importare .srg	86
Importare .dxf	87
Importare .esd	88
Importare .anf	91
Importare .sdb	93
Importare .std	103
Importare .dat	121
Importare .mct	129
Importare .r3d	141
Export dei dati sezionali (Esportare .arf)	147
Collegamento bidirezionale con Strucad	147
Uso dei comandi di meshing automatico	149
5 Cambiare unità di misura	156

<b>6</b>	<b>Cambiare la vista.....</b>	<b>157</b>
<b>7</b>	<b>Selezionare.....</b>	<b>159</b>
	Generalità .....	159
	Strumenti di Selezione .....	161
	Filtri di Selezione .....	162
	Modalità di Selezione .....	162
	Operazione di Selezione .....	162
	Esempi .....	163
	Serbatoi di Selezione .....	165
<b>8</b>	<b>Influire sul modo di rappresentare.....</b>	<b>165</b>
<b>9</b>	<b>Gestire vincoli e svincoli.....</b>	<b>166</b>
	Come attribuire vincoli fissi .....	166
	Come attribuire svincoli .....	167
	Come applicare molle .....	167
	Come applicare i cedimenti .....	168
<b>10</b>	<b>Gestire le azioni.....</b>	<b>168</b>
	Casi di carico (Dialogo) .....	169
	Combinazioni di carico (Dialogo) .....	170
	Azioni (Dialogo) .....	172
<b>11</b>	<b>Gestire gli archivi.....</b>	<b>179</b>
<b>12</b>	<b>Assegnare materiali sezioni e proprietà.....</b>	<b>180</b>
<b>13</b>	<b>Avere informazioni sul modello.....</b>	<b>181</b>
<b>14</b>	<b>Gestire i nomi degli oggetti.....</b>	<b>182</b>
<b>15</b>	<b>Gestire i gruppi.....</b>	<b>183</b>
<b>16</b>	<b>Preparare ed eseguire il solving.....</b>	<b>185</b>
	Analisi statica con solutori esterni .....	186
	Analisi statica con CLEVER .....	187
	Analisi modale con LEDA .....	188
	Analisi a spettro di risposta con SPECTRUM .....	195
	Analisi di buckling con BUCKL .....	209
	Analisi non lineari con il solutore CURAN .....	213
	Analisi di frequency response con FREQUENCY .....	250
	Analisi di Time History Modale .....	254
	Analisi di Time History Non Lineare .....	267
	Aree di taglio .....	267
	Tension stiffening .....	268
	Memoria .....	268
	Rinumerazione .....	270
	Pseudolabilità .....	271
	Scelta degli elementi finiti .....	273
	Controllo della bontà del calcolo .....	277
<b>17</b>	<b>Preparare ed eseguire le verifiche.....</b>	<b>283</b>
	Coefficienti di libera inflessione .....	284
	Riduzione dell'area per i fori .....	287
	Superelementi .....	287
	Scelta della normativa .....	290
	Esecuzione delle verifiche .....	291
	Verifiche Libere .....	291
<b>18</b>	<b>Esaminare e trattare i risultati.....</b>	<b>318</b>

Deformata .....	319
Diagrammi .....	319
Reazioni Vincolari .....	321
Sforzi in piastre membrane e solidi .....	321
Verifiche .....	332
Tabulato .....	334
Stampa .....	334
Trasferimento d'immagini .....	335
Sforzi in travi e bielle .....	335
<b>19 Usare Autocad con Sargon.....</b>	<b>337</b>
<b>20 Come generare le combinazioni.....</b>	<b>346</b>
<b>21 Come generare i disegni.....</b>	<b>348</b>
<b>22 Come gestire elementi su suolo elastico.....</b>	<b>354</b>
<b>23 Come gestire le eccentricità (offset).....</b>	<b>361</b>
<b>24 Come eseguire la verifica con il "metodo generale".....</b>	<b>368</b>
<b>25 Come resettare il registro cancellando le chiavi.....</b>	<b>380</b>
<b>26 Come usare i comandi di validazione.....</b>	<b>380</b>
Legenda dell'informativa .....	396
<b>27 Come eseguire la verifica di capacità (capacity design).....</b>	<b>409</b>
Brevi richiami .....	410
Limiti delle prescrizioni delle normative .....	413
Modalità di implementazione in Sargon .....	422
<b>28 Come gestire il report.....</b>	<b>436</b>
<b>29 Come eseguire analisi di pushover e di verifica delle capacità.....</b>	<b>439</b>
<b>30 Come utilizzare la versione a 64 bit.....</b>	<b>464</b>
<b>31 Come gestire gli accelerogrammi.....</b>	<b>465</b>
<b>32 Come eseguire la verifica di bulloni e saldature.....</b>	<b>466</b>
<b>33 Come eseguire analisi sismiche di time history.....</b>	<b>467</b>
<b>34 Come gestire i jnodi.....</b>	<b>467</b>
<b>35 Come saperne di più sul metodo neodeterministico per la determinazione della pericolosità sismica.....</b>	<b>475</b>
<b>36 Come affrontare le analisi sismiche con i segnali.....</b>	<b>483</b>
<b>37 Come utilizzare EDEM (Elastic Deformation Energy Method).....</b>	<b>503</b>
<b>38 Come gestire le analisi per fasi.....</b>	<b>529</b>
<b>39 Come ottenere le forze mancanti (section cut).....</b>	<b>542</b>
<b>40 Come creare il report dei giunti.....</b>	<b>545</b>
<b>41 Come gestire spettri di inviluppo di segnali.....</b>	<b>553</b>
<b>42 Come fare analisi dinamiche non lineari.....</b>	<b>553</b>
<b>43 Come usare il formato IFC.....</b>	<b>584</b>
<b>44 Come fare le verifiche sul calcestruzzo armato.....</b>	<b>586</b>

## **Parte III I comandi** **611**

<b>1 Menu File, Ribbon: File, Strumenti.....</b>	<b>612</b>
--	------------

<b>Nuovo</b> .....	<b>612</b>
<b>Azzera Timer</b> .....	<b>612</b>
<b>Apri</b> .....	<b>612</b>
<b>Salva</b> .....	<b>612</b>
<b>Salva In</b> .....	<b>613</b>
<b>Impostazioni</b> .....	<b>613</b>
Impostazioni generali all'avvio (Dialogo).....	613
<b>Salva Configurazione</b> .....	<b>614</b>
<b>Stampa</b> .....	<b>614</b>
<b>Anteprima di stampa</b> .....	<b>615</b>
<b>Setup stampante</b> .....	<b>615</b>
<b>Titolo</b> .....	<b>615</b>
Titolo di stampa (Dialogo).....	616
<b>Commento</b> .....	<b>616</b>
Note di commento al modello (Dialogo).....	616
<b>Analizza</b> .....	<b>617</b>
Analizza (Dialogo).....	617
Analisi statica nonlineare (Dialogo).....	620
Acquisizione dati per analisi non lineare (Dialogo).....	621
Analisi modale (Dialogo).....	625
Analisi a spettro di risposta (Property sheet).....	626
Definizioni degli spettri dei sismi possibili (dialogo).....	626
Spettro X, Y, Z (Property pages).....	627
Combinazione dei modi e fattori di errore (Property page).....	627
Analisi di buckling (Dialogo).....	633
Frequency response (Dialogo).....	634
Time History Modale (Dialogo).....	635
Time History Non Lineare (Dialogo).....	640
Tipo di elementi finiti (Dialogo).....	645
Rinumerazione (Dialogo).....	646
Memoria (Dialogo).....	647
<b>Crea Input</b> .....	<b>648</b>
Scrittura dell'input file (Dialogo).....	649
<b>Importa risultati</b> .....	<b>649</b>
Lettura dei risultati del solving (Dialogo).....	652
<b>Crea listato</b> .....	<b>652</b>
Creazione del listato (Property sheet).....	653
Lingua (Property page).....	653
Geometria e proprietà (Property page).....	654
Casi combinazioni e azioni (Property page).....	654
Risposta strutturale (Property page).....	654
Verifiche (Property page).....	654
<b>Crea Report</b> .....	<b>654</b>
Impostazioni Report ePUB (dialogo).....	655
<b>Esporta</b> .....	<b>656</b>
<b>Importa</b> .....	<b>657</b>
<b>Crea file avi...</b> .....	<b>658</b>
Creazione di un file AVI.....	660
<b>Fondi</b> .....	<b>662</b>
<b>Aggiorna</b> .....	<b>663</b>
<b>Comandi</b> .....	<b>665</b>
<b>Calcolatrice</b> .....	<b>681</b>
<b>Esci</b> .....	<b>681</b>
<b>2 Creazione di un file (Dialogo)</b> .....	<b>682</b>

<b>3 Menu Mostra, Ribbon: Home</b>	<b>683</b>
<b>Personalizza interfaccia</b>	<b>683</b>
<b>Barra di Stato</b>	<b>690</b>
<b>Aspetto applicazione</b>	<b>690</b>
Win 2000	690
Office XP	690
Windows XP	691
Office 2003	691
Visual Studio 2005	691
Visual Studio 2008	691
Office 2007	691
Blu style	691
Black style	692
Silver style	692
Aqua style	692
Windows 7	692
<b>Assi di riferimento</b>	<b>693</b>
Posizione assi di riferimento (Dialogo)	693
<b>Albero</b>	<b>693</b>
Albero (dialogo)	694
<b>Oggetti</b>	<b>695</b>
Oggetti (Property sheet)	695
Oggetti (Property page)	696
Numerazioni (Property page)	697
Etichette (Property page)	697
Nomi (Property page)	698
Dati numerici (Property page)	698
<b>Dimensioni</b>	<b>699</b>
Dimensione degli oggetti (Dialogo)	699
<b>Colori</b>	<b>700</b>
Colore degli oggetti (Dialogo)	701
<b>Elementi</b>	<b>701</b>
Rappresentazione elementi (Dialogo)	701
<b>Font</b>	<b>702</b>
Font (Property sheet)	702
Numerazioni/Nomi (Property page)	703
Materiale (Property page)	703
Sezione (Property page)	704
<b>Orientazione</b>	<b>704</b>
Rappresentazione del sistema localei (Dialogo)	704
<b>Associa Colore</b>	<b>705</b>
<b>FEM</b>	<b>705</b>
<b>Membrature</b>	<b>706</b>
<b>Solidi FEM</b>	<b>706</b>
<b>Solidi Membrature</b>	<b>707</b>
<b>Solidi Trasparenti Membrature</b>	<b>707</b>
<b>Sezione corrente</b>	<b>708</b>
<b>Spessori</b>	<b>709</b>
<b>Scritte Mobili</b>	<b>709</b>
<b>4 Menu Interroga, Ribbon: Home</b>	<b>710</b>
<b>Dati Generali</b>	<b>710</b>
Interroga generale (Dialogo)	710
<b>Geometria</b>	<b>711</b>

<b>Nodi</b>	<b>711</b>
Interroga nodi (Property sheet).....	712
Geometria (Property page).....	713
Vincoli (Property page).....	713
Masse (Property page).....	713
Altri (Property page).....	713
<b>Travi</b>	<b>713</b>
Interroga travi (Property sheet).....	714
Incidenze (Property page).....	715
Estremo 1 (Property page).....	715
Estremo 2 (Property page).....	715
Beta (Property page).....	715
Snellezze (Property page).....	716
Proprietà (Property page).....	716
Molle (Property page).....	716
Eccentricità (Property page).....	716
Orientazione (Property page).....	717
Altri (Property page).....	717
Suolo (Property page).....	717
Kred (Property page).....	717
<b>Bielle</b>	<b>718</b>
Bielle (Property sheet).....	719
Incidenze, gap e attrito (Property page).....	719
Beta (Property page).....	719
Snellezze (Property page).....	719
Proprietà (Property page).....	720
Orientazione (Property page).....	720
Altri (Property page).....	720
<b>Piastre</b>	<b>720</b>
Piastre (Property sheet).....	721
Incidenze (Property page).....	721
Proprietà (Property page).....	722
Altri (Property page).....	722
<b>Membrane</b>	<b>722</b>
Membrane (Property sheet).....	723
Incidenze (Property page).....	723
Proprietà (Property page).....	724
Altri (Property page).....	724
<b>Solidi</b>	<b>724</b>
Solidi (Property sheet).....	725
Incidenze (Property page).....	725
Proprietà (Property page).....	725
Altri (Property page).....	726
<b>Molle</b>	<b>726</b>
Molle (Property sheet).....	727
Incidenze e direzione (Property page).....	727
Proprietà (Property page).....	727
Altri (Property page).....	728
<b>Superelementi</b>	<b>728</b>
Superelementi (Property sheet).....	729
Incidenze (Property page).....	729
Beta (Property page).....	729
Altri (Property page).....	729
<b>Azioni</b>	<b>730</b>



Azioni presenti (Dialogo).....	730
<b>Risultanti azioni sismiche .....</b>	<b>731</b>
<b>Masse .....</b>	<b>732</b>
Totale massa sui nodi selezionati (Dialogo).....	733
<b>Casi .....</b>	<b>733</b>
Casi di carico (Dialogo).....	734
Caso di carico (Dialogo).....	735
<b>Combinazioni .....</b>	<b>735</b>
Combinazioni (Dialogo).....	736
Combinazione (Dialogo).....	737
<b>Oggetti Selezionati .....</b>	<b>737</b>
Generale.....	737
Oggetti selezionati (Dialogo).....	737
Azioni.....	738
Casi di carico (Dialogo).....	739
Azioni sugli oggetti selezionati (Property sheet).....	739
<b>Mostra Snellezze .....</b>	<b>739</b>
A Lambda 2.....	739
B Lambda 3.....	740
C Lambda Max.....	740
<b>Trova .....</b>	<b>740</b>
Trova (Dialogo).....	741
<b>5 Menu Disegna, Ribbon: Home.....</b>	<b>741</b>
<b>Ridisegna .....</b>	<b>741</b>
<b>Includi .....</b>	<b>742</b>
<b>Pan .....</b>	<b>742</b>
<b>Pan su .....</b>	<b>743</b>
<b>Pan giù .....</b>	<b>743</b>
<b>Pan destra .....</b>	<b>743</b>
<b>Pan sinistra .....</b>	<b>744</b>
<b>Zoom In .....</b>	<b>744</b>
<b>Zoom In Scatto .....</b>	<b>745</b>
<b>Zoom Out .....</b>	<b>745</b>
<b>Zoom Out Scatto .....</b>	<b>745</b>
<b>Ultimo Zoom .....</b>	<b>746</b>
<b>Vista Standard .....</b>	<b>746</b>
Viste standard (Dialogo).....	746
<b>Rimappa .....</b>	<b>747</b>
Mappamondo (Dialogo).....	747
Cambia vista (Dialogo).....	748
<b>Ruota antiorario .....</b>	<b>748</b>
<b>Ruota orario .....</b>	<b>748</b>
<b>Ruota su .....</b>	<b>749</b>
<b>Ruota giù .....</b>	<b>749</b>
<b>Tre Punti .....</b>	<b>749</b>
<b>Estrai .....</b>	<b>750</b>
<b>Definisci vista .....</b>	<b>751</b>
Definizione di una vista utente (Dialogo).....	751
<b>Vista utente .....</b>	<b>751</b>
Richiamo di una vista utente (Dialogo).....	752
<b>Fili fissi... ..</b>	<b>752</b>
Gestione allineamenti (Dialogo).....	752
Aggiunta di un filo fisso (Dialogo).....	754
<b>Tavole... ..</b>	<b>755</b>

Creazione disegni (Dialogo).....	755
<b>6 Menu Seleziona, Ribbon: Home.....</b>	<b>757</b>
<b>Tutti</b> .....	<b>757</b>
<b>Nessuno</b> .....	<b>757</b>
<b>Click</b> .....	<b>758</b>
<b>Box</b> .....	<b>759</b>
<b>Poligonale</b> .....	<b>759</b>
<b>Nome</b> .....	<b>760</b>
Ricerca per nome (Dialogo).....	760
<b>Fili fissi...</b> .....	<b>761</b>
Selezione di luoghi (Dialogo).....	761
<b>Tutto</b> .....	<b>761</b>
<b>Nodi</b> .....	<b>762</b>
<b>Travi e bielle</b> .....	<b>762</b>
<b>Piastre e Membrane</b> .....	<b>763</b>
<b>Oggetti</b> .....	<b>763</b>
<b>Serbatoio...</b> .....	<b>764</b>
Serbatoio di selezione (Dialogo).....	764
<b>Filtro...</b> .....	<b>765</b>
Filtro (Property sheet).....	765
Filtro (Property page).....	766
Filtro elementi (Property page).....	766
Operazione (Property page).....	766
<b>Norma...</b> .....	<b>767</b>
Norma (Dialogo).....	767
Eurocodice 3 - Impostazioni (Property sheet).....	768
Gamma (Property page).....	768
Metodi (Property page).....	769
Mcrit (Svergolamento) (Property page).....	770
Tracciamento (Property page).....	771
Impostazione norme verifiche legno (Dialogo).....	772
<b>Unità...</b> .....	<b>772</b>
Unità di misura (Property sheet).....	772
Lunghezza (Property page).....	773
Forza (Property page).....	773
Tempo (Property page).....	773
Temperatura (Property page).....	773
<b>Vincoli</b> .....	<b>774</b>
<b>Sfruttamenti</b> .....	<b>774</b>
<b>X</b> .....	<b>774</b>
<b>Y</b> .....	<b>775</b>
<b>Z</b> .....	<b>775</b>
<b>XY</b> .....	<b>776</b>
<b>YZ</b> .....	<b>776</b>
<b>XZ</b> .....	<b>776</b>
<b>Sezione precedente</b> .....	<b>777</b>
<b>Sezione successiva</b> .....	<b>777</b>
<b>Sezione ?</b> .....	<b>778</b>
Posizionamento sezione.....	779
<b>7 Menu Mesh, Ribbon: Mesh.....</b>	<b>779</b>
<b>Griglia</b> .....	<b>779</b>
Definizione della griglia (dialogo).....	780
<b>Nodi</b> .....	<b>789</b>

Aggiungi.....	789
Aggiunta di un nodo (Dialogo).....	789
Trasla.....	789
Spostamento dei nodi selezionati (Dialogo).....	790
Trasla 2.....	790
Trasla 2 (Dialogo).....	791
Trasla su superficie.....	792
Spostamento dei nodi su una superficie (dialogo).....	793
Trasla come da spostamenti.....	794
Trasla come da deformata critica.....	794
Trasla Nodi come da Deformata Critica (dialogo).....	795
Ruota.....	797
Rotazione (Dialogo).....	798
Rotazione (Dialogo).....	798
Riposiziona.....	798
Riposizionamento di nodi (Dialogo).....	799
Elimina.....	799
Mostra doppi.....	799
Tolleranza.....	800
Tolleranza sui nodi (Dialogo).....	800
Numerazione.....	800
Sort.....	800
Sorting dei nodi (Dialogo).....	801
<b>Travi e bielle .....</b>	<b>801</b>
Aggiungi.....	801
Aggiunta di travi e bielle (Dialogo).....	803
Aggiunta di un nodo in coordinate relative (Dialogo).....	804
Cancella.....	804
Dividi.....	805
Divisione di bielle e travi (Dialogo).....	805
Dividi BT rastremazione.....	805
Splitta.....	806
Splitting di travi e bielle (Dialogo).....	807
Splitting di travi e bielle (Dialogo).....	808
Splitting di travi e bielle (Dialogo).....	808
Splitta e/o carica.....	808
Splitta e/o carica (Dialogo).....	809
Terzo nodo.....	810
Cambia terzo nodo (Dialogo).....	810
Terzo nodo (Dialogo).....	810
Orientazione.....	811
Orientazione (Dialogo).....	811
Tipo.....	812
Winkler.....	813
Acquisizione parametri fondazione - trave su suolo elastico (Dialogo).....	813
N Iniziale.....	814
Azione assiale iniziale (Dialogo).....	815
Caso di carico (Dialogo).....	815
Fattori riduzione sezione.....	815
Fattori riduttivi o amplificativi delle proprietà sezionali.....	816
Eccentricità.....	817
Eccentricità (Dialogo).....	818
Snap su luogo.....	819
Snap su luogo (Dialogo).....	822

Reimposta eccentricità.....	823
<b>Piastre e membrane .....</b>	<b>825</b>
Aggiungi.....	825
Aggiunta di piastre e membrane (Dialogo).....	828
Modalità di estrusione (Dialogo).....	829
Mesh piana.....	829
Impostazioni (Dialogo).....	830
Cancella.....	833
Dividi.....	833
Divisione di piastre e membrane (Dialogo).....	833
Splitta.....	834
Splitting di piastre e membrane (Dialogo).....	835
Ruota.....	836
Planarità e altri controlli.....	836
Controllo elementi (Dialogo).....	837
Normale.....	839
Tipo.....	839
Winkler.....	840
Definizione della costante di Winkler (Dialogo).....	840
Leggi STL BIN.....	841
<b>Molle .....</b>	<b>841</b>
Aggiungi.....	841
Aggiunta di molle (Dialogo).....	842
Cancella.....	845
Cancella Scariche.....	845
Winkler.....	846
Aggiunta di molle alla Winkler (Dialogo).....	849
<b>Solidi .....</b>	<b>850</b>
Aggiungi.....	850
Aggiunta di solidi (Dialogo).....	850
Cancella SO.....	852
Dividi SO.....	853
Divisione di solidi (Dialogo).....	853
Pentaedrizza.....	854
Tetraedrizza.....	854
<b>Superelementi .....</b>	<b>856</b>
Cerca.....	856
Cancella.....	856
Usa e mostra.....	857
<b>Elementi doppi... ..</b>	<b>857</b>
Elementi doppi (Dialogo).....	858
<b>Nodi doppi .....</b>	<b>858</b>
<b>Auto Allinea .....</b>	<b>859</b>
<b>Cerca intersezioni .....</b>	<b>859</b>
<b>Adaptive Refinement .....</b>	<b>861</b>
Adaptive refinement (Dialogo).....	862
<b>Nodi sui lati .....</b>	<b>863</b>
<b>Copia... ..</b>	<b>865</b>
Scelta del modo in cui fornire l'input (Dialogo).....	867
Copia: vettore traslazione (Dialogo).....	867
<b>Ricopia .....</b>	<b>868</b>
<b>Ruota... ..</b>	<b>868</b>
Rotazione (Dialogo).....	870
Rotazione (Dialogo).....	870

<b>Riruota</b> .....	<b>870</b>
<b>Specchia...</b> .....	<b>871</b>
Specchiatura (Dialogo).....	873
<b>Metamorfosi...</b> .....	<b>873</b>
Metamorfosi (Dialogo).....	873
<b>Gap e attrito...</b> .....	<b>874</b>
Acquisizione di un gap e/o di un coefficiente d'attrito.....	875
<b>Nomi</b> .....	<b>878</b>
Modifica.....	878
Nome (Dialogo).....	880
<b>8 Menu Edit, Ribbon: File, Home, Pre.....</b>	<b>882</b>
<b>Annulla</b> .....	<b>882</b>
<b>Rifà</b> .....	<b>882</b>
<b>Cancella [inattivo]</b> .....	<b>883</b>
<b>Copia</b> .....	<b>883</b>
<b>Cut [inattivo]</b> .....	<b>883</b>
<b>Proprietà</b> .....	<b>883</b>
Sezioni.....	883
Accesso archivio sezioni (Dialogo).....	886
Filtri sulle quantità (Dialogo).....	890
Scelta di un criterio di progetto (Dialogo).....	891
Tipologie sezionali.....	894
Sezioni ad H (saldate o meno) (Dialogo).....	894
Sezioni ad H (Dettagli).....	896
Sezioni a U (saldate o meno) (Dialogo).....	897
Sezioni a U (Dettagli).....	898
Sezioni a T (saldate o meno) (Dialogo).....	898
Sezioni a T (Dettagli).....	900
Sezioni a L (saldate o meno) (Dialogo).....	901
Sezioni a L (Dettagli).....	902
Sezioni rettangolari - Piatti (Dialogo).....	903
Sezioni rettangolari - Piatti (Dettagli).....	903
Sezioni a cassone (Dialogo).....	904
Sezioni a cassone (Dettagli).....	905
Sezioni rettangolari cave (lamine) (Dialogo).....	906
Sezioni laminate rettangolari cave (RHS) (Dettagli).....	907
Sezioni circolari (piene o cave) (Dialogo).....	908
Tondi pieni - Tubi (Dettagli).....	909
Sezioni laminate ad H (Dialogo).....	910
Sezioni laminate ad H (Dialogo).....	911
Sezioni laminate a T (ottenute per taglio di profili ad H laminati)	
(Dialogo) .....	912
Sezioni laminate a T (ottenute per taglio di profili ad H laminati)	
(Dettagli) .....	914
Sezioni IPN (Dialogo).....	915
Sezioni laminate a I (IPN) (Dettagli).....	916
Sezioni laminate a T (Dialogo).....	918
Sezioni laminate a T (Dettagli).....	919
Sezioni laminate a L (Dialogo).....	920
Sezioni laminate a L (angolari) (Dettagli).....	921
Sezioni laminate a U (cantonali) (Dialogo).....	922
Sezioni laminate a U (Dettagli).....	923
Sezioni a C (formate a freddo) (Dialogo).....	924
Sezioni a C (formate a freddo) (Dettagli).....	927

Sezioni a L (formate a freddo) (Dialogo).....	928
Sezioni a L (formate a freddo) (Dettagli).....	930
Sezioni a Z (formate a freddo) (Dialogo).....	932
Sezioni a Z (formate a freddo) (Dettagli).....	934
Sezioni a Omega (formate a freddo) (Dialogo).....	936
Sezioni a Omega (formate a freddo) (Dettagli).....	938
Sezioni formate a freddo (Dialogo).....	939
Scelta del tipo e del modo in cui dare il nuovo lato (Dialogo).....	942
Aggiunta lato rettilineo (Dialogo).....	943
Aggiunta lato rettilineo (Dialogo).....	944
Aggiunta lato rettilineo (Dialogo).....	945
Aggiunta lato curvilineo (Dialogo).....	945
Aggiunta lato curvilineo (Dialogo).....	946
Coordinate del punto iniziale (Dialogo).....	947
Raggio di curvatura interno (Dialogo).....	947
EN1993-1-3 - Gestione delle caratteristiche efficaci dei formati a freddo (Dialogo).....	948
Il tabulato delle caratteristiche efficaci.....	954
Sezioni composte da angolari (Dialogo).....	967
Sezioni composte da angolari (Dettagli).....	969
2 Angolari composti a T.....	969
2 Angolari composti a croce.....	970
4 Angolari composti a croce.....	970
Sezioni composte da cantonali (Dialogo).....	971
Sezioni composte da cantonali (Dettagli).....	973
2 Cantonali a [ ].....	973
2 Cantonali a [ ].....	973
Sezioni composte generiche e sezioni miste (Dialogo).....	974
Sezioni composte generiche (Dettagli).....	986
Sezioni composte da poligonali (Dialogo).....	988
Assunzione di una poligonale chiusa (Dialogo).....	990
Assunzione di una poligonale tipica (Dialogo).....	993
Sezioni poligonali (Dettagli).....	994
Sezioni generiche (Dialogo).....	995
Sezioni generiche (Dettagli).....	996
Archivio sezioni (Dialogo).....	997
Modifica sezione.....	998
Archivio sezioni (Dialogo).....	999
Materiali.....	999
Accesso archivio materiali (Dialogo).....	1001
Archivio materiali (Dialogo).....	1002
Dati di un materiale (Dialogo).....	1003
Dati sul materiale (Property page).....	1005
Legge monoassiale (Property page).....	1005
Plasticità (Property page).....	1011
Modifica materiale.....	1012
Spessori.....	1013
Proprietà piastre e membrane (Dialogo).....	1013
Archivio proprietà (Dialogo).....	1013
Aggiungi semirigidità.....	1014
Molla.....	1014
Modifica semirigidità.....	1015
Archivi.....	1016
Gruppo.....	1016
Gruppi (Dialogo).....	1017

Definizione di un gruppo (Dialogo).....	1017
Beta.....	1017
Coefficienti di libera inflessione (Dialogo).....	1018
Ared.....	1018
Coefficiente id riduzione dell'area (Dialogo).....	1019
Pick bt.....	1019
Pick pm.....	1019
Terreno.....	1020
Suolo alla Boussinesq stratificato (Dialogo).....	1020
<b>Vincoli .....</b>	<b>1021</b>
Vincoli sui nodi.....	1021
Attribuzione dei vincoli (Dialogo).....	1022
Maschera di vincolo.....	1023
Svincoli delle travi.....	1024
Attribuzione di svincoli (Dialogo).....	1025
Proprietà di semirigidità (Dialogo).....	1026
Ritegni.....	1027
<b>Azioni .....</b>	<b>1027</b>
Aggiungi.....	1027
Aggiunta azioni (Dialogo).....	1028
Aggiunta di forze nodali (Dialogo).....	1030
Aggiunto di carichi uniformi (Dialogo).....	1030
Aggiunta di carichi concentrati (Dialogo).....	1030
Aggiunta di carichi lineari (Dialogo).....	1031
Aggiunta di carichi lineari generali (Dialogo).....	1031
Aggiunta di carichi termici (Dialogo).....	1032
Aggiunta di cedimenti (Dialogo).....	1032
Carico per unità di superficie (Dialogo).....	1033
Modifica.....	1033
Azioni presenti (Dialogo).....	1034
Cancella.....	1034
Canc Sel.....	1034
Regione.....	1034
Carichi a regione (Dialogo).....	1035
Carichi a regione standard o proiezione (Dialogo).....	1036
Direzione della normale (Dialogo).....	1037
Intensità (Dialogo).....	1038
Gravità.....	1038
Moltiplicatore di gravità (Dialogo).....	1038
Solaio.....	1038
Sisma.....	1040
Analisi statica equivalente (Dialogo).....	1042
Vento su bt.....	1043
Vento sui profili (Dialogo).....	1043
Ghiaccio su bt.....	1044
Ghiaccio sui profili.....	1044
Spettri terremoto.....	1045
Accelerogrammi .....	1045
Gestione accelerogrammi (dialogo).....	1046
Dettagli di accelerogramma.....	1050
EDEM.....	1051
Selezione di accelerogrammi con EDEM (dialogo).....	1052
Spettri involucro.....	1059
Spettri di involucro (dialogo).....	1060

Gestisce spettri.....	1063
Gestione di spettri (dialogo).....	1064
Da spettro.....	1065
Aggiungi forze da spettro di risposta (dialogo).....	1067
Da reazioni.....	1068
<b>Casi .....</b>	<b>1069</b>
Aggiungi.....	1069
Caso di carico (Dialogo).....	1069
Funzione del Tempo (Dialogo).....	1071
Modifica.....	1074
Azzera.....	1075
Somma.....	1075
Somma di un caso (Dialogo).....	1075
Somma XYZ.....	1076
Somma di un caso (XYZ) (Dialogo).....	1076
Combina.....	1077
Successivo.....	1078
Precedente.....	1078
<b>Combinazioni .....</b>	<b>1079</b>
Modifica Insieme.....	1079
Selezione e modifica di un insieme di combinazioni (Dialogo).....	1079
Aggiungi.....	1081
Combinazione (Dialogo).....	1081
Genera.....	1085
Generazione di combinazioni (Dialogo).....	1086
Stampa.....	1091
Importa.....	1092
Modifica.....	1093
Combinazioni.....	1093
Combinazione (Dialogo).....	1094
Azzera.....	1095
Elimina tutte.....	1095
Elimina alcune.....	1095
Rimozione di combinazioni (Dialogo).....	1096
Successiva.....	1097
Precedente.....	1098
<b>Masse .....</b>	<b>1098</b>
Aggiungi.....	1098
Aggiunta di masse (Dialogo).....	1099
Caso.....	1099
Somma delle masse di un caso (Dialogo).....	1101
Canc Sel.....	1101
Canc SelX.....	1102
Canc SelY.....	1102
Canc SelZ.....	1102
Scala.....	1103
Sposta.....	1103
<b>Multipiano .....</b>	<b>1105</b>
Multipiano (Dialogo).....	1106
<b>Gruppi .....</b>	<b>1106</b>
Gruppi (Dialogo).....	1107
Definizione di un gruppo (Dialogo).....	1107
<b>9 Menu Post, Ribbon: Post 1, Post 2.....</b>	<b>1107</b>
Deformata .....	1107



Con Indeformata .....	1107
Senza Indeformata.....	1108
Mappa.....	1108
Scelta di una componente (Dialogo).....	1108
Interroga .....	1109
Spostamenti nodali (Dialogo).....	1109
Interno.....	1109
Spostamenti interni (Dialogo).....	1110
Estremi .....	1110
Inviluppo estremi.....	1110
Inviluppo estremi (relativi).....	1111
Scala.....	1111
Moltiplicatore degli spostamenti (Dialogo).....	1112
<b>Sforzi BT .....</b>	<b>1112</b>
Azione assiale.....	1112
Taglio 2.....	1113
Taglio 3.....	1115
Momento Torcente.....	1116
Momento 2.....	1117
Momento 3.....	1119
Locale .....	1120
Interroga azioni interne.....	1121
Travi o bielle? (Dialogo).....	1122
Azioni interne (Dialogo).....	1122
Inviluppo azioni interne (Dialogo).....	1122
Scala.....	1122
Scala dei diagrammi (Dialogo).....	1123
Selezionati.....	1123
N/A.....	1123
T2/A.....	1124
T3/A.....	1124
T2/Tpl2.....	1125
T3/Tpl3.....	1125
M1/W1.....	1126
M1/Mpl1.....	1126
M2/W2.....	1127
M3/W3.....	1127
M2/Wpl2.....	1128
M3/Wpl3.....	1128
N/A + M2/W2 + M3/W3 .....	1129
N/Npl + M2/Mpl2 + M3/Mpl3 .....	1129
Interroga sforzi.....	1129
Inviluppo.....	1130
Inviluppo dell'inviluppo.....	1130
Numero sezioni.....	1131
Numero di sezioni per i diagrammi (Dialogo).....	1131
<b>Sforzi PM e SO .....</b>	<b>1132</b>
Sforzi.....	1132
Scelta sforzi, invarianti e modalità di rappresentazione (Dialogo).....	1132
Inviluppo.....	1134
Interroga PM .....	1135
Sforzi piastre/membrane (Dialogo).....	1135
Inviluppo sforzi (piastre/membrane) (Dialogo).....	1136
Interroga SO.....	1136

Sforzi: solidi (Dialogo).....	1137
Inviluppo sforzi: solidi (Dialogo).....	1137
<b>Snervamento PM .....</b>	<b>1137</b>
<b>Sforzi molle .....</b>	<b>1139</b>
Interroga .....	1139
Inviluppo dell'inviluppo.....	1139
Somma.....	1139
Massimo.....	1140
<b>Verifiche .....</b>	<b>1140</b>
Verifica.....	1140
CSE!.....	1141
RCSTUDIO!.....	1141
Numero sezioni.....	1142
Numero di sezioni per le verifiche (Dialogo).....	1142
Interroga .....	1142
Coefficienti di sfruttamento di inviluppo (Dialogo).....	1143
Coefficienti di sfruttamento (Dialogo).....	1143
Statistiche.....	1143
Statistiche (Dialogo).....	1144
Inviluppo.....	1145
Resistenza.....	1145
Stabilità.....	1145
Massimo.....	1145
Verifiche utente .....	1146
Gestione archivio verifiche sezioni utente (Dialogo).....	1147
Classificazione (Property page).....	1148
Valori plastici 1 (Property page).....	1150
Valori plastici 2 (Property page).....	1151
Valori elastici (Property page).....	1152
Valori efficaci (Property page).....	1153
Instabilità (Property page).....	1155
Altro (Property page).....	1157
<b>Verifiche Libere .....</b>	<b>1157</b>
Aggiungi Variabile.....	1157
Aggiunta di una variabile (dialogo).....	1159
Aggiungi Variabile con If.....	1162
Aggiunta di una variabile con if (dialogo).....	1163
Aggiungi Condizione.....	1167
Aggiunta di una condizione (dialogo).....	1168
Esporta.....	1171
Importa.....	1172
Elimina tutto!.....	1175
Modifica Variabile o Condizione.....	1176
Cancella Variabile o Condizione.....	1176
Duplica Condizione!.....	1177
Verifica!.....	1177
Varibili Entità.....	1178
Gestione Variabili delle Entità (dialogo).....	1178
Variabile di Entità (dialogo).....	1180
Assegna variabile nodi.....	1181
Assegna variabile elementi .....	1182
<b>Classe .....</b>	<b>1182</b>
<b>Reazioni vincolari .....</b>	<b>1183</b>
Mostra.....	1183

Interroga .....	1184
Reazioni vincolari (Dialogo).....	1184
Inviluppo dell'inviluppo.....	1185
Somma.....	1185
Max Min.....	1186
Attrito.....	1186
Interroga forze mancanti.....	1188
Somma forze mancanti.....	1188
Suolo Winkler.....	1190
<b>Modale .....</b>	<b>1193</b>
Mostra.....	1193
Deformata modale (Dialogo).....	1194
Mappa.....	1194
Scelta di una componente (Dialogo).....	1194
Interroga.....	1195
Informazioni sull'analisi modale (Dialogo).....	1195
Modo successivo!.....	1195
Modo precedente!.....	1196
<b>Buckling .....</b>	<b>1196</b>
Mostra.....	1196
Deformata modale critica (Dialogo).....	1196
Mappa.....	1197
Scelta di una componente (Dialogo).....	1197
Interroga.....	1197
Informazioni sull'analisi di buckling (Dialogo)_2.....	1198
Metodo generale.....	1198
Metodo generale: determinazione dei moltiplicatori Alpha,R (dialogo).....	1199
Modo successivo!.....	1202
Modo precedente!.....	1202
<b>Spettro di risposta .....</b>	<b>1203</b>
Colloca periodi.....	1203
Spettro di risposta: risultati (dialogo).....	1205
<b>Fibre .....</b>	<b>1207</b>
Sezione successiva.....	1207
Sezione precedente.....	1207
Mostra sforzi sezione.....	1208
Mostra deformazioni sezione.....	1210
Mostra percentuale di plasticizzazione.....	1212
Mostra percentuale di rottura.....	1213
<b>Pushover .....</b>	<b>1216</b>
Imposta.....	1216
Pushover Settings (dialogo).....	1217
Impostazione Pushover (dialogo).....	1218
Crea Modelli.....	1220
Analizzali!.....	1222
Risultati.....	1223
Risultati (dialogo).....	1224
Performance.....	1227
Performance point (dialogo).....	1229
<b>Bulloni e Saldature .....</b>	<b>1232</b>
Sfruttamento.....	1232
Bulloni: usa momento.....	1233
Inviluppo.....	1233
Interroga.....	1234

Tabulato.....	1234
<b>C.A. ....</b>	<b>1235</b>
Imposta.....	1235
Dialogo: Imposta Verifiche.....	1235
Verifica!.....	1239
Inviluppo.....	1239
Combinazione.....	1240
Acciaio.....	1241
Calcestruzzo.....	1242
Sforzi adimensionali.....	1243
Interroga.....	1245
Interroga sfruttamenti.....	1246
Apri listato!.....	1249
<b>Idrift .....</b>	<b>1249</b>
<b>Curve .....</b>	<b>1250</b>
Visualizzazione di curve (Dialogo).....	1251
Operazioni tra curve (Dialogo).....	1255
<b>Tabelle .....</b>	<b>1259</b>
Richiesta tabelle.....	1259
<b>No post .....</b>	<b>1261</b>
<b>Legenda .....</b>	<b>1261</b>
Legenda (Dialogo).....	1262
<b>Importa .....</b>	<b>1263</b>
<b>10 Menu Struttura, Ribbon: File, Mesh, Pre, Strumenti.....</b>	<b>1264</b>
<b>Tipica .....</b>	<b>1264</b>
Completa.....	1264
Strutture tipiche (1).....	1264
Strutture tipiche (2).....	1266
Assegnazione materiale e proprietà (Dialogo).....	1267
Solo mesh.....	1268
<b>Testi .....</b>	<b>1268</b>
Descrizione.....	1268
Statica.....	1269
Modale.....	1269
Buckling.....	1269
Verifiche.....	1270
<b>Membrature .....</b>	<b>1270</b>
Cerca!.....	1270
Aggiorna le membrature.....	1271
<b>Calcestruzzo Armato .....</b>	<b>1271</b>
Aggiungi armature.....	1271
Aggiunta di insiemi di armature.....	1272
Acquisizione di un'armatura.....	1275
Aiuto barra singola.....	1282
Aiuto fila barre.....	1284
Aiuto circonferenza barre.....	1285
Modifica armature.....	1287
Acquisizione dell'armatura longitudinale.....	1287
Elimina tutte le armature!.....	1291
Pick armature.....	1291
Assegna calcestruzzo.....	1292
Materiali .....	1293
Acquisizione dati calcestruzzo.....	1294
Assegna acciaio.....	1294

Acquisizione dati acciaio.....	1295
Crea DXF!.....	1296
<b>JNodi .....</b>	<b>1297</b>
Cerca!.....	1297
Interroga.....	1297
Informazioni sul jnodo (Property page).....	1300
Master (Property page).....	1302
Centrale (Property page).....	1304
Attacco (Property page).....	1305
Mostra.....	1306
Crea listato!.....	1307
Apri listato!.....	1307
Crea report giunti.....	1308
<b>Gerarchia .....</b>	<b>1309</b>
Aggiungi DZona.....	1309
Rimuovi!.....	1309
Imposta.....	1309
Impostazioni Verifica di Gerarchia delle Resistenze (dialogo).....	1310
Omega.....	1312
Verifica!.....	1312
Mostra Risultati.....	1313
Apri file!.....	1313
<b>Oscillatore .....</b>	<b>1314</b>
Risposta.....	1314
Oscillatore semplice (dialogo).....	1314
Scegli accelerogramma (dialogo).....	1316
<b>11 Menu Fasi, Ribbon: Fasi.....</b>	<b>1317</b>
Imposta .....	1317
Aggiungi fase .....	1317
Inserisci dopo .....	1319
Inserisci prima .....	1320
Rimuovi fase corrente! .....	1320
Successiva! .....	1321
Precedente! .....	1321
Modifica .....	1321
<b>12 Menu Validazione, Ribbon: Validazione.....</b>	<b>1322</b>
Normalizza .....	1322
Normalizzazione (dialogo).....	1323
Cambia sistema di riferimento .....	1324
Trasla.....	1324
Ruota su asse z.....	1325
Crea targa... ..	1326
Numero di cifre significative (dialogo).....	1326
Crea targa selezionati... ..	1327
Crea informativa... ..	1328
Crea informativa selezionati... ..	1328
Compara con (WSR)... ..	1329
Compara selezionati con... ..	1330
Compara targhe TXT... ..	1330
<b>13 Menu Finestra, Ribbon: Finestra.....</b>	<b>1331</b>
Nuova finestra .....	1331
Cascata .....	1332
Affianca .....	1332

Sistema icone .....	1333
Window manager .....	1333
<b>14 Menu Help, Ribbon: Help.....</b>	<b>1333</b>
Indice .....	1333
Uso dell'help .....	1334
Informazioni su Sargon .....	1334
Informazioni su Sargon (Dialogo).....	1334

## **Parte IV Guida tecnica alle verifiche 1335**

1 CNR10011/TA.....	1336
2 CNR10011/SL .....	1347
3 CNR10011-10022.....	1357
4 EC3.....	1366
5 NTC2008 VS EC3.....	1417
6 AISC.....	1420
7 BS-5950.....	1422
8 EC5.....	1437
9 AISC-LRFD.....	1495
10 AISC-ASD.....	1529

## **Parte V Articoli e altre informazioni 1565**

1 La classificazione via EC3 di profili ad I sottoposti a sollecitazioni miste.....	1566
2 Software orientati alla comunicabilità ed al controllo dei dati.....	1580
3 Brevissima storia dei programmi di calcolo.....	1587
4 Introduzione al metodo degli elementi finiti (in progress): Capitolo 1 .....	1588
5 Guida pratica alla analisi modale(in progress).....	1612
6 In margine alle Ordinanze 3274 e 3316.....	1629
7 Combinazioni di verifica agli stati limite.....	1640
8 Spettro di risposta con fattore di errore.....	1670
9 Proprietà flessionali elastiche e plastiche - Calcolo automatico di sezioni generiche.....	1693

## **Parte VI Note di rilascio 1711**

1 Dalla 15.20 alla 15.50.....	1712
2 Dalla 15.50 alla 15.55.....	1713
3 Dalla 15.55 alla 15.60.....	1713
4 Dalla 15.60 alla 15.80.....	1713
5 Dalla 15.80 alla 15.90.....	1715
6 Dalla 15.90 alla 16.00.....	1716
7 Dalla 16.00 alla 16.31.....	1718
8 Dalla 16.31 alla 16.40.....	1723

---

9	Dalla 16.40 alla 17.00.....	1725
10	Dalla 17.00 alla 18.00.....	1727
	<b>Indice</b>	<b>1731</b>

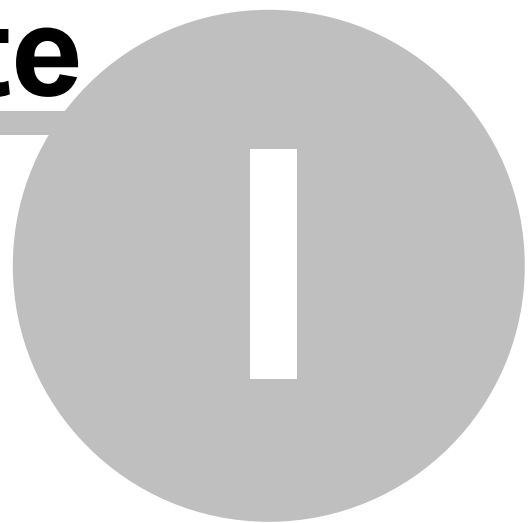








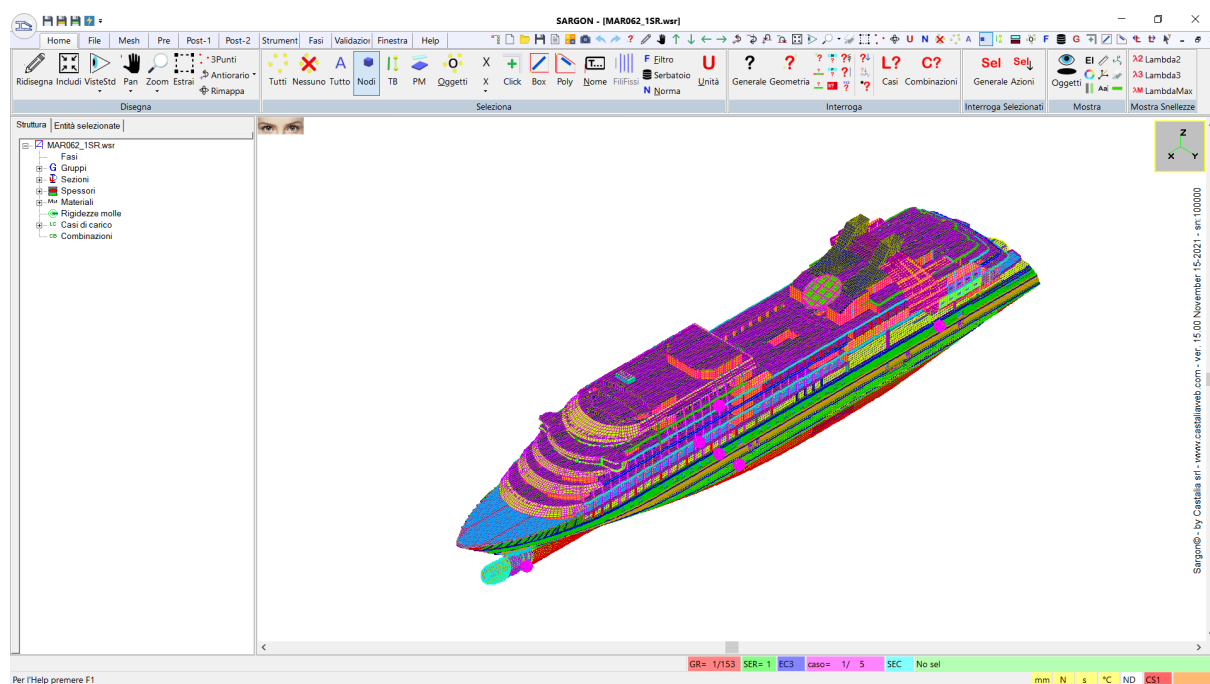
**Parte**



# 1 Introduzione

## 1.1 Sargon: a cosa serve, a chi è diretto

### SARGON: A COSA SERVE, A CHI E' DIRETTO



**Modello Sargon della nave da crociera Odyssey della Seabourn**

Sargon è un programma di calcolo prevalentemente pensato per strutture in acciaio, anche se può gestire strutture in altri materiali. Nell'ambito delle strutture in acciaio Sargon si propone di essere un punto di riferimento per quanti debbano progettare o verificare strutture. Sargon dispone di una ampia serie di elementi finiti ma non vuole sovrapporsi ai programmi *general purpose*: al contrario si propone di essere uno strumento più specializzato, in particolare per le strutture in acciaio. Sargon comunque dispone degli elementi plate-shell (lineari e non lineari), e degli elementi solidi (lineari e non lineari), ed è quindi possibile fare delle analisi molto raffinate. Relativamente al post processing classico (deformate, diagrammi, inviluppi) Sargon è dotato di strumenti più agili e potenti rispetto a quelli dei programmi *general purpose*, ed è preferito rispetto a questi, da chi abbia a studiare strutture intelaiate o

comunque composte da elementi mono e bidimensionali. Sargon è pertanto diretto in primo luogo ai progettisti, alle società di engineering ed alle imprese di costruzione.

Con Sargon è possibile avere informazioni sul comportamento strutturale: la spostata, i diagrammi, le reazioni vincolari, le snellezze, i pesi eccetera eccetera.

Caratteristica specifica del programma è l'interfaccia grafica, che lo rende molto semplice da usare e molto potente. Non vi è alcuna limitazione alla geometria: non devono esistere fili fissi o altre griglie di riferimento.

Come detto, benché il programma possa analizzare anche altre strutture, un particolare lavoro di approfondimento è stato dedicato alle strutture in acciaio: per esse sono disponibili sette verificatori automatici, secondo diverse normative: CNR 10011TA, CNR10011SL, CNR10022, AISC-ASD, EC3-NTC, anche per i formati a freddo, BS5950, AISC 360-10 LRFD e ASD. A questi si aggiunge il verificatore per il legno EC5/NTC/NICOLE.

Questo lavoro, insieme con l'interfacciamento con CSE, programma molto avanzato per i collegamenti, ha reso Sargon uno dei migliori programmi oggi esistenti per le strutture in acciaio. I verificatori di Sargon sono stati usati per le più disparate strutture, da strutture di tipo navale a strutture impiegate nelle centrali elettriche, da tralicci ad edifici multipiano, strutture civili o industriali, in Italia ed all'Estero.

Con Sargon è possibile fare analisi statiche (lineari e nonlineari), modali, a spettro di risposta, e di frequency response. La parte dedicata alla analisi a spettro di risposta è particolarmente innovativa, per l'estrema amichevolezza con la quale presenta i dati più importanti, consentendo di tener sotto controllo le masse partecipanti ed i periodi.

Un lavoro innovativo è stato fatto relativamente all'analisi a spettro di risposta, consentendo di ottenere uno stato di sforzo equilibrato là dove, normalmente esso equilibrato non è.

I solutori di Sargon si distinguono per precisione e per rapidità, essendo stati programmati avvalendosi degli strumenti più evoluti: allocazione dinamica della memoria, programmazione a oggetti, eccetera. Anche la strategia di soluzione è particolarmente ottimizzata.

Sargon esegue analisi anche molto sofisticate per mezzo dei suoi solutori lineari e non lineari. Con Sargon si possono fare

- Analisi statiche lineari (tutti i solutori sono o skyline o sparse matrix, entrambi disponibili, e quindi sono molto rapidi).

- Analisi statiche non lineari per non linearità di materiale, geometrica e di contatto. La NL riguarda tutti gli elementi disponibili: bielle, molle, travi, travi con molle semirigide, membrane, piastre sottili, piastre spesse, solidi. L'elemento beam può essere offsettato (estremi rigidi), avere nodi semirigidi e essere definito alla Winkler, come anche le piastre. Gli elementi beam sono a fibre (plasticità diffusa). La non linearità può essere in controllo di carico o di arc length. Vari tipi di plasticità e non linearità sono definibili, tra le quali ovviamente il comportamento no-tension e no-compression. Sargon dispone di sofisticati strumenti per il controllo del danno (percentuale di volume plastico e post-rottura, rotazione cumulativa, controllo della deformazione, ecc.). Le analisi di pushover sono possibili come analisi statiche nonlineari preimpostate. Si possono eseguire analisi in cui sono presenti selettivamente tutte o alcune delle tre non linearità possibili (materiale, geometrica, contatto).
- Analisi modali, anche tenendo conto di pretiri (tension stiffening).
- Analisi a spettro di risposta, con molti diversi tipi di spettro e con varie possibili modalità di applicazione (fattore di struttura, spettro con fattore di errore, correzione automatica squilibrio, ecc.).
- Analisi di risposta in frequenza, per studiare problemi come la risonanza.
- Analisi di buckling (modelli a travi e bielle e modelli con travi, bielle, piastre sottili e spesse, membrane, molle e solidi).
- Analisi di Dinamiche Time History Modale
- Analisi Dinamiche di Time History Non Lineare

Sargon è allineato ai più recenti standard qualitativi per il calcolo strutturale, è continuamente sviluppato ed è sviluppato in Italia da chi lo rivende, Castalia srl. Ne è autore l'ing. [Paolo Rugarli](#).

Sargon è stato usato sin dal 1991, e con esso sono state progettate e verificate centinaia e centinaia di strutture anche molto importanti, in Italia ed all'Estero. Si tratta di un programma molto serio, ben noto in specie agli acciaisti italiani, che ha dato luogo a studi e pubblicazioni reperibili alla pagina <https://www.castaliaweb.com/ita/pubblicazioni/home.asp>.

## 1.2 Polisar: a cosa serve, a chi è diretto

### **POLISAR: A COSA SERVE, A CHI E' DIRETTO**

Su richiesta del Prof. Ing. Giulio Ballio, Ordinario del Corso di Teoria e Progetto di Costruzioni in Acciaio nel Politecnico di Milano, è stata creata a partire dall'a.a. 1999-2000 una versione ridotta di Sargon, denominata POLISAR, usata dagli studenti del Corso di Teoria e Progetto di Costruzioni in Acciaio per fini didattici.

POLISAR deriva da Sargon per eliminazione di molti comandi e funzionalità, ma conserva l'impianto base e numerosi comandi del tutto identici a quelli della versione completa.

POLISAR non fa le verifiche in automatico. Allo stesso modo non è disponibile l'archivio con le 5000 sezioni: le sezioni vengono descritte scrivendone le caratteristiche statiche.

Sono però disponibili la deformata, i diagrammi, gli involucri dei diagrammi, le reazioni vincolari, le mappe di snellezza. E' disponibile la stampa e l'anteprima di stampa. Si possono creare tabulati in italiano o in inglese. L'unità di misura è variabile.

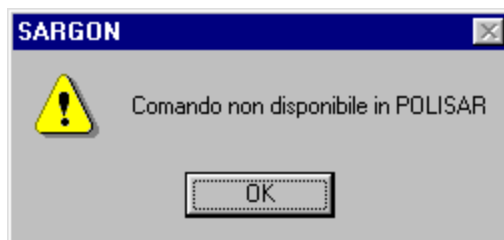
POLISAR funziona con strutture di sole travi e bielle fino a 50 nodi. E' disponibile il solo solutore statico CLEVER.

Nonostante le differenze, data la sostanziale omogeneità tra POLISAR e SARGON, la guida e l'help di POLISAR coincidono con la guida e l'help di SARGON. Nelle rare occasioni in cui un comando venga implementato in modo diverso nei due software (attribuzione di sezione e di materiale), questa guida dà conto di entrambe le versioni, aggiungendo la scritta "POLISAR" al comando specifico di POLISAR. Là dove il comando in POLISAR non è disponibile la guida comunque ne parla e lo descrive.

A partire dall'anno 2001, POLISAR è entrato a far parte di un pacchetto di applicazioni per l'architettura e l'ingegneria, denominato E.Str.A.D.A. (Education to Structural Assisted Design and Analysis), realizzato in collaborazione dal Politecnico di Milano (tramite il METID, Metodi E Tecnologie Innovative per la Didattica) e da Castalia s.r.l.. Ne sono autori il

Prof. Ing. Giulio Ballio e l'ing. Paolo Rugarli. Per informazioni si visiti il sito di Castalia <http://www.castaliaweb.com>, o quello del Multimedia Academic Press <http://www.mapress.org>.

Nel seguito pertanto la guida si riferirà sia a Sargon che a POLISAR. I comandi che in POLISAR non sono disponibili, se eseguiti in quel contesto, mostrano la seguente finestra di avviso:



## 1.3 Struttura del programma

### STRUTTURA DEL PROGRAMMA

Sargon ha una struttura stellare: esiste un modulo centrale ed una serie di moduli affiancati, aventi lo scopo di svolgere certi compiti in particolare. Questi compiti svolti esternamente sono i seguenti:

- \* scrittura dei file di input (moduli SINCLEV.EXE, SINLEDA.EXE, SINSSAP.EXE, SINSAP80.EXE, SINSAP90.EXE, SINUNUV.EXE, WINSTRUDL.EXE);
- \* lettura dei file di output dei solutori e creazione dei database con sforzi e deformazioni (SDBSSAP.EXE, SDBSAP80.EXE, SDBSAP90.EXE, SDBUNIV.EXE, WDBSTRUDL.EXE, SDBSAP2K.EXE);
- \* analisi statiche (WCLEVER.EXE);
- \* analisi modali (WLEDA.EXE);
- \* analisi a spettro di risposta (WSPECTRM.EXE);
- \* analisi di buckling (WBUCKL.EXE);



- \* analisi statiche nonlineari per nonlinearity geometrica (SOCLEVER.EXE)
- \* analisi di risposta in frequenza (FREQUENCY.EXE)
- \* analisi statiche nonlineari per nonlinearity di materiale, geometrica e di contatto (CURAN.EXE)
- \* analisi di Time History Non Lineare (DYNCURAN.EXE)
- \* stampa del tabulato (WPRINT.EXE);
- \* verifiche con le norme CNR 10011 TA(WCNR.EXE, WPRINTC.EXE);
- \* verifiche con le norme CNR 10011 SL(WCNRSLU.EXE, WPRINTCSLU.EXE);
- \* verifiche con le norme CNR 10011-10022 TA(WCNR1122.EXE, WPRINTC.EXE);
- \* verifiche con le norme AISC (WAISC.EXE, WPRINTA.EXE);
- \* verifiche con le norme EC3 NTC 2008 ed NTC 2018 (WEURO.EXE, WPRINTE.EXE).
- \* verifiche con le norme EC5, Nicole, NTC 2005, 2008,2018 (WWOOD.EXE, WPRINTW.EXE).
- \* verifiche con le norme BS (BS.DLL, WPRINTB.EXE)
- \* verifiche con le norme AISC-LRFD (BS.DLL, WPRINTA2.EXE)
- \* verifiche con le norme AISC-ASD (BS.DLL, WPRINTA2.EXE)
- \* manutenzione degli archivi di sezioni e materiali (SAMBA.EXE)
- \* verifica bontà della soluzione (CHECKSOLVERS.EXE)

Con tutti questi moduli dialoga il modulo principale, WSARGON.EXE.

I moduli relativi al solving sono opzionali (eseguire le analisi statiche con ben quattro solutori diversi oltre a quelli interni), così come sono opzionali i moduli relativi alle verifiche.

La possibilità di usare solutori diversi, di importare mesh fatte con formati diversi, di eseguire le verifiche secondo normative diverse, rende Sargon un programma aperto, capace di dialogare con altri programmi.

In futuro questa caratteristica sarà mantenuta ed ampliata.

## 1.4 Itinerario di lavoro tipico

### ITINERARIO DI LAVORO TIPICO

Come si lavora con Sargon? Cosa occorre fare? Occorre fare le seguenti cose:

- 1 - [Creare la mesh della struttura](#)<sup>72</sup>
- 2 - [Attribuire vincoli e svincoli](#)<sup>166</sup>
- 3 - [Attribuire materiali e proprietà](#)<sup>180</sup>
- 4 - [Aggiungere i casi di carico e le azioni pertinenti](#)<sup>168</sup>
- 5 - [Aggiungere le combinazioni](#)<sup>168</sup>
- 6 - [Eseguire il solving](#)<sup>185</sup>
- 7 - [Post processare i dati eseguendo lo studio della spostata, dei diagrammi, delle reazioni vincolari](#)<sup>318</sup>
- 8 - [Eseguire le verifiche e studiarne i risultati](#)<sup>283</sup>
- 9 - [Produrre gli elaborati di output, immagini e tabulati](#)<sup>318</sup>

In particolare se si devono eseguire anche i calcoli sismici occorrerà:

- 10 - [Aggiungere le masse](#)<sup>168</sup>
- 11 - [Impostare ed eseguire l'analisi modale](#)<sup>188</sup>
- 12 - [Impostare ed eseguire l'analisi a spettro di risposta](#)<sup>195</sup>

oppure:

- 13 - [Eseguire una Time History Modale](#)<sup>254</sup>
- 14 - [Eseguire una Time History Non Lineare](#)<sup>267</sup>

## 1.5 L'interfaccia grafica

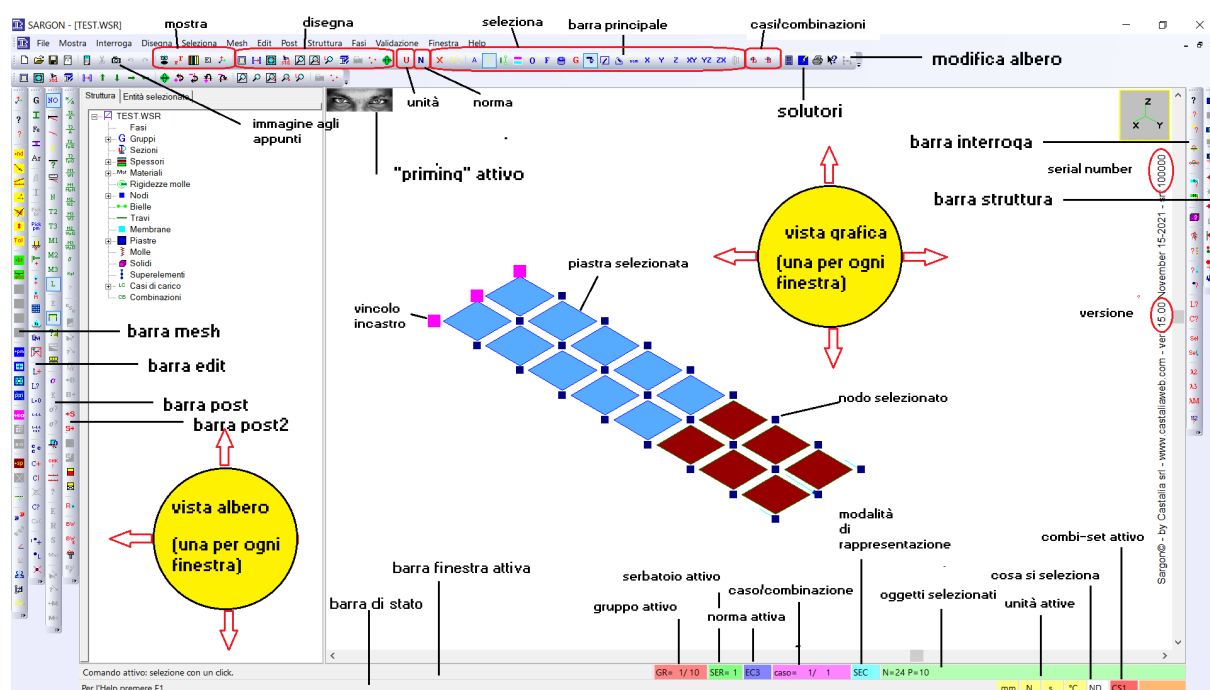
A partire dalla versione 14.00 Sargon è configurabile secondo due modalità:

- la modalità classica, Menu + Toolbar
- la modalità Ribbon

La modalità Ribbon, introdotta a partire dalla versione 14.00 rilasciata nel Novembre 2019, dovrebbe rendere più semplice l'apprendimento e l'uso del programma.

Tutti i comandi della interfaccia Menu+Toolbar sono disponibili nella interfaccia Ribbon, nessuno escluso. Comunque, alcuni comandi sono stati spostati o raggruppati diversamente.

## L'INTERFACCIA GRAFICA (MENU + TOOLBAR)



L'interfaccia grafica di Sargon è molto evoluta, ed una sua dettagliata descrizione complessa. La sua prima versione DOS è del 1991. Seguì il passaggio a Windows 95 nel 1995-96. Poi, si sono succedute svariate altre modifiche e ampliamenti.

L'ambiente di lavoro prevede una cornice principale che contiene: una o più viste di modelli con le viste ad albero corrispondenti, un menù di comandi, una barra di stato, varie barre di comandi.

Ogni vista di un modello contiene, a sua volta, una vista grafica ed una vista ad albero, una barra di stato e due barre di scorrimento, oltre alla barra con il titolo.

E' possibile aprire tante viste quante si desidera. Il comando eseguito farà riferimento, se necessario, alla vista attiva al momento della sua esecuzione.

Moltissime caratteristiche di Sargon per Windows sono comuni a tutti i programmi per Windows (il funzionamento delle finestre, delle barre di scorrimento, delle finestre di dialogo eccetera eccetera).

Altre sono proprie di Sargon. In Sargon, per esempio, il tasto destro del mouse ha la funzione di interrompere un comando, ed è pertanto assimilabile al tasto ESC. Il tasto sinistro è assimilabile al tasto "INVIO" della tastiera.

Nella barra di stato della finestra principale sono indicate le unità di misura attive in quel momento. Vengono altresì riportati suggerimenti sul significato e l'uso dei comandi.

Le barre dei comandi possono essere visibili oppure nascoste.

La barra posta sotto il menù è orizzontale e contiene i comandi principali.

Le altre barre sono:

- la barra "disegna"
- la barra "mesh"
- la barra "interroga"
- la barra "edit"
- la barra "post"
- la seconda barra "post"
- la barra "struttura"

ognuna delle quali raggruppa comandi presi dal corrispondente menù.

La barra di stato della vista contiene informazioni relative al modo con il quale si sta vedendo la struttura, al caso di carico o alla combinazione attiva, alla norma attiva, al serbatoio di selezione attivo ed al numero di gruppo attivo. Il numero di gruppo attivo indica il numero di gruppo che gli oggetti aggiunti avranno. Tutti questi dati (e altri ancora, come la direzione di vista, lo zoom, ecc.) possono essere diversi da vista a vista, ed è quindi possibile vedere due o più modelli contemporaneamente o, dello stesso modello, più cose contemporaneamente.

Ogni vista rappresenta in modo convenzionale il modello. Gli elementi monodimensionali ed i superelementi vengono mostrati come segmenti congiungenti i nodi. Gli elementi bidimensionali con una poligonale riempita opportunamente. Le molle sono

rappresentate da una linea seghettata. I nodi si vedono solo se sono selezionati. In tal caso si vede un quadratino giallo (o del colore scelto dall'utente).

Le aste selezionate si vedono di colore blu (o del colore scelto dall'utente).

Le azioni sono rappresentate con delle frecce colorate in modo dipendente dal tipo di carico. I carichi termici con dei circoletti colorati.

I vincoli con un cerchio colorato, contenente sei pixel accesi o spenti. Lo stesso gli svincoli.

Tutti i colori sono lasciati alla decisione dell'utente, che può in questo modo personalizzare il programma, facendolo funzionare secondo i propri gusti.

Parecchi comandi fanno vedere un cerchio colorato in rosso che si muove col movimento del mouse. Talvolta questo circoletto compare due volte anzichè una, a causa della comparsa di dialoghi o per la particolare sequenza di comandi dati: è sufficiente rinfrescare lo schermo per tornare a vedere un solo pallino (comando [Ridisegna](#)<sup>[741]</sup>).

A partire dalla versione 9.90 è possibile personalizzare l'aspetto della interfaccia in vari modi, ed è anche possibile creare nuove barre di bottoni. I comandi relativi a queste personalizzazioni si trovano nel menu Mostra. Dalla versione 11.20 è possibile attivare o disattivare il [priming](#)<sup>[381]</sup> nell'interfaccia del Programma.

Le frecce su, giù, *in assenza di un comando attivo* implicano rotazione della vista su meridiano.

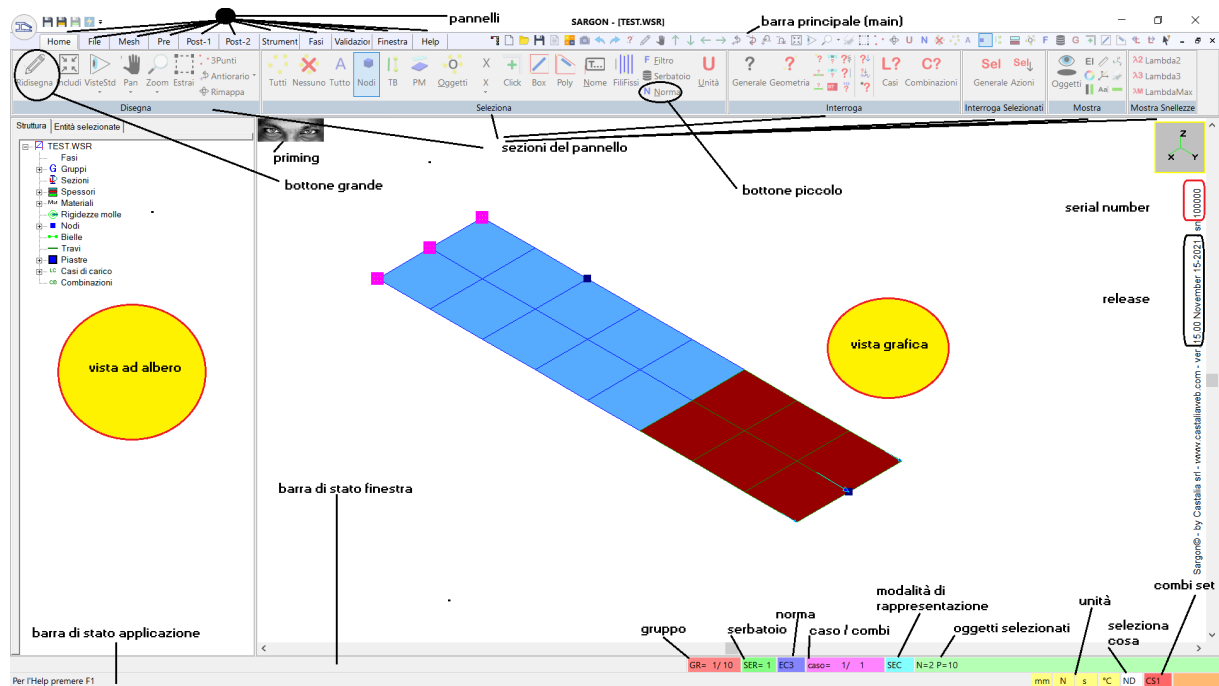
Le frecce destra e sinistra, *in assenza di un comando attivo*, implicano rotazione della vista su parallelo.

La rotellina del mouse, quando attivata con alcuni tasti comporta una modifica della vista. Con la barra spaziatrice, rotazione vista su parallelo. Con Ctrl rotazione vista su meridiano. Con Su o Giù traslazione vista in verticale. Con Destra o Sinistra traslazione vista in orizzontale.

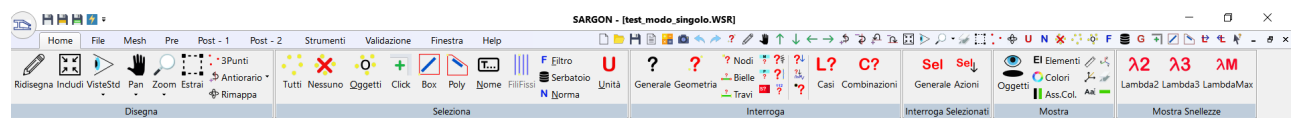
## L'INTERFACCIA GRAFICA (RIBBON)

Anche l'interfaccia Ribbon può avere finestre multiple sincronizzate, e conserva le medesime barre di stato (in basso) della modalità classica. I bottoni possono apparire grandi o piccoli a seconda della dimensione dello schermo e della risoluzione impostata. Anche la dimensione della finestra può implicare una diversa dimensione dei bottoni. L'adattamento è dinamico e massimizza il beneficio.

Alcuni bottoni, per la loro importanza, sono sempre mostrati grandi.

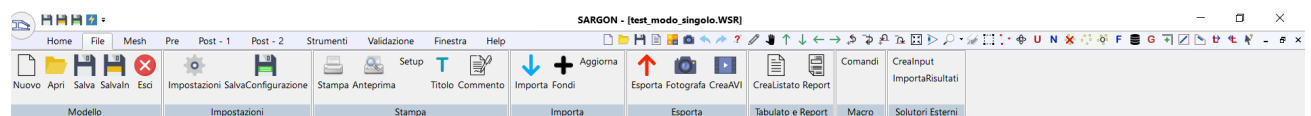


La modalità ribbon (nastro) è divisa in 10 pannelli, più una barra principale che racchiude comandi di uso frequente e che è sempre disponibile.



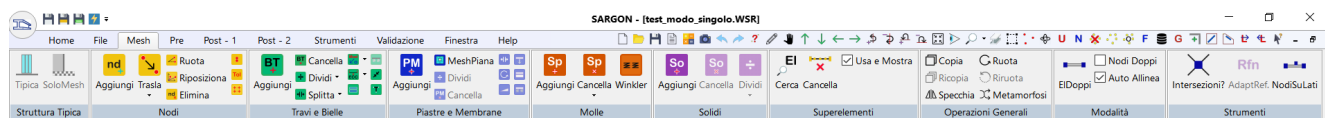
## Home

È il pannello che comprende i comandi di visualizzazione, e di interrogazione. Qui si modifica l'aspetto dei simboli, la loro dimensione e si decide se rappresentarli o meno. Qui ci sono i comandi per ottenere informazioni sul modello. Sono qui raggruppati la maggior parte dei comandi dei menu Mostra, Interroga e Disegna della interfaccia classica.



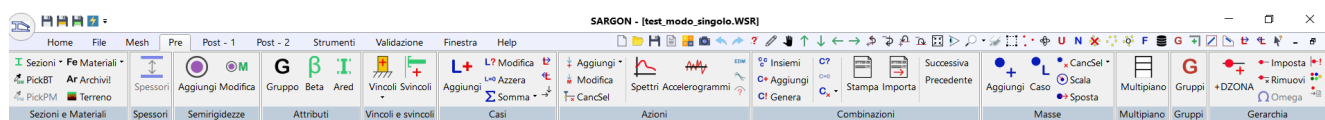
## File

Qui si sono raggruppati i comandi per il salvataggio, la scelta delle impostazioni, la stampa, la importazione e la esportazione, la creazione del tabulato e del report, l'esecuzione di macro comandi reperiti da file, è l'importazione ed esportazione per solutori esterni.



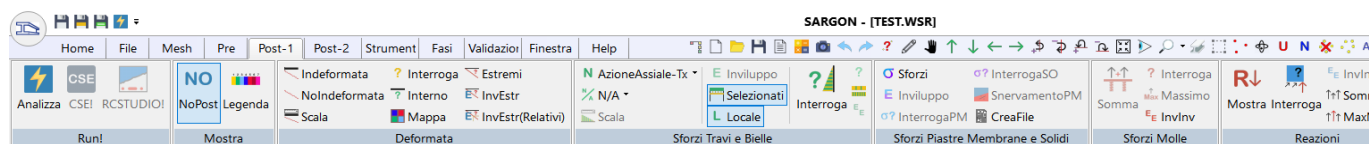
## Mesh

Qui sono raggruppati tutti i comandi necessari per la creazione della mesh.



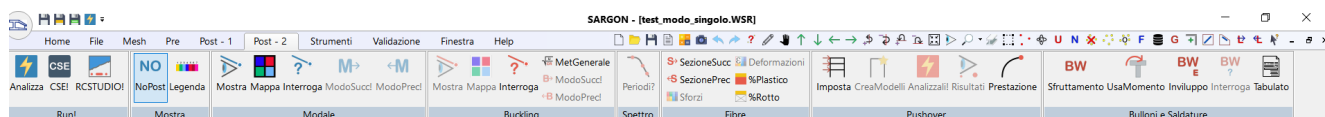
## Pre

Qui sono raggruppati tutti i comandi per la assegnazione di sezioni, materiali e spessori, casi di carico, azioni e combinazioni, oltre a proprietà specifiche come i nodi semirigidi, i vincoli e gli svincoli e così via. Qui ci sono i comandi per attribuire le masse e per fissare le zone dissipative per la gerarchia delle resistenze.



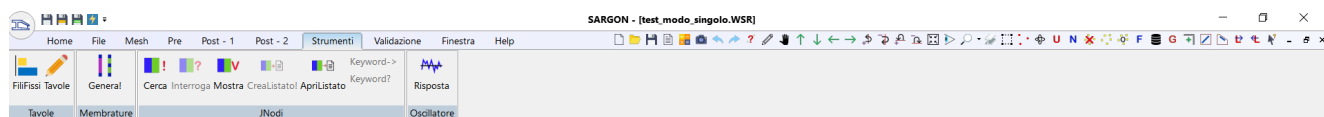
## Post - 1

Oltre ai comandi che lanciano le analisi o altri programmi, qui ci sono i comandi di post processing più tipici, relativi alla analisi statica ed alle verifiche.



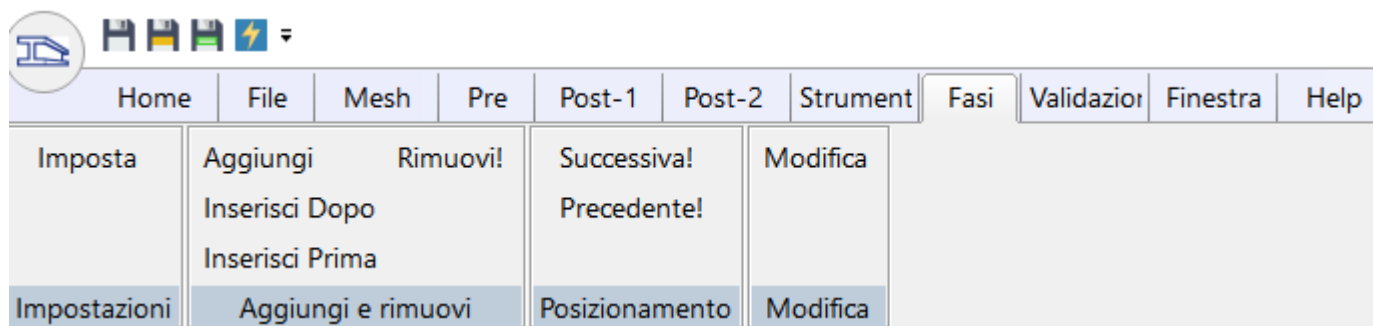
## Post - 2

Oltre ai comandi che lanciano le analisi o altri programmi, qui ci sono i comandi di post - processing relativi alle altre analisi non statiche lineari: modale, buckling, a spettro di risposta, non lineare, pushover e i comandi per le verifiche di bulloni e saldature (solo in accoppiata con CSE).



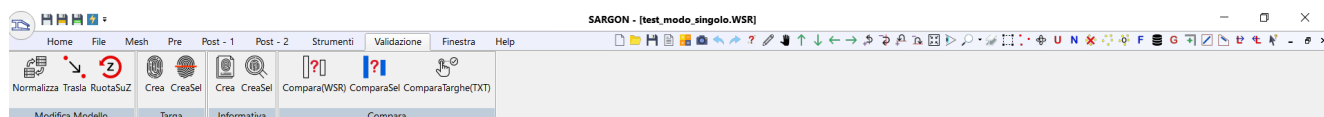
## Strumenti

Qui sono raggruppati comandi di utilità, come quelli relativi alla creazione di tavole DXF, la creazione delle membrature, la ricerca dei jnodi e lo studio dell'oscillatore semplice.



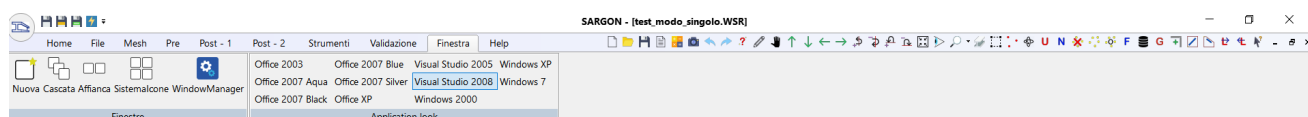
## Fasi

Qui sono raggruppati i comandi per aggiungere e rimuovere fasi e per passare alla analisi per fasi.



## Validazione

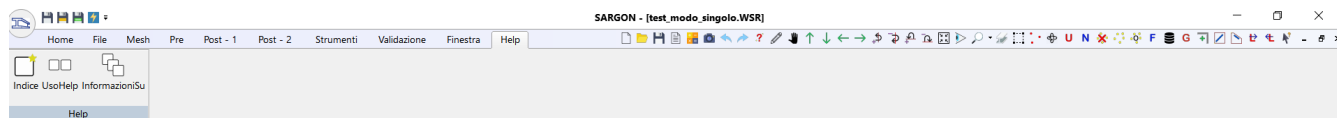
Qui sono raggruppati comandi utili per la validazione.





## Finestra

Qui sono raggruppati comandi relativi alla creazione o modifica di finestre.



## Help

Qui sono raggruppati comandi relativi all'Help ed alla guida CHM.

## Osservazione:

**La vista ribbon è più adatta ai principianti. Utenti esperti troveranno probabilmente più comoda la vista classica per le centinaia di bottoni immediatamente disponibili.**

Come passare dalla modalità classica alla modalità ribbon, e viceversa.

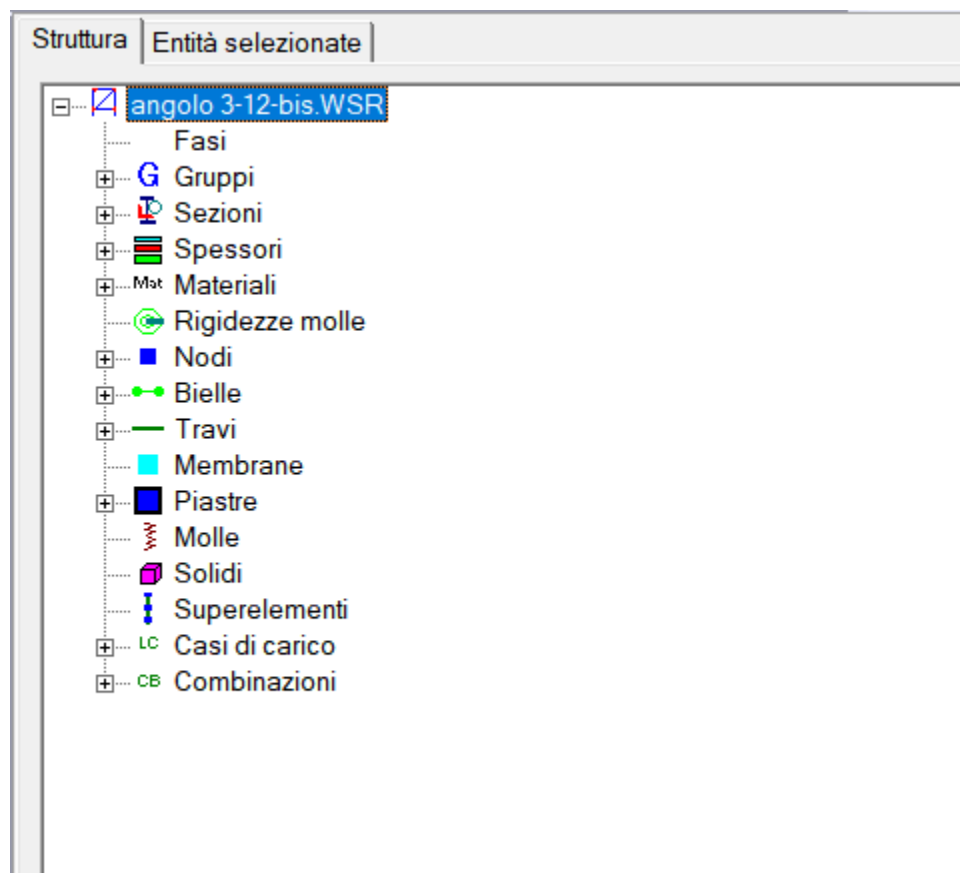
### Se si è in modalità Menu+Toolbar:

Eseguire il comando Menu-File-Impostazioni ed attivare il ribbon. Uscire dal programma e rientrare.

### Se si è in modalità Ribbon:

Eseguire il comando Ribbon-File-Impostazioni, e disattivare il ribbon. Uscire dal programma e rientrare.

## LA VISTA AD ALBERO



A partire dalla versione 15.00 rilasciata nel Novembre 2021, Sargon ha anche una vista ad albero, posta sulla sinistra della vista grafica. Ciò sia nella modalità Ribbon che nella modalità classica.

Le immagini della guida si riferiscono per la maggior parte a versioni nelle quali la vista ad albero non era ancora presente. Si tenga presente che comunque a partire dalla versione 15.00 la vista ad albero è presente sempre e che non può essere eliminata ma solo ridimensionata. Il ridimensionamento, tuttavia, può arrivare di fatto a farla sparire del tutto alla vista, se non è gradita. Il ridimensionamento della vista ad albero si ottiene trascinando verso sinistra la barra verticale di separazione tra la vista ad albero e la vista grafica.

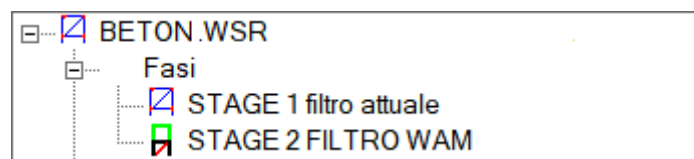
La vista ad albero non è attiva all'avvio e per essere attivata richiede che ci si clicchi dentro. Se la vista è attiva, si può scegliere cosa l'albero debba includere o no con il comando [Mostra-Albero](#)<sup>693</sup>. Se il modello è molto grande, infatti, è possibile che la necessità di aggiornare le liste contenute nella vista ad albero porti a un certo rallentamento. Tale

rallentamento scomparire, evitando l'elencazione di vettori molto grandi come quello dei nodi, o degli elementi (biella, trave, molla, membrana, piastra, solidi) o superelementi.

La vista ad albero contiene due pannelli (è previsto che aumentino):

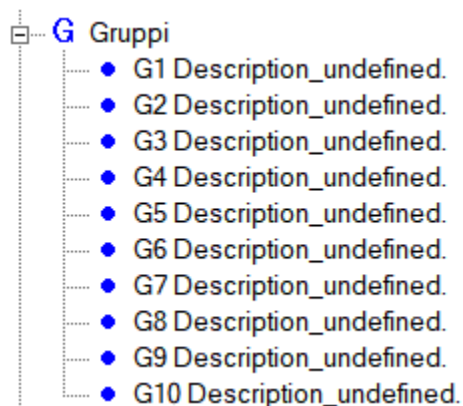
- **Struttura**
- **Entità selezionate**

Nel primo pannello è elencato tutto, indipendentemente dalla selezione. Precisamente:



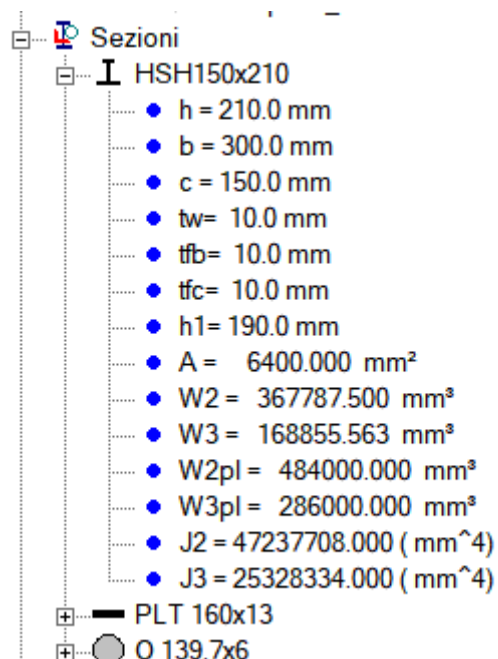
- **Fasi**

- La fase attiva si distingue dal fatto che l'icona è identica a quella della radice dell'albero.  
Per ogni fase è indicato il nome.



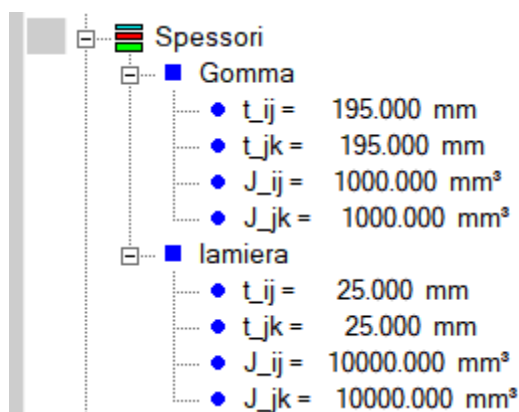
- **Gruppi**

- per ogni gruppo il numero e il nome. Cliccando due volte su un gruppo lo si può modificare direttamente.



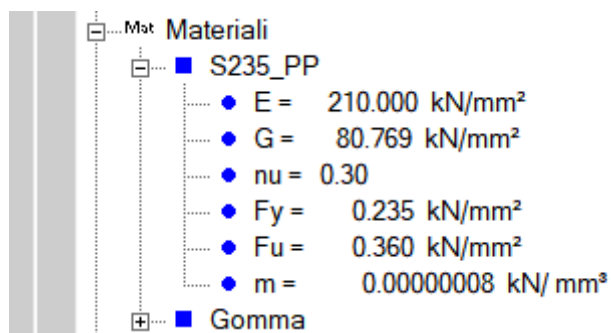
#### • Sezioni

- Per ogni sezione il nome e tutte le caratteristiche statiche, oltre a una icona di tipo. Cliccando due volte si possono modificare i dati della sezione.



#### • Spessori

- Per ogni spessore applicato il nome, lo spessore ed il momento di inerzia per unità di lunghezza. Cliccando due volte si può modificare.

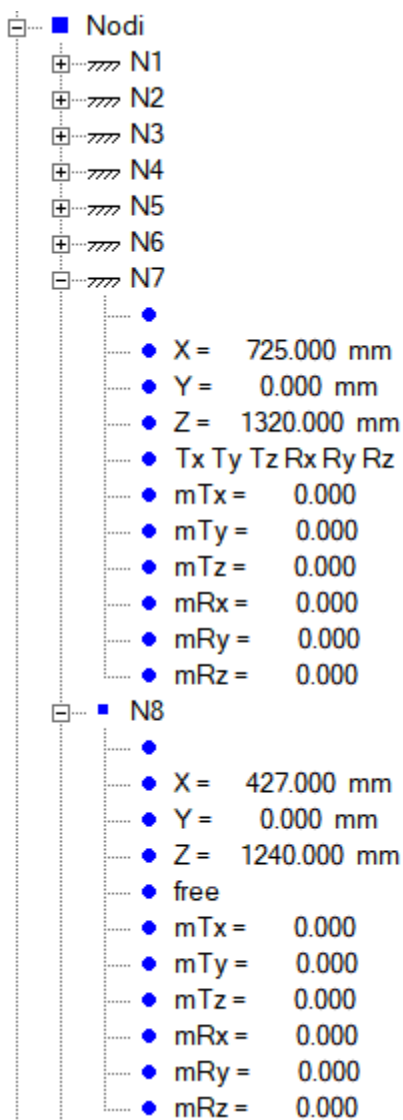


- **Materiali**

- Per ogni materiale il nome e tutte le proprietà. Cliccando due volte si può modificare il materiale.

- **Proprietà di semirigidezza**

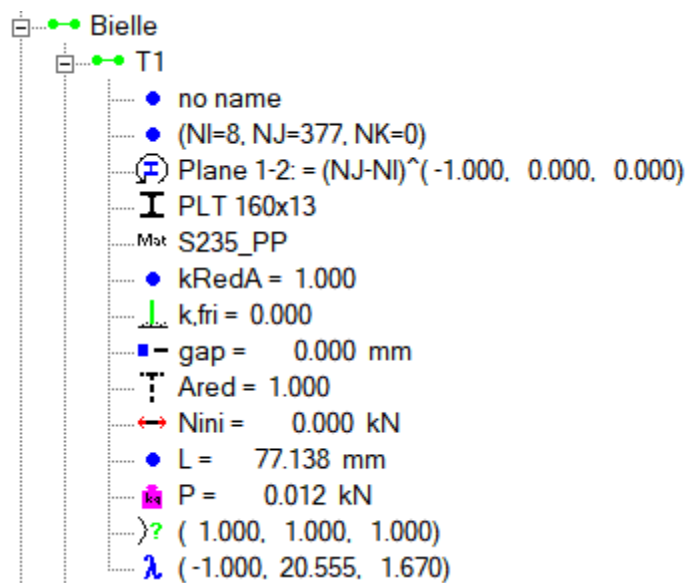
- Per ogni proprietà il nome e tutte le proprietà. Cliccando due volte si può modificare.



### • Nodi

Per ogni nodo:

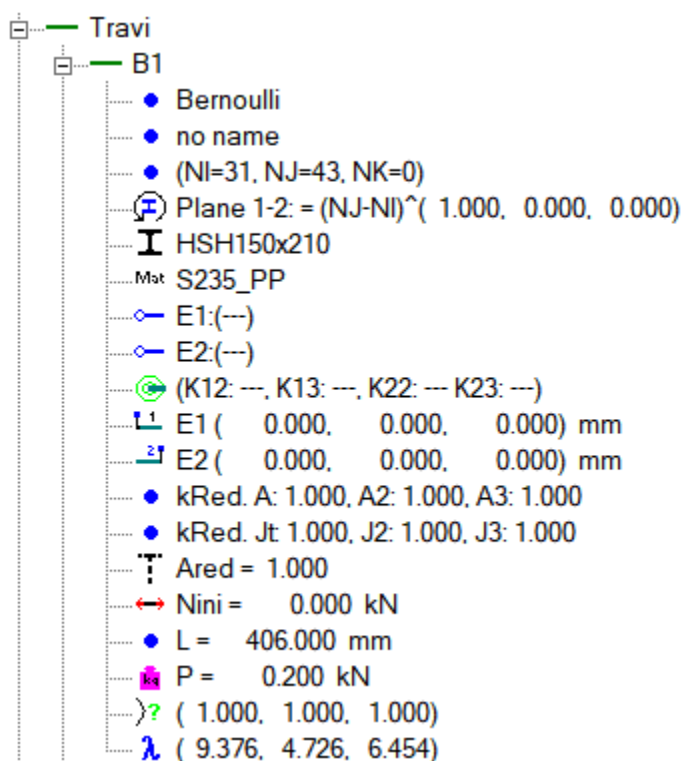
- le coordinate (doppio click per modifica);
- i vincoli (doppio click per modifica);
- le masse (doppio click per modifica).



### • Bielle

Per ogni biella:

- Il nome (doppio click per modificare);
- Le incidenze
- La orientazione (doppio click per modificare);
- La sezione assegnata (doppio click per modificare);
- Il materiale assegnato (doppio click per modificare);
- Il fattore di riduzione della rigidezza assegnato (doppio click per modificare);
- Il coefficiente di attrito (analisi non lineari) (doppio click per modificare);
- Il gap (analisi non lineari) (doppio click per modificare);
- Il fattore di riduzione per ottenere l'area netta nelle verifiche (doppio click per modificare);
- La azione assiale iniziale (analisi non lineari o modali) (doppio click per modificare);
- La lunghezza
- Il peso
- I coefficienti di libera inflessione (doppio click per modificare);
- Le tre snellezze



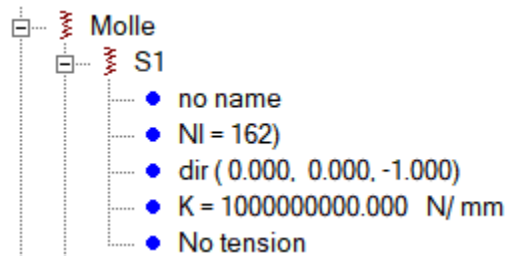
#### • Travi

Per ogni trave:

- Il tipo (doppio click per modificare);
- Il nome (doppio click per modificare);
- Le incidenze
- La orientazione (doppio click per modificare);
- La sezione assegnata (doppio click per modificare);
- Il materiale assegnato (doppio click per modificare);
- Gli svincoli al primo estremo (doppio click per modificare);
- Gli svincoli al secondo estremo (doppio click per modificare);
- Le proprietà di semirigidezza assegnate (doppio click per modificare);
- Le eccentricità al primo estremo (doppio click per modificare);
- Le eccentricità al secondo estremo (doppio click per modificare);
- Il fattore di riduzione della rigidezza assegnato alle componenti traslazionali (doppio click per modificare);
- Il fattore di riduzione della rigidezza assegnato alle componenti rotazionali (doppio click per modificare);
- Il fattore di riduzione per ottenere l'area netta nelle verifiche (doppio click per modificare);



- La azione assiale iniziale (analisi non lineari o modali) (doppio click per modificare);
- La lunghezza
- Il peso
- I coefficienti di libera inflessione (doppio click per modificare);
- Le tre snellezze

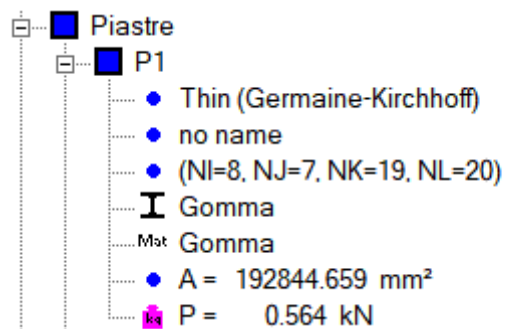


#### • Molle

Per ogni molla:

- Il nome (doppio click per modificare);
- Le incidenze
- La orientazione (doppio click per modificare);
- La sezione assegnata (doppio click per modificare);
- La rigidezza (doppio click per modificare);
- Il tipo (doppio click per modificare);

#### • Piastre



Per ogni piastra:

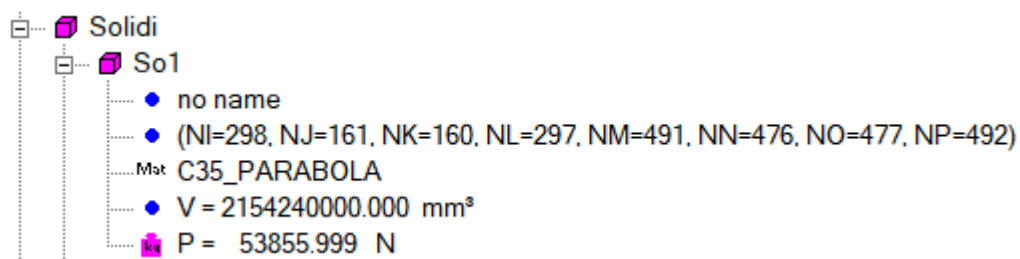
- Il tipo (doppio click per modificare);
- Il nome (doppio click per modificare);
- Le incidenze

- La sezione assegnata (doppio click per modificare);
- Il materiale assegnato (doppio click per modificare);
- L'area
- Il peso

### • Membrane

Per ogni membrana:

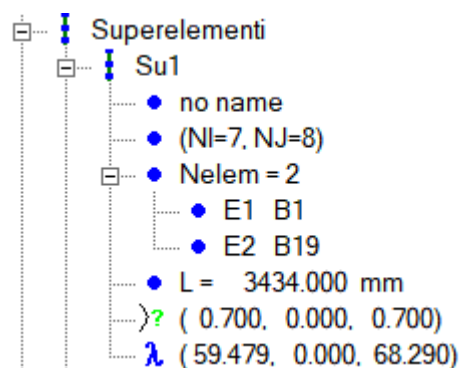
- Il nome (doppio click per modificare);
- Le incidenze
- La sezione assegnata (doppio click per modificare);
- Il materiale assegnato (doppio click per modificare);
- L'area
- Il peso



### • Solidi

Per ogni solido:

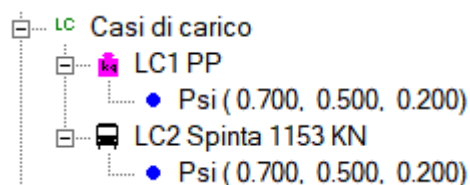
- Il nome (doppio click per modificare);
- Le incidenze
- Il materiale assegnato (doppio click per modificare);
- Il volume
- Il peso



### • Superelementi

Per ogni superelemento:

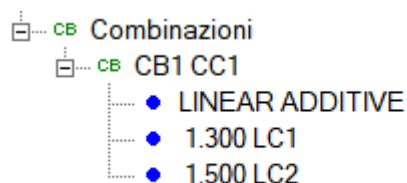
- Il nome (doppio click per modificare);
- Le incidenze
- Il numero degli elementi componenti ed il loro numero
- La lunghezza
- I coefficienti di libera inflessione (doppio click per modificare);
- Le tre snellezze



### • Casi di carico

Per ogni caso di carico:

- il nome (doppio click per modificare);
- il tipo (doppio click per modificare);
- i fattori  $\psi$  (doppio click per modificare).



- **Combinazioni**

Per ogni combinazione:

- il nome (doppio click per modificare);
- il tipo (doppio click per modificare);
- gli item che la descrivono (doppio click per modificare).

Nel secondo pannello sono elencate solo le entità selezionate (nodi, bielle, travi, molle, membrane, piastre, solidi, superelementi).

Nel pannello entità selezionate non sono elencate le cose che non possono essere selezionate ma solo attivate come:

- Fasi
- Gruppi
- Sezioni trasversali
- Spessori
- Proprietà di semirigidezza
- Materiali
- Casi di carico
- Combinazioni

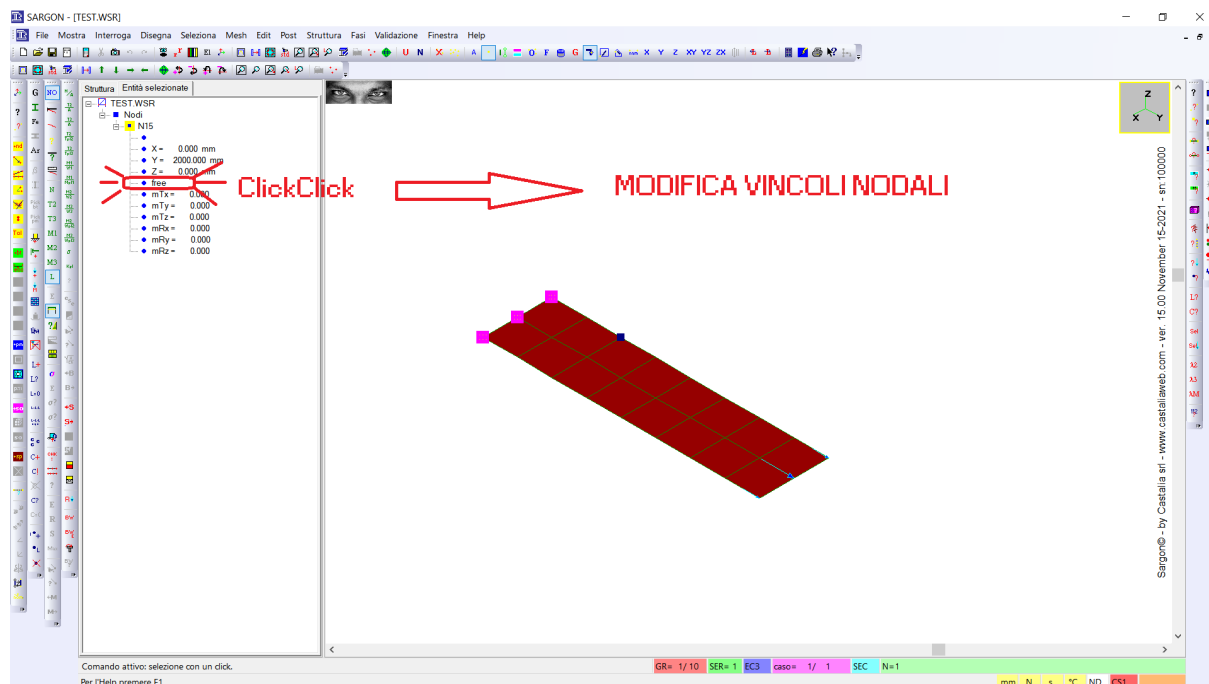
## **USO DELLA VISTA AD ALBERO**

La vista ad albero è utile per due fondamentali ragioni:

- consentire di avere sempre visibili informazioni che potrebbero essere utili nel corso del lavoro;
- modificare rapidamente entità semplicemente facendovi doppio click sopra;

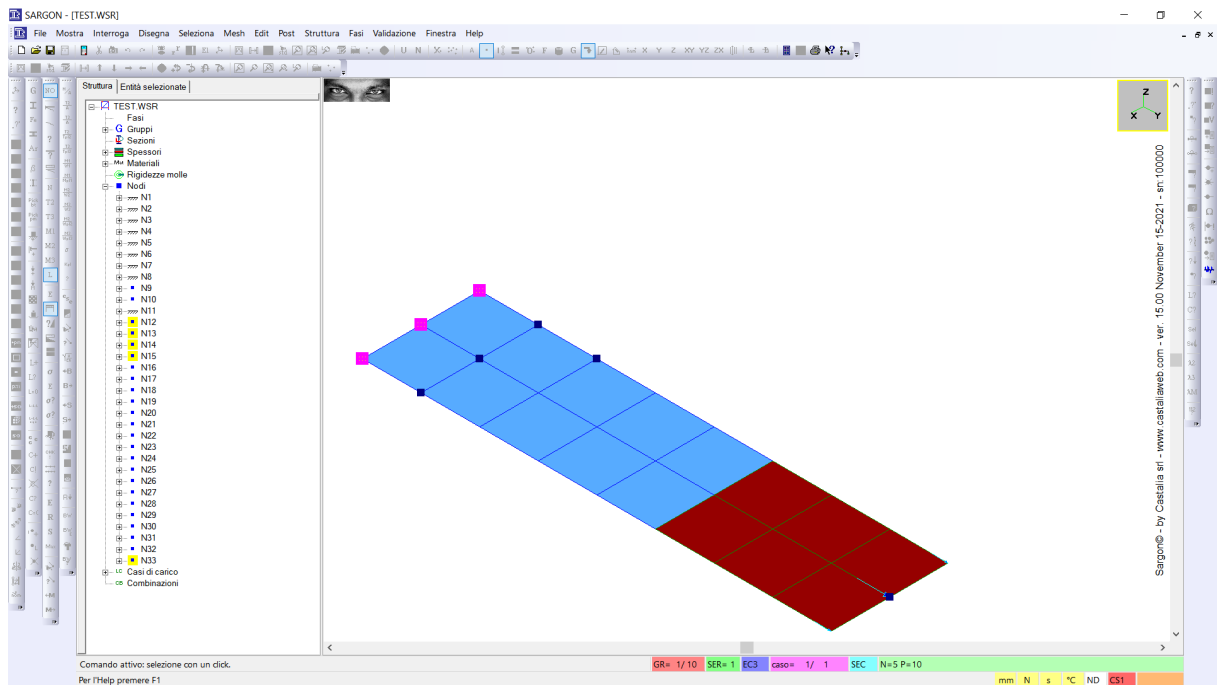
In particolare, la modifica con doppio click è utile quando si selezionano singole entità o poche entità, e si vede immediatamente a sinistra l'elenco delle proprietà dell'oggetto selezionato.

Come nell'esempio qui sotto, in cui facendo doppio click su "free" si ha immediato accesso alla modifica dei *vincoli* dell'unico nodo selezionato che compare nel pannello "Entità selezionate".:

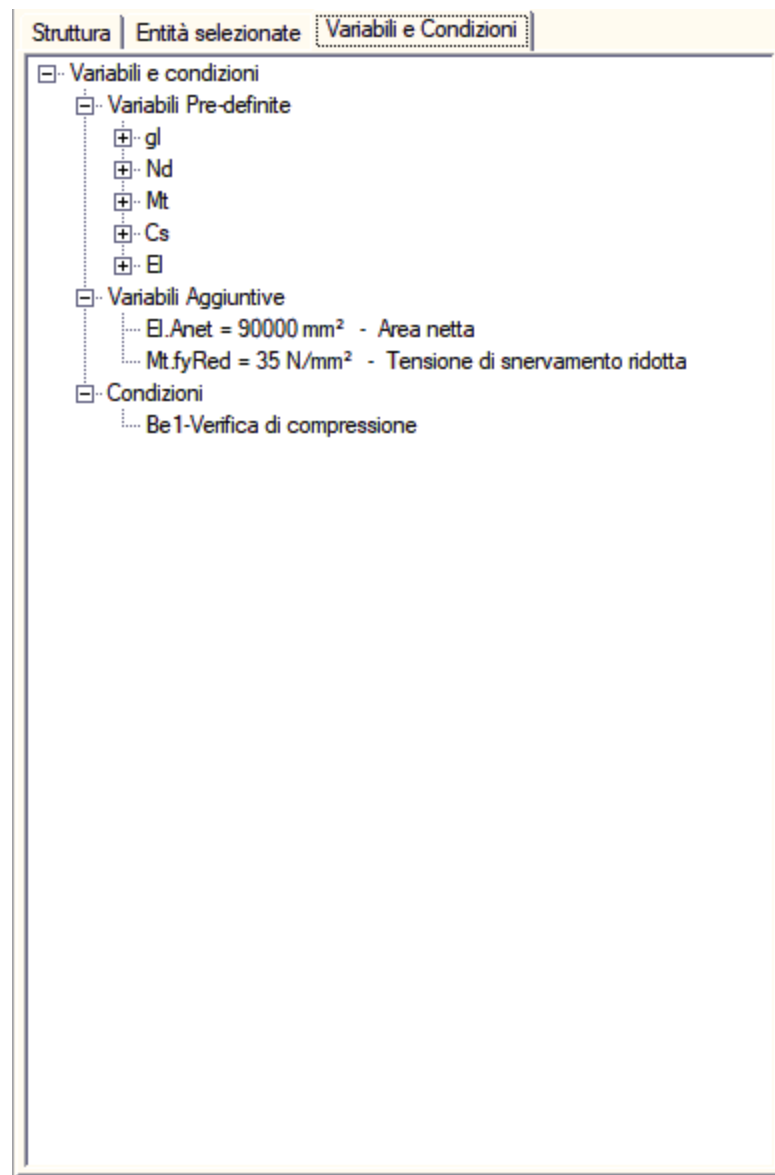


Nel pannello "Entità selezionate" per definizione si vedono solo le entità selezionate, e la vista è continuamente aggiornata. Si noti che se è inibita la elencazione di certe entità (comando [Mostra-Albero](#)<sup>693</sup>) allora le entità in questione non si vedono nel pannello "Entità selezionate" anche se sono effettivamente selezionate.

Gli oggetti selezionati si distinguono nel pannello "Struttura", perché la loro icona ha uno sfondo giallo, come si vede nell'esempio qui sotto.



## LA VISTA VARIABILI E CONDIZIONI



A partire dalla versione 15.50 è presente una vista Variabili e Condizioni, parte della più generale vista alfanumerica posta a sinistra della finestra principale.

Si tratta di una vista ad albero, in cui ci sono tre radici principali, la prima delle quali ulteriormente suddivisa:

- Variabili predefinite
  - gl : sono variabili con nome gl.NOME, si tratta di variabili globali di uso generale. Hanno un valore numerico ben definito.
  - Nd : sono variabili con nome Nd.NOME, si tratta di variabili che si riferiscono ai nodi. Cambiano valore da nodo a nodo.

- Mt :        sono variabili con nome Mt.NOME, si tratta di variabili che si riferiscono ai materiali. Cambiano valore da materiale a materiale.
- Cs :        sono variabili con nome Cs.NOME, si tratta di variabili che si riferiscono alle sezioni trasversali (Cross Secions). Cambiano valore da sezione a sezione.
- El :        sono variabili con nome El.NOME, si tratta di variabili che si riferiscono agli elementi biella, trave e superelementi. Cambiano valore da elemento a elemento.
- Variabili Aggiuntive:                      Sono le variabili aggiunte nel modello dall'utente.
- Condizioni:                                  Sono le condizioni (di verifica libera) aggiunte nel modello dall'utente.

Le variabili globali sono:



▢ Variabili e condizioni

▢ Variabili Pre-definite

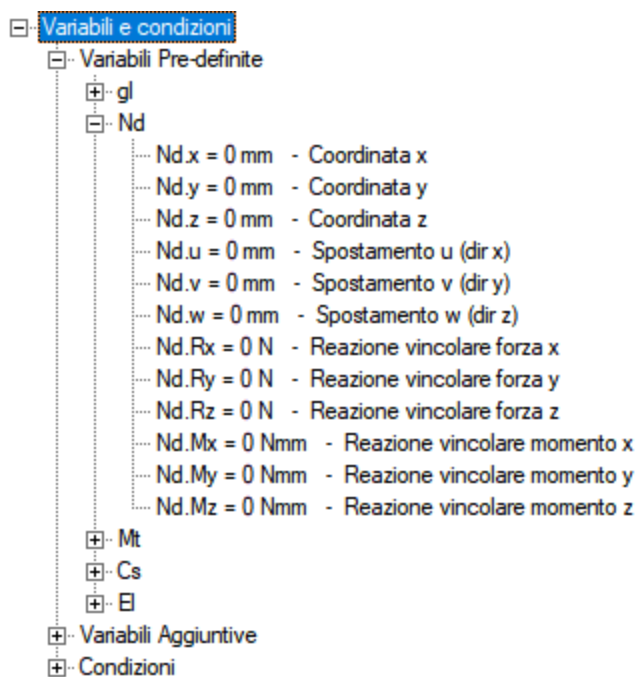
▢ gl

```

...gl.pi = 3.14159 - Pi - greco
...gl.2pi = 6.28319 - 2 Pi - greco
...gl.deg = 0.0174533 rad - Grado
...gl.sin30 = 0.5 - sin 30°
...gl.sin45 = 0.707107 - sin 45°
...gl.sin60 = 0.866025 - sin 60°
...gl.cos30 = 0.866025 - cos 30°
...gl.cos45 = 0.707107 - cos 45°
...gl.cos60 = 0.5 - cos 60°
...gl.tan30 = 0.57735 - tan 30°
...gl.tan45 = 1 - tan 45°
...gl.tan60 = 1.73205 - tan 60°
...gl.sqrt2 = 1.41421 - Radice quadrata di 2
...gl.sqrt3 = 1.73205 - Radice quadrata di 3
...gl.gM0 = 1.05 - Gamma M0
...gl.gM1 = 1.05 - Gamma M1
...gl.gM2 = 1.25 - Gamma M2
...gl.fib = 0.75 - Fattore di resistenza per bulloni
...gl.fiw = 0.75 - Fattore di resistenza per saldature
...gl.fibr = 0.75 - Fattore di resistenza per rifollamento
...gl.fisy = 1 - Fattore di resistenza per snervamento a taglio
...gl.fisr = 0.75 - Fattore di resistenza per rottura a taglio
...gl.fity = 0.9 - Fattore di resistenza per snervamento
...gl.fitr = 0.7 - Fattore di resistenza per rottura in trazione
...gl.fibs = 0.75 - Fattore di resistenza per block shear
...gl.fifr = 0.75 - Fattore di resistenza per rottura
...gl.fify = 0.9 - Fattore di resistenza per snervamento flessione
...gl.fibu = 0.9 - Fattore di resistenza per instabilità
...gl.fir = 0.75 - Fattore di resistenza per rottura
...gl.E = 210000 N/mm² - Modulo di Young
...gl.EEC3 = 210000 N/mm² - Modulo di Young EC3
...gl.EAISC = 200000 N/mm² - Modulo di Young AISC
...gl.nu = 0.3 - Coefficiente di Poisson
...gl.nuAISC = 0.3 - Coefficiente di Poisson AISC
...gl.G = 80769.2 N/mm² - Modulo tangenziale
...gl.GEC3 = 80769.2 N/mm² - Modulo tangenziale EC3
...gl.GAISC = 76923.1 N/mm² - Modulo tangenziale AISC
...gl.N = 1 N - Newton
...gl.daN = 10 N - Deca Newton
...gl.kN = 1000 N - Kilo Newton
...gl.t = 9810 N - tonnellata
...gl.lb = 4.44982 N - Libbra
...gl.kip = 4449.82 N - Kilo Libbra
...gl.kg = 9.81 N - Kilogrammo
...gl.mm = 1 mm - Millimetro
...gl.cm = 10 mm - Centimetro
...gl.m = 1000 mm - Metro
...gl.in = 25.4 mm - Pollice
...gl.ft = 304.8 mm - Piede
...gl.yd = 914.4 mm - Yarda
...gl.mm2 = 1 mm² - Millimetro quadrato
...gl.cm2 = 100 mm² - Centimetro quadrato
...gl.m2 = 1e+06 mm² - Metro quadrato
...gl.in2 = 645.16 mm² - Pollice quadrato
...gl.ft2 = 92903 mm² - Piede quadrato
...gl.yd2 = 836127 mm² - Yarda quadrata
...gl.mm3 = 1 mm³ - Millimetro cubo
...gl.cm3 = 1000 mm³ - Centimetro cubo
...gl.m3 = 1e+09 mm³ - Metro cubo
...gl.in3 = 16387.1 mm³ - Pollice cubo
...gl.ft3 = 2.83168e+07 mm³ - Piede cubo
...gl.yd3 = 7.64555e+08 mm³ - Yarda cubo
...gl.MPa = 1 N/mm² - Mega Pascal
...gl.ksi = 6.89476 N/mm² - Kilo pound per square inch
...gl.psi = 0.00689476 N/mm² - Pound per square inch

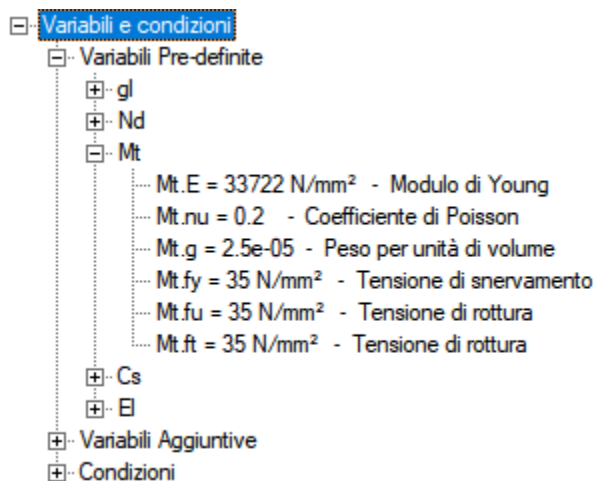
```

Le variabili Nd sono:



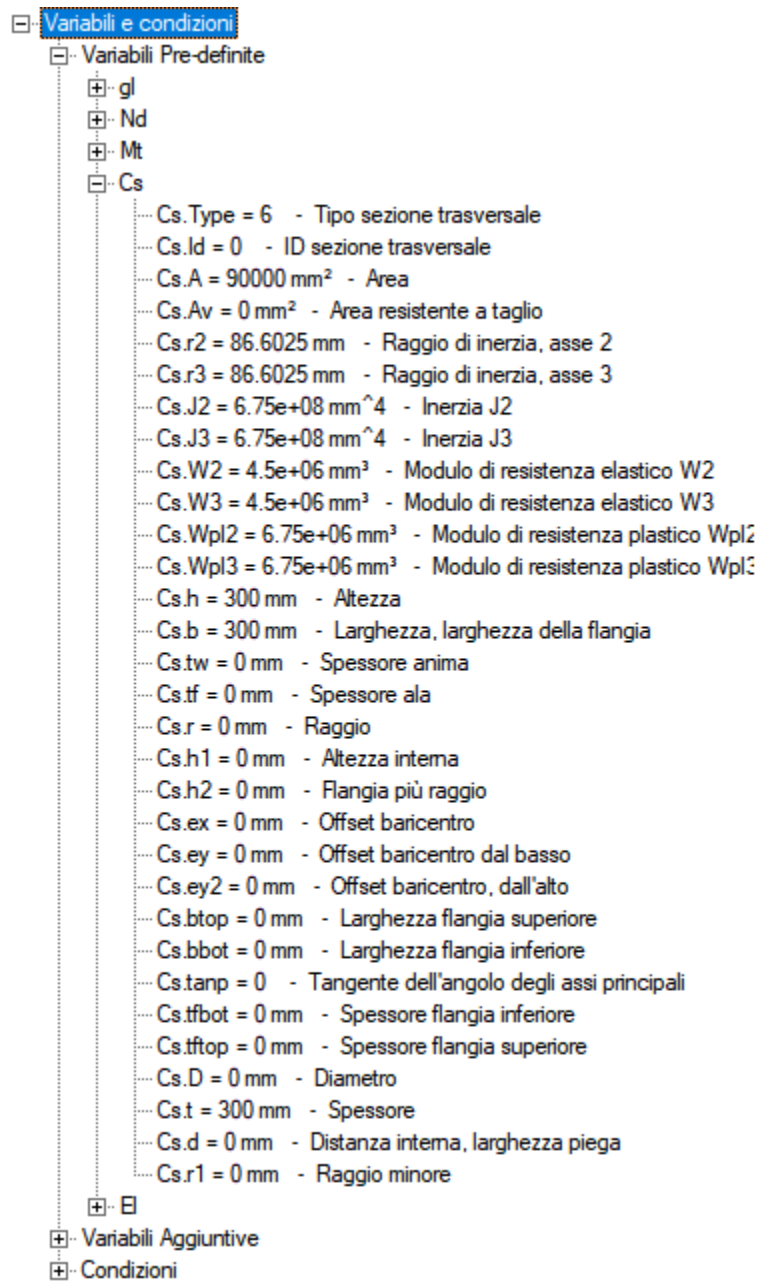
I valori effettivi cambiano da nodo a nodo

Le variabili Mt sono:



I valori effettivi cambiano da materiale a materiale.

Le variabili Cs sono:



I valori effettivi cambiano da sezione a sezione.

Le variabili El sono:

... El.Type = 0 - Tipo di elemento : 0 biella, 1 trave, 2 superelemento  
 ... El.CsType = 0 - Tipo di sezione trasversale  
 ... El.CsId = 0 - ID della sezione trasversale  
 ... El.L = 0 mm - Lunghezza dell'elemento  
 ... El.K1 = 1 - Coefficiente di libera torsione  
 ... El.K2 = 1 - Coefficiente di libera flessione, asse 2  
 ... El.K3 = 1 - Coefficiente di libera flessione, asse 3  
 ... El.redA = 1 - Fattore di riduzione dell'area  
 ... El.Ny = 0 N - Azione assiale limite plastica  
 ... El.Me12 = 0 Nmm - Momento flettente 2 limite elastico  
 ... El.Me13 = 0 Nmm - Momento flettente 3 limite elastico  
 ... El.Mpl2 = 0 Nmm - Momento flettente 2 limite plastico  
 ... El.Mpl3 = 0 Nmm - Momento flettente 3 limite plastico  
 ... El.Vpl2 = 0 N - Taglio limite plastico 2  
 ... El.Vpl3 = 0 N - Taglio limite plastico 3  
 ... El.Ns = 0 N - Azione assiale, in una sezione  
 ... El.T2s = 0 N - Taglio T2, in una sezione  
 ... El.T3s = 0 N - Taglio T3, in una sezione  
 ... El.M1s = 0 Nmm - Momento torcente M1, in una sezione  
 ... El.M2s = 0 Nmm - Momento flettente M2, in una sezione  
 ... El.M3s = 0 Nmm - Momento flettente M3, in una sezione  
 ... El.Nmax = 0 N - Massima azione assiale, tutte le sezioni  
 ... El.Nmin = 0 N - Minima azione assiale, tutte le sezioni  
 ... El.Nten = 0 N - Trazione (positiva), tutte le sezioni  
 ... El.Ncom = 0 N - Compressione (positiva), tutte le sezioni  
 ... El.Nabs = 0 N - Massimo modulo della azione assiale, tutte le sezioni  
 ... El.T2max = 0 N - Massimo taglio T2, tutte le sezioni  
 ... El.T2min = 0 N - Minimo taglio T2, tutte le sezioni  
 ... El.T2abs = 0 N - Massimo modulo taglio T2, tutte le sezioni  
 ... El.T3max = 0 N - Massimo taglio T3, tutte le sezioni  
 ... El.T3min = 0 N - Minimo taglio T3, tutte le sezioni  
 ... El.T3abs = 0 N - Massimo modulo taglio T3, tutte le sezioni  
 ... El.M1max = 0 Nmm - Massimo momento torcente M1, tutte le sezioni  
 ... El.M1min = 0 Nmm - Minimo momento torcente M1, tutte le sezioni  
 ... El.M1abs = 0 Nmm - Massimo modulo momento torcente M1, tutte le sezioni  
 ... El.IsM2Lin = 0 - M2 è lineare?  
 ... El.M2i = 0 Nmm - Momento M2, sezione iniziale  
 ... El.M2j = 0 Nmm - Momento M2, sezione finale  
 ... El.M2m = 0 Nmm - Momento M2, mezzzeria  
 ... El.M2max = 0 Nmm - Massimo momento M2, tutte le sezioni  
 ... El.M2min = 0 Nmm - Minimo momento M2, tutte le sezioni  
 ... El.M2abs = 0 Nmm - Massimo modulo momento M2, tutte le sezioni  
 ... El.IsM3Lin = 0 - M3 è lineare?  
 ... El.M3i = 0 Nmm - Momento M3, sezione iniziale  
 ... El.M3j = 0 Nmm - Momento M3, sezione finale  
 ... El.M3m = 0 Nmm - Momento M3, mezzzeria  
 ... El.M3max = 0 Nmm - Massimo momento M3, tutte le sezioni  
 ... El.M3min = 0 Nmm - Minimo momento M3, tutte le sezioni  
 ... El.M3abs = 0 Nmm - Massimo modulo momento M3, tutte le sezioni  
 ... El.elem = 0 - Numero di elemento  
 ... El.M2fq = 0 Nmm - Momento M2, a 1/4  
 ... El.M2tq = 0 Nmm - Momento M2, a 3/4  
 ... El.M3fq = 0 Nmm - Momento M3, a 1/4  
 ... El.M3tq = 0 Nmm - Momento M3, a 3/4

I valori effettivi cambiano da elemento a elemento e da combinazione a combinazione, e, per le variabili Ns, T2s... M3s, da sezione a sezione lungo l'elemento.

Per maggiori informazioni sulle variabili predefinite si veda [Verifiche Libere](#)<sup>[291]</sup>.

## 1.6 Funzionamento dei comandi

### FUNZIONAMENTO DEI COMANDI

[Comandi modali e non modali](#)<sup>[63]</sup>

[Dare un box](#)<sup>[64]</sup>

[Dare una poligonale](#)<sup>[65]</sup>

### 1.6.1 Comandi modali e non modali

#### COMANDI MODALI E NON MODALI

In Sargon i comandi si dividono in due grandi categorie: i comandi modali ed i comandi non modali.

I comandi modali sono comandi nel corso dei quali non possono essere eseguiti altri comandi. I comandi non modali possono invece essere temporaneamente abbandonati. Alla prima categoria appartengono i comandi che non necessitano di dati di input (ad esempio [Pulisci](#)<sup>[799]</sup>), oppure comandi che sfociano in una finestra di dialogo di tipo modale (che si conclude cioè con “Ok” o “Cancel” e che non consente all'utente di andarsene senza chiudere il dialogo).

Alla seconda categoria appartengono comandi che attendono la decisione dell'utente (tutte le interrogazioni, le selezioni, ecc.). Una importante decisione riguarda la fine del comando stesso. Alcuni comandi si aspettano certe informazioni e terminano quando le ricevono (ad esempio in [Copia](#)<sup>[865]</sup> il comando aspetta che l'utente scelga due nodi), altri

terminano solo quando l'utente decide di smettere (tutte le interrogazioni sui nodi, le travi, bielle, ecc).

I comandi non modali durano il tempo che l'utente vuole. Se un comando non modale attende di sapere dall'utente quali sono i nodi che determinano un vettore, finchè non riceve tutti e due i nodi esso rimarrà attivo.

Un comando non modale può sempre essere abortito cliccando il tasto destro del mouse o il tasto ESC.

In generale, nel corso dell'esecuzione di un comando non modale è possibile eseguire un altro comando, anche non modale, al termine del quale ci si ritroverà dove si era prima di lasciare il comando.

I comandi non modali possono essere accatastati tra loro e con comandi modali.

Per sapere qual'è il comando attivo in un certo istante è possibile guardare la barra di stato: se si è in un comando non modale essa ricorda quale comando si sta eseguendo.

L'utente deve usare con accortezza questa possibilità, evitando di eseguire comandi contraddittori (se ad esempio sono nel mezzo di un comando [Interroga-Travi](#)<sup>713</sup>, non devo cancellarle tutte!).

Nel caso di un comando non modale è possibile usare sia il mouse che la tastiera. Il movimento del mouse è emulato dalle freccette, il tasto sinistro dal tasto "INVIO", il tasto destro dal tasto "ESC".

## 1.6.2 Dare un box

### DARE UN BOX

Spesso capita di dover dare un box, nell'ambito di comandi di tipo non-modale. Usando il mouse il box viene definito cliccando due volte con il tasto sinistro. Al primo click corrisponde un vertice, al secondo click la scelta del box rappresentato a schermo. La pressione del tasto destro del mouse tra il primo ed il secondo click comporta la fine del comando.

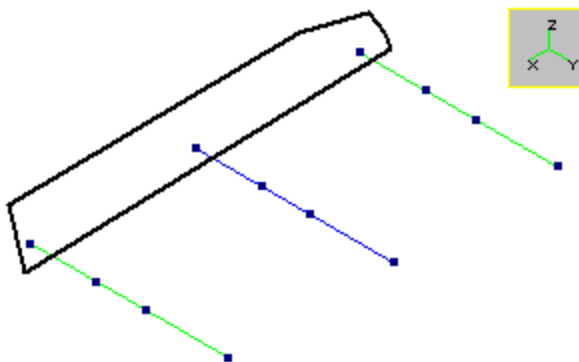
Con la tastiera occorre premere due volte "invio". Una prima volta per fissare il primo punto, una seconda volta per fissare il secondo punto. Le freccette (alto, basso, destra, sinistra)

consentono di variare la dimensione del box, e corrispondono ai quattro movimenti del mouse. Il tasto “ESC” da interrompere il comando.

E' anche possibile usare i due metodi contemporaneamente all'interno di uno stesso comando, e scegliere il primo punto con un click, il secondo punto con “invio”.

### 1.6.3 Dare una poligonale

#### DARE UNA POLIGONALE



Spesso capita di dover una poligonale, nell'ambito di comandi di tipo non modale. Usando il mouse la poligonale viene data cliccando n volte con il tasto sinistro, e, per chiudere la poligonale, facendo doppio click, sempre col tasto sinistro.

Ad ogni click corrisponde un vertice della poligonale. La pressione del tasto destro del mouse prima del doppio click col tasto sinistro comporta la fine del comando.

Con la tastiera occorre premere n volte “invio”. Ad ogni pressione del tasto “invio” corrisponde un punto della poligonale. La poligonale viene chiusa premendo la barra spaziatrice. Le freccette (alto, basso, destra, sinistra) fanno muovere il cursore da un punto, al successivo.

Il tasto “ESC” fa interrompere il comando. E' anche possibile usare i due metodi contemporaneamente all'interno di uno stesso comando, e scegliere il primo punto con un click, il secondo punto con “invio”.

## 1.7 Estensioni dei file gestiti

### ESTENSIONI DEI FILE GESTITI

I principali file gestiti da Sargon hanno le seguenti estensioni:

- \* SARGON.SMA archivio sezioni e materiali (in cartella di installazione)
- \* .SMA archivi di sezioni e materiali
- \* .WSR base dati del modello
- \* .WBK file di backup del file .WSR : si può rinominare in sicurezza .WSR
- \* .SR4 file di scambio con il modello, ASCII
- \* .SR3 file di scambio con il modello, BINARIO
- \* .SR2 file con il modello (BINARIO, uso interno)
- \* .SDB sforzi ed azioni interne
- \* .DDB spostamenti
- \* .ADB accelerazioni (DYNCURAN)
- \* .VDB velocità (DYNCURAN)
- \* .RDB reazioni vincolari
- \* .IDB forze nodali interne agli elementi
- \* .MDB spostamenti modali
- \* .MIB forze interne modali
- \* .MSB sforzi ed azioni interne modali
- \* .MRB reazioni vincolari modali
- \* .BDB spostamenti deformate critiche
- \* .BSB sforzi e azioni interne modi critici
- \* .BRB reazioni vincolari nodi critici
- \* .FDB risultati fibre, (CURAN e DYNCURAN)
- \* .LIJ termini extra diagonali della matrice di rigidezza
- \* .LII termini diagonali della matrice di rigidezza
  
- ❖ . (no estensione) file di input CLEVER
- ❖ .OUT file di output CLEVER

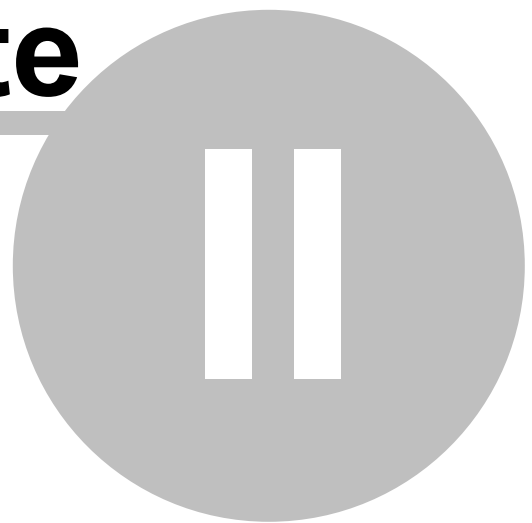


- ❖ .INF file di LOG CLEVER
  - ❖ .DIN file di input LEDA
  - ❖ .DNL file di input per DYNCURAN
  - ❖ .DOU file di output LEDA
  - ❖ .DOG file di LOG LEDA
  - ❖ .RIN file di input SPECTRUM
  - ❖ .ROU file di output SPECTRUM
  - ❖ .ROG file di log SPECTRUM
  - ❖ .SIN file di input SOCLEVER
  - ❖ .SOU file di output SOCLEVER
  - ❖ .SOG file di log SOCLEVER
  - ❖ .CUI file di input CURAN e DYNCURAN
  - ❖ .COU file di output CURAN
  - ❖ .COG file di LOG CURAN
  - ❖ .YOG file di LOG per DYNCURAN
  - ❖ .YOU file di output per DYNCURAN
  - ❖ .FIN file di input FREQUENCY
  - ❖ .FOU file di output FREQUENCY
  - ❖ .FOG file di output FREQUENCY
  - ❖ .BIN file di input WBUCKL
  - ❖ .BOU file di output WBUCKL
  - ❖ .BOU file di LOG WBUCKL
  - ❖ .RCI input per RCSHAPE
- 
- \* .EUR risultati verifiche Eurocodice 3, NTC
  - \* .CNR risultati verifiche CNR 10011
  - \* .ASC risultati verifiche AISC ASD 1989
  - \* .AS2 risultati verifiche AISC 360-10
  - \* .FCK risultati verifiche libere
  - ❖ .RCB output binario RCSHAPE

❖ .RCD output binario verifiche c.a. Sargon

- \* .EIT tabulato Eurocodice 3 /NTC italiano
- \* .EEN tabulato Eurocodice 3 /NTC inglese
- \* .CIT tabulato CNR italiano
- \* .CEN tabulato CNR inglese
- \* .AIT tabulato AISC-ASD italiano
- \* .AEN tabulato AISC-ASD inglese
- \* .BIT tabulato BS italiano
- \* .BEN tabulato BS inglese
- \* .A2I tabulato AISC 360-10 italiano
- \* .A2E tabulato AISC 360-10inglese
- \* .OOO tabulato verifiche c.a. Sargon
- \* .RCO tabulato verifche c.a. RCSHAPE

**Parte**



## 2 Come...


### 2.1 Avere aiuto

#### COME AVERE AIUTO

In Sargon l'aiuto è disponibile con il comando [Indice](#)<sup>1333</sup> del menù Help. Tuttavia sono disponibili varie altre forme di aiuto:

**1) Tooltip:** muovendo il mouse in prossimità di un bottone di una qualsiasi delle barre degli strumenti compare una finestrella che dice qual'è quel comando.

**2) Barra di stato:** andando su un comando (sia del menù che delle barre) compare una spiegazione per esteso nella barra di stato della finestra principale.

**3) Aiuto sensibile al contesto:** (a) premendo il tasto F1 quando è aperto un dialogo si hanno informazioni sul contenuto ed il significato di quel dialogo (tale tipo di aiuto è raccomandato per avere informazioni di dettaglio); (b) selezionando un comando di menù e premendo F1 si hanno informazioni su quel comando; (c) cliccando su  eppoi su un bottone o un comando del menù si hanno informazioni su quel comando.

**4) Comandi non modali:** nel corso della esecuzione di un comando non modale ([Comandi modali e non modali](#)<sup>63</sup>) nella barra di stato della vista attiva del comando compare una scritta che ricorda quale comando sia attivo. Se il comando viene abbandonato eppoi ripreso, al primo movimento del mouse il comando ricompare.

### 2.2 Uscire da Sargon

#### COME USCIRE DA SARGON

Per uscire da Sargon occorre scegliere il comando Esci del menù file. Se i modelli aperti sono stati modificati si verrà richiesti di salvarli.

## 2.3 Come utilizzare le modalità di rappresentazione

Fino alla versione 17, Sargon aveva due modalità di rappresentazione: la vista FEM e la vista solida del modello FEM.

A partire dalla versione 18.00 rilasciata nel Luglio 2026, Sargon ha ora tutte le seguenti modalità di rappresentazione, attivabili con comandi posti nel menu Mostra.

- [Vista FEM a modello ideale](#)<sup>[705]</sup>. Gli elementi finiti sono rappresentati con il loro luogo medio ideale. E' la modalità in cui si lavora maggiormente. **Esisteva già prima della v. 18.00.**
- [Vista MEMBER a modello unifilare](#)<sup>[706]</sup>. Si vedono e selezionano membrature. Non elementi finiti. E' usata per le verifiche c.a. e per i jnodi. E' stata aggiunta in v. 18.00.
- [Vista FEM solida](#)<sup>[706]</sup>. E' usata per dare una idea degli ingombri e resta accessibile anche per certe mappe in falsi colori con i risultati. **Esisteva già prima della v. 18.00.**
- [Vista MEMBER solida](#)<sup>[707]</sup>. E' usata solo per dare una idea dell'ingombro e non include piastre, membrane, molle ed elementi solidi. E' stata aggiunta in v. 18.00.
- [Vista MEMBER solida trasparente](#)<sup>[707]</sup>. E' usata nel calcestruzzo armato per avere una vista delle armature posizionate. Consente di selezionare le membrature. E' stata aggiunta in v. 18.00.

- [Vista SECTION](#)<sup>[708]</sup>. E' usata per avere informazioni sulle sezioni, in specie sulle armature. E' stata aggiunta in v. 18.00.

La modalità di gran lunga più usata e quella consigliata per il lavoro normale è la prima: vista FEM unifilare *a modello ideale*. Tale rappresentazione è l'unica coerente con i calcoli agli elementi finiti che sono la base sostanziale delle analisi e delle verifiche.

Sargon lavora sempre su modelli FEM con le seguenti eccezioni:

- [Per le verifiche del C.A](#)<sup>[586]</sup>. usa le membrature non gli elementi finiti. le verifiche sono eseguite sulle sezioni delle membrature. Le armature sono una proprietà delle membrature non degli elementi finiti.
- [Per trovare i jnodi eguali](#)<sup>[467]</sup> e lavorare con loro usa le membrature non gli elementi finiti.

## 2.4 Creare una mesh

### COME CREARE LA MESH

[Cosa è una mesh](#)<sup>[73]</sup>

[I mattoni fondamentali](#)<sup>[74]</sup>

[Creazione o modifica della mesh in Sargon](#)<sup>[83]</sup>

[Importazione della mesh o del modello fatto altrove](#)<sup>[86]</sup>

[Export dei dati sezionali \(Esportare .arf\)](#)<sup>[147]</sup>

[Collegamento bidirezionale con Strucad](#)<sup>[147]</sup>

[Uso dei comandi di riempimento automatico](#)<sup>[149]</sup>

## 2.4.1 Cosa è una mesh

### COSA È UNA MESH

Una mesh non è un disegno. Chiamiamo mesh l'insieme di tutti i nodi e di tutti gli elementi di un modello agli elementi finiti, con le loro connessioni ed i loro vincoli. Nell'ambito di questa guida il concetto di *mesh* non include i vincoli, che verranno trattati a parte ([Gestire vincoli e svincoli](#)<sup>166</sup>).

Un nodo è un punto dello spazio dotato di sei distinte possibilità di movimento. Ad ogni nodo viene associato un numero che lo individua e lo contraddistingue.

Un elemento è un'entità matematica definita da un tipo, da una tabella delle incidenze, da una tabella delle proprietà. In generale un elemento connette uno o più nodi tra di loro o con il sistema di riferimento. Ad ogni tipo di elemento corrisponde un certo numero di nodi (ordinati tra loro in sequenza), una formulazione matematica, ed un insieme di parametri.

L'elemento finito simula in modo semplificato il comportamento di una parte della struttura reale. **Una mesh è pertanto una astrazione, un modello, che non ha per obiettivo quello di simulare l'aspetto esteriore di una struttura, bensì quello di simulare la risposta della struttura alla applicazione di certe azioni, nell'ambito di una certa teoria.** Poiché il metodo degli elementi finiti è ad oggi l'unico modo efficiente di fare calcoli su strutture generiche, occorre tenere presente che nella modellazione agli elementi finiti ciò che conta sono i risultati numerici, non l'aspetto della mesh o il suo assomigliare alla struttura reale. Pertanto è del tutto lecito aggiungere elementi monodimensionali là dove nella struttura v'è un blocco solido o un complicato marchingegno, se, ai fini della risposta del sistema allo studio, il marchingegno può essere assimilato ad un elemento monodimensionale. Viceversa, tentare di modellare il marchingegno con elementi solidi (brick) può essere il segno di una mancata comprensione del metodo, o di uno stato paranoide. Dipende.

A meno che non siano voluti (ad esempio per modellare giunti di costruzione) è generalmente bene evitare che vi siano più nodi nella stessa posizione geometrica (nodi doppi). Anche la presenza di elementi sovrapposti (elementi doppi) è in generale da evitare, benchè vi siano, anche in questo caso, circostanze in cui è necessario usarli.

Un altro caso tipico di problema in una mesh è la presenza di sconnessioni, ovvero la situazione per la quale due elementi che dovrebbero essere connessi non lo sono. Le sconnessioni possono essere dovute alla presenza di nodi doppi, oppure ad una errata disposizione degli elementi. Possono anche essere dovuti al collegamento di due elementi di tipo diverso.

Una mesh che non presenti labilità, in un certo senso, è sempre corretta e sempre scorretta.

Si può dire che è sempre corretta perchè un solutore è in grado di arrivare alla fine dei conti e di presentare dei risultati, corretti nel senso di coerenti con i dati introdotti. Non è detto però che tali risultati simulino il comportamento della struttura. Può capitare che la struttura sia tutt'altro.

Si può dire che è sempre scorretta perchè anche se ben fatta tende a risultati giusti solo nell'ambito di una teoria in particolare (elasticità, plasticità, ecc.), mai a risultati eguali alla realtà. Eppoi, anche se la teoria fosse la realtà, la teoria è simulata in modo numerico: una mesh deve essere sufficientemente raffinata per dare risultati attendibili, tende asintoticamente alla teoria.

All'interno di Sargon vengono trattati problemi di elasticità lineare in piccoli spostamenti.

## **2.4.2 I mattoni fondamentali**

### **I MATTONI FONDAMENTALI**

[Nodo](#)  75



[Trave](#) 

[Biella](#) 

[Piastra](#) 

[Membrana](#) 

[Molla](#) 



[Superelemento](#) 


[Solido](#) 

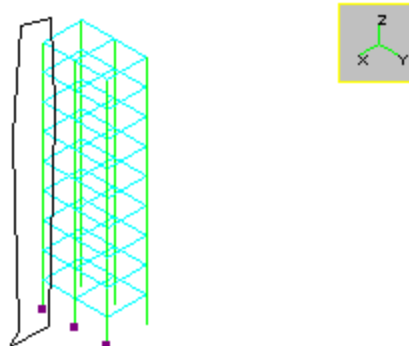
#### 2.4.2.1 Nodo

### NODO

Per **nodo** si intende un punto dello spazio a cui vengono attribuite sei componenti di vincolo ed un numero progressivo atto a individuare il nodo stesso ed a distinguerlo da tutti gli altri nodi. Le sei componenti di vincolo si riferiscono alle tre traslazioni ed alle tre rotazioni secondo gli assi del sistema di riferimento globale.

In Sargon esistono sempre almeno sei nodi (Nodi predefiniti) che sono completamente vincolati ed hanno la funzione di orientare le terne locali degli elementi trave ([Trave](#) ) e biella ([Biella](#) )

In Sargon i nodi non si vedono a meno che non siano selezionati. È possibile mostrare il numero associato a ciascun nodo (numerazione nodale: [Oggetti](#) )



I tre nodi alla base si vedono perchè selezionati

#### 2.4.2.2 Trave

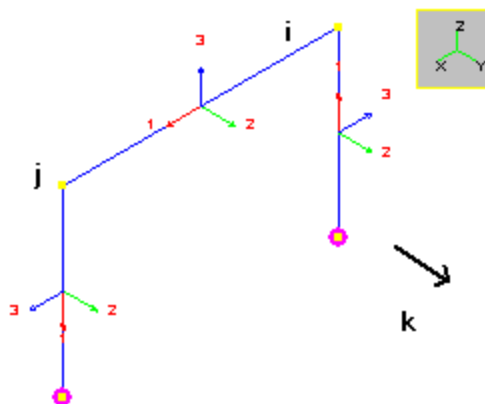
##### TRAVE

Per **trave** si intende un elemento monodimensionale atto a sposare la teoria della trave di Eulero Bernoulli. L'elemento usa funzioni di forma cubiche per lo spostamento trasversale e lineari per quello assiale. Può ricevere carichi distribuiti di vario genere, e può essere svincolato agli estremi. Si possono anche definire nodi semirigidi. Un elemento trave ha in generale sia la rigidezza assiale che quella flessionale e torsionale.

L'elemento è definito dandone i nodi, il materiale, la sezione, e gli eventuali svincoli e nodi semirigidi.

##### Terna locale

L'elemento ha tre nodi: il nodo **I**, il nodo **J** ed il nodo **K**. I suoi estremi I e J coincidono con i nodi solo se non ci sono eccentricità.



**I nodi i j e k del traverso, la sua terna locale e quella delle colonne.**

**Il nodo k è posto all'infinito in direzione Y (nodo predefinito numero 1)**

L'asse della trave va dall'estremo I (che è il primo nodo se non ci sono eccentricità) all'estremo J (che è il secondo nodo se non ci sono eccentricità). L'asse della trave è anche l'asse 1 del sistema di riferimento locale. Il nodo K (che è il terzo nodo) definisce un piano con gli estremi I e J: infatti gli estremi I, J, e il nodo K non devono mai essere allineati. L'asse 2 della terna locale giace in questo piano, va verso il nodo K ed è perpendicolare all'asse 1. Infine, l'asse 3 della terna locale è perpendicolare ai primi due e forma, con essi, una terna destra.

La terna locale è importante poichè è rispetto ad essa che vengono forniti i valori della sollecitazione. Il momento M2, ad esempio, è il momento che ha un vettore parallelo all'asse 2 (ed inflette la trave nel piano 1-3). Il momento M1 è il momento torcente. Il taglio T3 è il taglio che ha il vettore parallelo all'asse 3.

Per orientare la terna locale è possibile fornire il numero del terzo nodo, che per definizione determina il piano 1-2, o specificare un vettore e quale sia il piano locale da esso individuato con l'asse 1: il piano 1-3 o il piano 1-2. Infatti due nodi non bastano ad orientare la terna. Generalmente si usa il terzo nodo con i Nodi predefiniti, senza la necessità di aggiungere altri nodi.

Nella attribuzione dei profili l'asse indicato sul disegno della sezione coincide con l'asse 2 della terna locale. Per le sezioni ad I l'asse 2 è l'asse perpendicolare all'anima. Lo stesso per quelle a C ed a T. L'asse 2 è sempre uno degli assi principali della sezione.

### 2.4.2.3 Biella

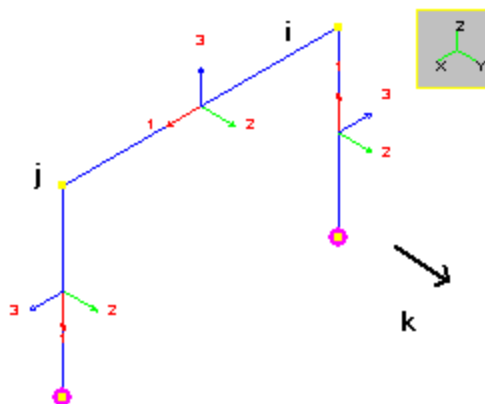
## BIELLA

Per **biella** si intende un elemento monodimensionale dotato solo di rigidità assiale. L'elemento usa funzioni di forma lineari per lo spostamento assiale. Non può ricevere carichi distribuiti, e non può essere svincolato agli estremi essendo svincolato per definizione.

L'elemento è definito dandone i nodi, la sezione ed il materiale.

### Terna locale

L'elemento ha tre nodi: il nodo **I**, il nodo **J** ed il nodo **K**.



**I nodi i j e k del traverso, la sua terna locale e quella delle colonne.**

**Il nodo k è posto all'infinito in direzione Y (nodo predefinito numero 1)**

L'asse della biella va dal nodo I (che è il primo nodo) al nodo J (che è il secondo nodo). L'asse della biella è anche l'asse 1 del sistema di riferimento locale. Il nodo K (che è il terzo nodo) definisce un piano con i nodi I e J: infatti i nodi I, J, K non devono mai essere allineati. L'asse 2 della terna locale giace in questo piano, va verso il nodo K ed è perpendicolare all'asse 1. Infine, l'asse 3 della terna locale è perpendicolare ai primi due e forma, con essi, una terna destra.

L'orientazione della terna locale, per le bielle non serve per il calcolo, ma solo per compatibilità con i programmi che fanno il disegno della carpenteria.

Per orientare la terna locale è necessario fornire il numero del terzo nodo. Infatti due nodi non bastano ad orientare la terna. Generalmente si usano i Nodi predefiniti , senza la necessità di aggiungere altri nodi.

#### 2.4.2.4 Piastra

### PIASTRA

Per **piastra** si intende un elemento bidimensionale dotato di rigidezza membranale e flessionale.

SARGON gestisce piastre a tre o a quattro nodi. La matrice di rigidezza è decisa e calcolata dal solutore che viene impiegato: possono quindi attendersi risultati diversi usando solutori diversi, e tanto più quanto più è rada la mesh.

All'interno di SARGON un elemento bidimensionale è definito dandone i tre o quattro nodi di incidenza, il materiale, gli spessori.

L'attribuzione del materiale segue esattamente la procedura prevista per gli elementi monodimensionali.

L'attribuzione dello spessore è l'equivalente dell'attribuzione della sezione per gli elementi monodimensionali. A tal riguardo va chiarito che SARGON gestisce al più due parametri: lo spessore membranale e il momento di inerzia flessionale per unità di lunghezza.

Per gli elementi piastra lo spessore membranale è usato per modellare il comportamento membranale, il momento di inerzia per modellare il comportamento flessionale.

Per gli elementi piastra, mentre la parte membranale è modellata tramite i corrispettivi modelli membranali, la parte flessionale è modellata con elementi DKT [**A study of three-node triangular plate-bending elements**, J.L. Batoz, K.J. Bathe, L.W. Ho, *Int. Jou. Num. Math. Eng.* 15, 1771-1812 (1980)] per gli elementi a tre nodi, e con quattro elementi DKT sovrapposti per gli elementi a quattro nodi.

A partire dalla versione 7.0 Sargon dispone anche dell'elemento finito di piastra spessa. Tale elemento (a tre o a quattro nodi) è stato implementato secondo la formulazione di

Hughes (“Finite Elements Based Upon Mindlin Plate Theory with Particular Reference to the Four-Node Bilinear Isoparametric Element”, T.J.R. Hughes, T.E. Tezduyar, *Journal of Applied Mechanics*, September 1981). Se non viene specificato alcunchè gli elementi di tipo piastra seguono la formulazione delle piastre sottili. Se si vuole che l’elemento di piastra sia del tipo “piastra spessa” occorre eseguire il comando [Mesh-PM-Tipo](#)<sup>839</sup>, che assegna il tipo scelto alle piastre selezionate.

A differenza dell’elemento di piastra sottile, l’elemento di piastra spessa consente il calcolo diretto dei tagli  $q$  sull’elemento, e quindi delle tensioni tangenziali sul piano medio (le tensioni agli estremi dello spessore sono nulle, l’andamento nello spessore è parabolico ed il valore massimo è pari ad 1,5 volte il valore medio).

#### 2.4.2.5 Membrana

### MEMBRANA

Per **membrana** si intende un elemento bidimensionale dotato soltanto di rigidezza membranale.

SARGON gestisce membrane a tre o a quattro nodi. La matrice di rigidezza di ciascun elemento è decisa e calcolata dal solutore che viene impiegato: possono quindi attendersi risultati diversi usando solutori diversi, e tanto più quanto più è rada la mesh.

All'interno di SARGON un elemento bidimensionale è definito dandone i tre o quattro nodi di incidenza, il materiale, gli spessori.

L'attribuzione dello spessore è l'equivalente dell'attribuzione della sezione per gli elementi monodimensionali. A tal riguardo va chiarito che SARGON gestisce al più due parametri: lo spessore membranale e il momento di inerzia flessionale per unità di lunghezza. Per gli elementi membrana è usato il solo spessore membranale.

La matrice di rigidezza che SARGON CLEVER, LEDA e SOCLEVER costruiscono per elementi membrana triangolari è quella degli elementi CST (costant strain triangle: spostamenti lineari). Per gli elementi membrana a quattro nodi la matrice è quella degli elementi isoparametrici lineari (spostamenti bilineari).

A partire dalla versione 6.50 Sargon dispone anche di due nuovi elementi finiti a 4 nodi atti a modellare il comportamento membranale (anche nell'ambito dell'elemento plate-shell). Questi elementi finiti si comportano meglio dell'elemento bilineare in condizioni di flessione, in quanto non comportano un *locking* troppo accentuato. Essi sono usati a richiesta (vedi il [dialogo](#)<sup>[617]</sup> opportuno) da tutti i solutori interni di Sargon.

Il primo dei due elementi finiti è ottenuto dal normale elemento bilineare mediante una integrazione selettiva: la parte flessionale della matrice di rigidezza è integrata con 2x2 punti di Gauss, la parte connessa all'energia di deformazione tagliante è invece integrata con un solo punto di Gauss (1x1). L'elemento perde le caratteristiche di convergenza monotona del bilineare, ma si comporta meglio e non presenta modi di deformazione spurii.

Il secondo dei due elementi finiti (Wilson-Ibrahimbegovic, 1990) è un elemento non compatibile modificato in modo da passare il patch test. Ancorchè non compatibile questo elemento presenta un eccellente comportamento già con mesh abbastanza (non troppo) rade. In pratica all'elemento bilineare vengono aggiunti 4 (*nodeless*, privi di nodi) nuovi parametri che poi vengono condensati in modo da riportare l'ordine della matrice ad 8. La correzione della matrice **B** deformazioni-spostamenti consente di passare il patch test anche in presenza di elementi distorti.

La presenza di diversi tipi di elementi finiti, aventi differenti caratteristiche, consente di eseguire esperimenti numerici atti a meglio determinare lo stato di sforzo e deformazione grazie alla possibilità di cross check tra varie formulazioni.

#### 2.4.2.6 Molla

### MOLLA

L'elemento **molla** può essere di due tipi: traslazionale o rotazionale. L'elemento molla traslazionale dà una rigidezza traslazionale paragonabile a quella di una biella. L'elemento molla rotazionale attacca ad un nodo una rigidezza rotazionale. La rigidezza compete alle rotazioni che avvengono secondo il vettore che definisce la direzione della molla.

In Sargon per definire una molla occorre fornire un vettore, una rigidezza ed un nodo d'attacco.

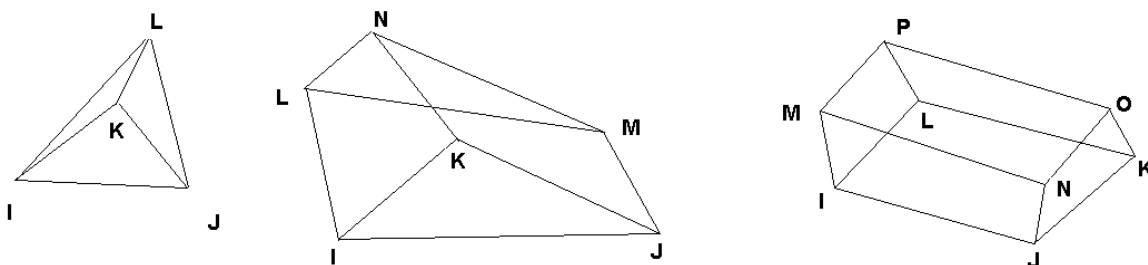
### 2.4.2.7 Superelemento

## SUPERELEMENTO

Un superelemento non è un vero e proprio elemento finito, bensì una riunione di elementi finiti di tipo trave. La necessità di introdurre i superelementi deriva dalla necessità di eseguire le verifiche di stabilità su membrature modellate con più elementi finiti. Si pensi ad una colonna di interpiano modellata con quattro elementi: la verifica a stabilità sul singolo elemento non ha senso: occorre verificare il superelemento composto dai quattro elementi in questione.

### 2.4.2.8 Solido

## SOLIDO



Per **solido** si intende un elemento tridimensionale.

SARGON gestisce solidi a quattro sei o a otto nodi (tetraedri, pentaedri, esaedri). La matrice di rigidezza di ciascun elemento è decisa e calcolata dal solutore che viene impiegato: possono quindi attendersi risultati diversi usando solutori diversi, e tanto più quanto più è rada la mesh.

All'interno di SARGON un elemento solido è definito dandone i nodi di incidenza e il materiale.



La matrice di rigidezza che SARGON CLEVER, LEDA e SOCLEVER costruiscono per elementi solidi tetraedrici è quella degli elementi a deformazione costante (spostamenti lineari):  $u=a+bx+cy+dz$ .

Per gli elementi solidi a sei nodi (pentaedri) la formulazione è quella che usa polinomi interpolanti incompleti del tipo  $u=a+bx+cy+dz+exz+fyz$ . L'asse  $z$  è l'asse secondo il quale trasla il triangolo per definire il prisma nel sistema di coordinate mappate adimensionali. Tale elemento non è isotropo (manca il termine  $xy$ ) e quindi tende ad avere un comportamento abbastanza scarso.

Per gli elementi solidi a otto nodi la matrice è quella degli elementi isoparametrici lineari (spostamenti trilineari:  $u=a+bx+cy+dz+exy+fxz+gyz+hxyz$ ). L'integrazione di questi elementi (come degli altri) è completa:  $2 \times 2 \times 2$  punti di Gauss vengono impiegati dai solutori per calcolare la matrice di rigidezza di questi elementi.

A partire dalla versione 8.1 sono stati aggiunti anche gli elementi a 8 nodi con correzione di Wilson Ibrahimbegovic (analoghi ai corrispondenti elementi piani) e gli elementi a 8 nodi con integrazione selettiva, vale a dire  $2 \times 2 \times 2$  punti di Gauss sulla parte flessionale e  $1 \times 1 \times 1$  punto di Gauss per la parte tagliante della matrice di rigidezza.

### 2.4.3 Creazione o modifica della mesh in Sargon

#### CREAZIONE O MODIFICA DELLA MESH IN SARGON

Sargon dà un ampio insieme di comandi atti a generare o modificare una mesh. Tutti i comandi dedicati a questo scopo si trovano in corrispondenza del menu Mesh.

I comandi di meshing di Sargon sono stati pensati per funzionare non solo come semplici aggiunte o cancellazioni, ma anche per eseguire in modo automatico una serie di controlli atti a fare correttamente la mesh. I controlli riguardano la presenza di [Elementi doppi](#)<sup>[857]</sup> e di [Nodi doppi](#)<sup>[858]</sup>. Inoltre per default Sargon riallinea gli elementi in modo che siano tutti equiversi, cosa che rende poi più semplice la gestione della mesh.

La creazione della mesh viene fatta generalmente aggiungendo un certo numero di elementi tramite i comandi di aggiunta. Qui per mesh intendiamo l'insieme dei nodi e degli elementi con le loro connessioni. L'aggiunta di un elemento comporta l'aggiunta automatica dei

nodi che lo definiscono. Non è pertanto necessario aggiungere dapprima i nodi eppoi connetterli. Sargon consente di aggiungere nodi singoli ([Aggiungi](#)<sup>[789]</sup>), ma non è necessario aggiungerli preventivamente rispetto agli elementi.

I **nodi** possono essere aggiunti ([Aggiungi](#)<sup>[789]</sup>), traslati ([Trasla](#)<sup>[789]</sup>), ruotati ([Ruota](#)<sup>[797]</sup>) o riposizionati ([Riposiziona](#)<sup>[798]</sup>). File di nodi allineati possono essere riallineate diversamente ([Trasla 2](#)<sup>[790]</sup>). I nodi non referenziati, cioè non attaccati ad elementi, possono essere -e in generale devono essere- eliminati ([Elimina](#)<sup>[799]</sup>).

I **nodi doppi** costituiscono un problema, generalmente, capace di invalidare una mesh e le analisi fatte su di essa. Per nodo doppio si intende un nodo che disti da un altro nodo meno di una determinata **tolleranza**. La tolleranza viene stabilita dall'utente ([Tolleranza](#)<sup>[800]</sup>), e perciò può essere cambiata in ogni istante. Sargon consente di controllare automaticamente se nella mesh sono presenti nodi doppi ([Mostra doppi](#)<sup>[799]</sup>).

Sargon gestisce i seguenti **elementi finiti**: trave ([Trave](#)<sup>[76]</sup>), biella ([Biella](#)<sup>[78]</sup>), piastra ([Piastra](#)<sup>[79]</sup>), membrana ([Membrana](#)<sup>[80]</sup>), molla ([Molla](#)<sup>[81]</sup>).

A partire dalla versione 15.80 si può usare [la griglia](#)<sup>[779]</sup> per cliccare i suoi punti promuovendoli a nodi, nella aggiunta di elementi. Ciò semplifica di molto le operazioni di mesh. La griglia può essere cartesiana, cilindrica, sferica o conica.

Le **travi e le bielle** possono essere aggiunte secondo due modalità diverse senza prima dover aggiungere i nodi ([Aggiungi](#)<sup>[801]</sup>), divise in parti eguali ([Dividi](#)<sup>[805]</sup>), oppure spezzate in due parti diseguali ([Splitta](#)<sup>[806]</sup>). Il loro terzo nodo può essere ridefinito ([Terzo Nodo](#)<sup>[810]</sup>) in qualsiasi momento. Le travi e le bielle selezionate possono essere eliminate ([Cancella](#)<sup>[804]</sup>). Le travi possono avere svincoli ed eventualmente nodi semirigidi ([Svincoli sulle travi](#)<sup>[1024]</sup>). Se si vogliono cercare le intersezioni tra elementi monodimensionali, ridefinendo contestualmente le incidenze, è possibile usare il comando [Cerca Intersezioni](#)<sup>[859]</sup>.

Le **piastre e le membrane** possono essere aggiunte ([Aggiungi](#)<sup>[825]</sup>) secondo tre modalità diverse, suddivise in modo da dividere i lati in parti eguali ([Dividi](#)<sup>[833]</sup>), oppure possono essere

spezzate in due ([Splitta](#)<sup>[834]</sup>). Le piastre e le membrane selezionate possono essere cancellate ([Cancella](#)<sup>[833]</sup>). Se è necessario ruotare la terna locale ([Piastra](#)<sup>[79]</sup>) delle piastre o delle membrane è possibile usare un comando atto a questo scopo ([Ruota](#)<sup>[836]</sup>).

Gli elementi piastra e membrana a quattro nodi devono essere piani. Per controllare se nel modello sono presenti elementi non planari si usa il comando [Planarità](#)<sup>[836]</sup>. In caso affermativo gli elementi vengono selezionati: è poi possibile dividerli in due triangoli con il comando [Splitta](#)<sup>[834]</sup>. Per riallineare le normali degli elementi selezionati si può usare il comando [Normale](#)<sup>[839]</sup>.

A partire dalla versione 7.30 gli elementi bidimensionali possono essere aggiunti mediante riempimento di superfici piane ([Mesh piana](#)<sup>[829]</sup>).

Le **molle** possono essere aggiunte ai nodi selezionati ([Aggiungi](#)<sup>[841]</sup>) o cancellate ([Cancella](#)<sup>[845]</sup>). Un modo particolare di aggiungerle ([Winkler](#)<sup>[846]</sup>) è quello di definire un dominio ed una rigidezza per unità di dominio, in modo da poter facilmente modellare il ritegno offerto da suoli alla **Winkler**. Se il dominio è una linea (travi rovesce) la rigidezza da fornire sarà per unità di lunghezza. Se il dominio è una superficie (platee di fondazione) la rigidezza da fornire sarà per unità di superficie.


Tutti gli elementi possono essere selezionati e copiati. Ci sono tre modi per farlo: la copia propriamente detta ([Copia](#)<sup>[865]</sup>), la rotazione ([Ruota](#)<sup>[868]</sup>), la specchiatura ([Specchia](#)<sup>[871]</sup>).

Gli elementi possono anche subire una **metamorfosi**. Per metamorfosi si intende il passaggio, a parità di nodi, da un tipo di elemento ad un altro tipo di elemento. Le travi possono essere trasformate in bielle, le bielle in travi. Le piastre in membrane, le membrane in piastre. Il comando è [Metamorfosi](#)<sup>[873]</sup>.

La composizione di tutti questi comandi, unita alla possibilità di importare mesh preparate in ambienti più specificamente dedicati al disegno, rendono facile la creazione e la gestione di qualunque modello.

## 2.4.4 Importazione della mesh o del modello fatto altrove

### IMPORTAZIONE DELLA MESH FATTA ALTROVE

Per importare una mesh fatta altrove è innanzi tutto necessario creare un nuovo modello (Nuovo). Dopodichè occorre eseguire il comando [Importa](#) <sup>657</sup>, specificando il formato del file che si intende leggere. I formati possibili sono i seguenti.

<a href="#">Importare .srg</a>  <sup>86</sup>	Sargon DOS
<a href="#">Importare .dxf</a>  <sup>87</sup>	Autocad™
<a href="#">Importare .esd</a>  <sup>88</sup>	Algor SDIII™
<a href="#">Importare .anf</a>  <sup>91</sup>	Strucad™
<a href="#">Importare .sdb</a>  <sup>93</sup>	Sap 2000™
<a href="#">Importare geomX.dat</a>  <sup>121</sup>	STRAP™
<a href="#">Importare .std</a>  <sup>103</sup>	STAAD PRO™
<a href="#">Importare .mct</a>  <sup>129</sup>	MIDAS™
<a href="#">Importare .r3d</a>  <sup>141</sup>	RISA3D™

#### 2.4.4.1 Importare .srg

### IMPORTARE .SRG

La compatibilità con le versioni di Sargon precedenti la 4.0, ovvero con le versioni di Sargon per sistema operativo DOS, è garantita dalla possibilità di leggere automaticamente i file in formato .srg. La lettura di un file in tale formato comporta l'importazione non solo della mesh, ma anche dei casi di carico, delle azioni, delle combinazioni, dei vincoli, degli svincoli, delle sezioni, dei materiali, eccetera.

Per importare un modello creato con le versioni precedenti di Sargon occorre:

- 1) Aprire un nuovo file (Nuovo).
- 2) Eseguire il comando [Importa](#)<sup>[657]</sup> specificando il file che si intende leggere

#### 2.4.4.2 Importare .dxf

### IMPORTARE .DXF

Sargon dà la possibilità di importare mesh preparate in ambiente Autocad e salvate sotto forma di file in formato .dxf (con primitive tridimensionali). La lettura di un file in tale formato comporta l'importazione della sola mesh.

Per importare una mesh in formato .dxf occorre:

- 1) Aprire un nuovo file (Nuovo).
- 2) Eseguire il comando [Importa](#)<sup>[657]</sup> specificando il file che si intende leggere

La lettura di un disegno richiede anche una decodifica, in quanto SARGON non gestisce le linee, ma solo gli elementi finiti. Alle linee occorre quindi far corrispondere degli elementi, secondo alcune regole che verranno tra breve chiarite. *Non è possibile decodificare linee in modo da trasformarle in elementi bidimensionali: tali elementi vanno sempre e comunque aggiunti all'interno di SARGON.*

### COSTRUZIONE DELLA MESH IN FORMATO .DXF

Tutte le primitive grafiche "linea" contenute nel file .dxf vengono convertite in elementi trave. Una volta all'interno di Sargon è poi possibile convertire le travi in bielle con il comando [Metamorfosi](#)<sup>[873]</sup>. L'orientazione viene definita sulla base del numero di colore della linea; *se esso è maggiore di 6 deve esistere una primitiva "punto" con lo stesso numero di colore nel file .dxf*. Le coordinate di tale punto sono quelle del relativo terzo nodo.

Ad ogni layer differente corrisponde un numero differente di gruppo. Il file di Sargon conterrà tutti i layer del file .dxf sotto forma di gruppi, il nome dei quali sarà eguale al nome del layer corrispondente. Il numero di gruppi è sempre almeno pari a 10, pertanto se il numero di layer definiti nel file .dxf è inferiore a 10 vi saranno dei gruppi con nome eguale a quello di default.

In fase di impostazione del modello tramite CAD esterno (sia esso di tipo .esd o di tipo .dxf) è consigliato definire le unità in cui vengono espresse le dimensioni della struttura. È sufficiente inserire in un qualunque punto del disegno una stringa alfanumerica che indichi l'unità usata @mm, @cm, @m, @in, @ft, @yd. Se SARGON non individua nel disegno un'entità con tali caratteristiche, assume che l'unità di lunghezza sia quella corrente al momento del caricamento della struttura.

## USO DEI NODI PREDEFINITI NEI FILE DXF

Si ricorda che il terzo nodo può essere definito anche dentro SARGON, mediante il comando [Terzo Nodo](#)<sup>[810]</sup>. Ciò detto vale quanto segue.

Ai numeri di colore da 1 a 6, sono associati i primi 6 nodi, quelli predefiniti (Nodi predefiniti). Tali terzi nodi sono invisibili a schermo e sempre vincolati. Essi corrispondono ai numeri di colore per i CAD .dxf.


Si ripete perciò che: **dare ad una trave un numero di colore pari a 3 al di fuori di SARGON, equivale a dare come terzo nodo a quella trave in nodo numero 3, all'interno di SARGON ([Terzo Nodo](#)<sup>[810]</sup>)**. Tale corrispondenza dei numeri di colore col numero del terzo nodo vale per tutti e i nodi da 1 a 6.

### 2.4.4.3 Importare .esd

## IMPORTARE .ESD

Sargon dà la possibilità di importare mesh preparate in ambiente Algor Superdraw III e salvate sotto forma di file in formato .esd. La lettura di un file in tale formato comporta l'importazione della sola mesh.

Per importare una mesh in formato .esd occorre:

- 1) Aprire un nuovo file (Nuovo).
- 2) Eseguire il comando [Importa](#)  specificando il file che si intende leggere

La lettura di un disegno richiede anche una decodifica, in quanto SARGON non gestisce le linee, ma solo gli elementi finiti. Alle linee occorre quindi far corrispondere degli elementi, secondo alcune regole che verranno tra breve chiarite. *Non è possibile decodificare linee in modo da trasformarle in elementi bidimensionali: tali elementi vanno sempre e comunque aggiunti all'interno di SARGON.*

## COSTRUZIONE DELLA MESH IN FORMATO .ESD

Per facilitare il lavoro successivo, durante la creazione dell'unifilare della struttura è possibile differenziare alcune caratteristiche delle aste: in particolare è possibile suddividere le aste per sezione e materiale. Questa classificazione si ottiene attraverso gli attributi rispettivamente di colore e di layer.

Nel momento in cui vengono assegnate le caratteristiche geometriche e meccaniche degli elementi la suddivisione non deve essere obbligatoriamente rispettata: costituisce infatti soltanto un comodo strumento per selezionare, o per suddividere gli elementi, secondo le loro caratteristiche.

Valgono le seguenti corrispondenze:

COLORE N (attribuito nel file .esd) SARGON associa il numero di SEZIONE N.

LAYER N (attribuito nel file .esd) SARGON lo usa per distinguere tra travi e bielle. Le bielle devono avere layer 1. Qualunque altro layer fa sì che la linea sia decodificata come trave.

GRUPPO N (attribuito nel .esd) SARGON associa il terzo nodo N alle travi aventi gruppo N.

Si ricorda che nei file .esd il layer è un numero, non una stringa alfanumerica.

Sulla base dell'attributo di GRUPPO definito nel file .esd è possibile assegnare implicitamente agli elementi il nodo K e quindi definire la terna di riferimento intrinseca.

BIELLE sono caratterizzate dal numero di layer = 1.

TRAVI sono caratterizzate dal numero di layer diverso da 1.

Se il terzo nodo di un elemento è allineato con l'asse X1, ciò rende impossibile definire una terna di riferimento locale. SARGON automaticamente associa all'asta un terzo nodo corrispondente al numero di gruppo precedente (se il numero originario è 1, viene interpretato come 6).

Es: se un elemento è posizionato lungo la direzione dell'asse Z ed ha numero di gruppo 5, SARGON si comporta come se all'asta fosse assegnato il numero di gruppo 4.

Nel caso in cui si sia creato l'unifilare tramite SUPERDRAW III<sup>©</sup> e le 6 posizioni predefinite non risultino sufficienti a rendere ragione dell'orientazione di tutte le aste, è possibile associare agli elementi altri nodi. L'operazione viene eseguita semplicemente posizionando una primitiva grafica "punto" con le coordinate desiderate ed assegnandole un numero di gruppo, da 7 a 255, uguale a quello dell'asta o delle aste a cui essa è associata.

Automaticamente SARGON associa all'asta la terna definita dal nodo K considerato nella posizione stabilita.

In fase di impostazione del modello tramite CAD esterno (sia esso di tipo .esd o di tipo .dxf) è **consigliato definire le unità in cui vengono espresse le dimensioni della struttura**. È sufficiente inserire in un qualunque punto del disegno una stringa alfanumerica che indichi l'unità usata @mm, @cm, @m, @in, @ft, @yd. Se SARGON non individua nel disegno un'entità con tali caratteristiche, assume che l'unità di lunghezza sia quella corrente al momento del caricamento della struttura.

È **necessario** distinguere gli elementi in BIELLE e TRAVI; e assegnare ad ogni asta un terzo nodo in modo da definirne univocamente la terna di riferimento intrinseca. La terna può essere definita anche in SARGON: non è necessario occuparsi del problema in SUPERDRAW III<sup>©</sup>.



Anche le bielle ricevono un terzo nodo, ma solo per compatibilità con i programmi che si occupano del disegno. L'orientazione della biella non viene usata nel calcolo per la definizione stessa di biella.

## USO DEI NODI PREDEFINITI NEI FILE ESD

Si ricorda che il terzo nodo può essere definito anche dentro SARGON, mediante il comando [Terzo Nodo](#)<sup>[810]</sup>. Ciò detto vale quanto segue.

Ai numeri di gruppo da 1 a 6, sono associati i primi 6 nodi, quelli predefiniti (Nodi predefiniti). Tali terzi nodi sono invisibili a schermo e sempre vincolati. Essi corrispondono ai numeri di gruppo per i CAD .dxf.

Si ripete perciò che: **dare ad una trave un numero di gruppo pari a 3 al di fuori di SARGON, equivale a dare come terzo nodo a quella trave in nodo numero 3, all'interno di SARGON ([Terzo Nodo](#)<sup>[810]</sup>)**. Tale corrispondenza dei numeri di gruppo col numero del terzo nodo vale per tutti e i nodi da 1 a 6.

### 2.4.4.4 Importare .anf

#### IMPORTARE .ANF

Sargon dà la possibilità di importare mesh preparate in ambiente Acecad Strucad e salvate sotto forma di file in formato .anf. La lettura di un file in tale formato comporta l'importazione della mesh e delle forme sezionali.

Per importare una mesh in formato .anf occorre:

- 1) Aprire un nuovo file (Nuovo).
- 2) Eseguire il comando [Importa](#)<sup>[657]</sup> specificando il file che si intende leggere

Valgono le seguenti regole ed assunzioni:

- Gli elementi verranno interpretati come beam a meno che diversamente specificato nel blocco Element\_User\_Attribute\_18 del file .anf. In quella sede il codice 0 indica truss, il codice 1 indica beam.
- Le eccentricità degli elementi interpretati come truss vengono scartate.
- Le informazioni sezionali vengono interpretate sulla base del file SHPCVT.TXT, contenuto nella directory di installazione di Sargon, che dà la corrispondenza tra i nomi in Strucad e quelli in Sargon. Una sezione non riconosciuta non viene interpretata e l'elemento non avrà attribuzione sezionale.
- I materiali non vengono interpretati, data la semplicità con cui è possibile assegnarli.

Particolare cura deve essere usata nella trattazione degli elementi accoppiati. Se Sargon trova più elementi sovrapposti, ne decodifica uno solo. Le eccentricità vengono scartate (dato il fatto che tali eccentricità si riferiscono nel .anf al singolo pezzo). L'elemento rimanente avrà la sezione che gli compete sulla base del file SHPCVT.TXT. Se si vuole che in Sargon l'elemento superstite abbia le caratteristiche degli elementi accoppiati, è sufficiente assegnare ai singoli pezzi che lo compongono una sezione che abbia un nome specializzato, a cui vien fatto corrispondere il nome della sezione composta in Sargon. Si abbiano ad esempio due angolari L100x10 accoppiati a T. Se in Strucad il nome sezionale è L100x100x10, allora l'elemento superstite in Sargon sarà un semplice angolare L 100 x 10, con una perdita di informazione. Se invece in Strucad il nome di ogni singolo pezzo è L100x100x10L2T, del tutto eguale al L100x100x10, e nel file SHPCVT.TXT al nome L100x100x10L2T corrisponde il nome Sargon L2T100x10, allora l'elemento superstite in Sargon avrà un profilo composto, senza alcuna perdita di informazione. Il file SHPCVT.TXT contiene già un buon numero di tali corrispondenze, per gli elementi più usati.

**Nota bene:** il comando crea anche un file **modello.scd**, che è un file ASCII necessario a ricostruire la corrispondenza elemento <-> membratura, oltre a conservare le informazioni sui tipi e sulle sezioni. Tale file non va editato nè modificato.

#### 2.4.4.5 Importare .sdb

### IMPORTARE .SDB (modelli Sap2000)

versioni da gennaio 2010

Sargon dà la possibilità di importare modelli preparati in Sap2000. Oltre ad importare il modello Sargon è anche in grado di importare, convertendoli, i risultati della analisi fatta in Sap2000. L'interfacciamento tra Sargon e CSE e Sap2000 è stato fatto con la collaborazione di CSI Italia.

#### Generalità

L'interfacciamento tra Sargon e CSE e Sap2000 può avvenire facendo leggere a Sargon o CSE un modello .SDB disponibile in una certa cartella.

Il modello Sap2000 ha estensione .SDB e ciò pone già un qualche problema poichè Sargon utilizza la stessa estensione per i file binari di output contenenti gli sforzi (Stress DataBase). Sarà dunque necessario ed opportuno evitare la sovrapposizione dei nomi tra il modello Sargon (.WSR e .SDB in output) ed il modello Sap2000 (.SDB). Al fine di evitare possibili sovrascritture di file importanti, quando Sargon importa un modello Sap 2000 denominato ad esempio "MODELLO.SDB", proporrà di salvarlo con il nome "MODELLO\_\_\_.WSR", in modo che in seguito, in fase di solving, venga creato il file "MODELLO\_\_\_.SDB" non quindi sovrapposto al file "MODELLO.SDB" originario. Analoga procedura avviene in CSE, quando viene direttamente letto e importato un file .SDB (Sap2000). In questo caso il modello CSE si chiamerà "MODELLO\_\_\_.CSE" e quindi anche in questo caso la eventuale creazione dei file binari di output delle azioni interne (SDB) non creerà alcuna sovrapposizione.

L'importazione di un file SDB (Sap2000) da parte di Sargon o di CSE richiede che sul computer sia presente una installazione funzionante di Sap2000, con la relativa chiave di protezione. In effetti, l'importazione di un file di Sap2000 comporta l'esecuzione in background di Sap2000 stesso e il link tra la dll di Sargon/CSE "sarkern.dll" con il medesimo Sap2000.exe.

Appena eseguito il comando, il programma Sargon o CSE chiede se si vuole eseguire il solving del modello usando Sap2000. La richiesta serve ad eseguire l'analisi in Sap2000, al fine di disporre, se necessario, dei risultati della analisi, così come calcolati da Sap 2000. Se si risponde di sì, Sap2000 eseguirà immediatamente dopo il solving e quindi i risultati saranno resi disponibili per le successive elaborazioni. Se si risponde di no si danno due casi. Se il solving non è mai stato eseguito allora i risultati di Sap2000 non saranno disponibili, e quindi non potranno essere importati. Se il solving è già stato eseguito in precedenza allora i risultati sono disponibili.

Dopo questa domanda la routine di conversione fa un'altra domanda: viene chiesto se si vogliono importare in Sargon (o in CSE) i risultati del solving di Sap2000. Se si risponde di no i risultati della elaborazione (spostamenti, azioni interne) non verranno importati. In Sargon ciò comporta il fatto che il modello importato non avrà disponibile il post-processing: l'analisi si dovrà fare usando i solutori di Sargon stesso. In CSE ciò comporta la perdita della possibilità di usare i calcoli fem come base per il calcolo delle connessioni, e quindi si potranno usare solo i limiti elastici o plastici opportunamente fattorizzati.

Se si decide di importare i risultati di Sap2000 all'interno di Sargon o di CSE, la routine di conversione si occupa di fare le seguenti cose:

1. Creare un file binario .DDB contenente gli spostamenti di tutti i nodi in tutti i casi di carico;
2. Creare un file binario .SDB contenente le azioni interne e gli sforzi di tutti gli elementi in tutti i casi di carico;
3. Creare un file binario .RDB contenente le reazioni vincolari di tutti i nodi in tutte le condizioni di carico;
4. Marcare il modello come "risolto" al fine di consentire l'accesso ai dati contenuti nei file binari medesimi.

Nel seguito saranno dati chiarimenti su specifici punti relativi alle principali problematiche incontrate nel corso della scrittura della procedura di conversione.

### **Conversione di Forme sezionali**

Prima ancora di aprire e leggere il modello da importare la routine di conversione legge ed importa le forme sezionali in modo da stabilire una opportuna corrispondenza tra le forme sezionali in Sargon/CSE e le forme sezionali in Sap2000.

- Il file di corrispondenza tra le forme sezionali di Sargon e quelle di Sap2000 si chiama "WSR\_S2K\_SHPCVT.TXT" e risiede nella cartella di installazione di Sargon. Tale file verrà usato nel caso in cui si importi un modello Sap2000 all'interno di Sargon.
- Il file di corrispondenza tra le forme sezionali di CSE e quelle di Sap2000 si chiama "WSR\_S2K\_SHPCVT.TXT" e risiede nella cartella di installazione di CSE. Tale file verrà usato nel caso in cui si importi un modello Sap2000 all'interno di CSE.

Il file, che di solito è il medesimo per Sargon e CSE, è organizzato in questo modo e prende il nome di "file di corrispondenza".

\$	
\$	
\$	
IPE 100	IPE100
IPE 120	IPE120
IPE 140	IPE140
IPE R 140	IPE140R
IPE 160	IPE160

Nella prima colonna compaiono i nomi dei profili nell'ambiente Sargon/CSE. Nella seconda colonna, ordinatamente riga per riga, compaiono i corrispondenti nomi dei profili in Sap2000. Il riconoscimento di un profilo viene eseguito per mezzo del nome. Se al nome "beta" in Sap 2000 corrisponde il nome "alfa" in Sargon/CSE, allora la forma sezionale "alfa" sarà fatta corrispondere a quella "beta". Per poter conoscere le caratteristiche della forma sezionale "alfa" il programma deve aprire un archivio di forme sezionali di tipo .SMA (un file .SMA) e precisamente:

- se si sta usando Sargon il file "sargon.sma" contenuto nella cartella del programma Sargon;
- se si sta usando CSE il file "cse.sma" contenuto nella cartella del programma CSE.

Se in prima riga del file di corrispondenza compare un "\$" o "\\" allora la riga è un commento.

I nomi vengono comparati per i loro primi 18 caratteri. Affinché due nomi vengano riconosciuti deve esservi perfetta corrispondenza in tutti i 18 caratteri.

Le regole seguite dalla routine di conversione sono precisamente le seguenti:

1. Vengono lette le forme sezionali del file .SMA pertinente al programma che si sta usando (Sargon o CSE).
2. Viene letto e tenuto in memoria l'intero file di conversione con le due colonne di nomi.
3. Vengono letti i profili all'interno del modello Sap2000 e questi vengono trasformati in profili di tipo Sargon/CSE con queste regole.
  - a. Se il profilo è del tipo ad I e non è stato originariamente letto da un archivio viene convertito in un profilo ad I saldato avente le stesse quote del profilo in Sap2000 (si noti che i profili ad I non hanno, in Sap2000, il raggio di raccordo definito, e quindi non si saprebbe come convertirli in profili del tipo H laminato in Sargon/CSE). In questo caso non si usa il file di conversione precedentemente nominato. Se invece il profilo è ad I ed è stato letto originariamente da un archivio, allora il suo nome d'archivio viene cercato nella seconda colonna del file di conversione. Se non viene trovato allora, per evitare di scartarlo, il profilo viene convertito usando le quote come profilo saldato. Se invece viene trovato, allora il nome del profilo corrispondente, nella prima colonna, viene cercato nell'archivio .SMA. Se viene trovato questo nome nel file .SMA allora il profilo Sap2000 viene convertito con quello trovato nel file .SMA. Se non viene trovato nel file .SMA allora viene fornito un messaggio di errore ( a cui si potrà ovviare semplicemente aggiungendo all'archivio .SMA un profilo con il nome corrispondente), e la conversione viene comunque fatta come profilo saldato usando le dimensioni disponibili (H, B, tw, tf). Si noti che ai fini delle verifiche è diverso usare profili laminati o saldati. Si consiglia quindi di convertire i profili usando sempre il file di conversione.
  - b. Analoga procedura viene seguita per i profili a C, T, L, box.
  - c. I profili pipe, rettangolari e circolari pieni vengono comunque importati dato che le loro quote sono note (senza cercarli nel file di conversione, non è infatti necessario).
  - d. I profili "SECTION\_GENERAL" vengono cercati nel file di conversione. Se sono trovati vengono convertiti se no vengono trasformati in sezioni "generiche" delle quali si danno il nome e le proprietà di calcolo (area, momenti di inerzia).

- e. I profili "angolari doppi" e "a C doppi" vengono cercati nel file di conversione e se non sono trovati viene dato un messaggio di errore.
- f. I profili "a C formati a freddo" e "a Z formati a freddo", "a omega formati a freddo" vengono convertiti usando le quote.
- g. I profili "a doppio C formato a freddo", "a L formato a freddo" e a "doppio L formato a freddo" non vengono convertiti in quanto non ci sono le routine API per farlo.
- h. I profili "SD" (Section Designer) vengono cercati nel file di conversione.
- i. I profili "SECTION\_VARIABLE", "SECTION\_JOIST", "SECTION\_BRIDGE" non sono importati.
- j. Altri profili non sono supportati e non vengono importati. La loro presenza genera un messaggio di errore.

Il file di conversione può essere gestito facilmente dall'utente e possono essere aggiunte le righe che si vuole, liberamente.

Al Gennaio 2010 il file di conversione contiene circa 4000 profili. Sono contenuti profili HEA, HEB, HEM, IPE, ILS, HLS, H, L, UPN, L accoppiati, UPN accoppiati, RHS, tubi, eccetera eccetera.

E' bene osservare che qualsiasi utente può sempre stabilire la corretta conversione tra una forma sezionale in Sap2000 ed una forma sezionale in Sargon CSE semplicemente sincerandosi che la forma desiderata sia presente nell'archivio .SMA e che la corrispondenza tra i nomi dei due profili Sargon/CSE-Sap2000 sia presente nel file di corrispondenza. Il lavoro fatto una volta varrà naturalmente ogni volta che quei profili, magari di tipo speciale, verranno usati in qualsivoglia modello.

Nel corso della installazione degli aggiornamenti, al fine di evitare la sovrascrittura dei propri file di corrispondenza, e dei propri archivi SMA, si raccomanda di eseguire una copia di salvataggio sia del file di corrispondenza, sia del file SMA.

### **Conversione di materiali**

Vengono letti e importati i materiali isotropi ed i materiali "uniaxial". Non vengono importati i materiali ortotropici ed anisotropici.

### Conversione di casi di carico e di combinazioni

In Sap2000 ci sono Load Case e Load Patterns. I LoadCases di Sap2000 vengono fatti corrispondere ai Load Cases (Casi di Carico) in Sargon / CSE. Generalmente il numero dei Load Cases in Sap2000 coincide con il numero dei Load Cases in Sargon (a meno che non vengano scartati i Load Cases di Sap 2000 che non trovano corrispondenza analoga in Sargon come le analisi modali, che Sargon non gestisce come Load Case). Poichè in Sap 2000, in generale, i Load Cases possono essere costituiti da sovrapposizioni di Load Patterns, analoga sovrapposizione si avrà nel Load Cases di Sargon/CSE, con la differenza che dei Load Patterns non rimarrà traccia in Sargon /CSE.

Il tipo dei Load Cases in Sargon sarà eguale al tipo dell'ultimo Load Pattern riversato nel Load Case. Di solito ai Load Patterns corrispondono identici Load Cases (1 Load Pattern per 1 Load Case), ma se questo non fosse, vale la regola che il tipo del Load Case in Sargon è il tipo dell'ultimo Load Pattern ivi definito. A sua volta il tipo del Load Pattern in Sap 2000 corrisponde al tipo del Load Case in Sargon /CSE secondo la seguente tabella:

Load Patterns (Sap 2000)	Load Case (Sargon)
DEAD	DEAD
SUPER DEAD	DEAD
LIVE	LIVE
REDUCE LIVE	LIVE
QUAKE	EARTHQUAKE
WIND	WIND
SNOW	SNOW
OTHER	LIVE
MOVE	LIVE
TEMPERATURE	THERMAL



ROOF LIVE	LIVE
NOTIONAL	DEAD
PATTERN LIVE	LIVE
WAVE	LIVE
BRAKING	LIVE
CENTRIFUGAL	LIVE
FRICTIONAL	LIVE
ICE	SNOW
altri	LIVE

Il tipo del Load Case in Sap 2000 è riferito al tipo di analisi: statica, nonlineare, modale, spettro di risposta, ecc.. Vengono importati:

1. I load case statici lineari
2. I load case statici non lineari
3. I load case di tipo risposta allo spettro

In Sargon i load case di tipo "analisi modale" non vengono importati perchè hanno un differente tipo di codifica, le modali vengono gestite a parte.

Vengono importati all'interno di Sargon/ CSE i seguenti possibili carichi:

- Forze nodali
- Coppie nodali
- Carichi distribuiti (forze o coppie) su elementi frame, sistema di riferimento globale o locale (nota: in Sap2000, anche in presenza di eccentricità su un elemento, il carico distribuito viene comunque applicato sulla lunghezza da nodo a nodo, senza tenere in conto dell'eccentricità).
- Carichi concentrati (forze o coppie) su elementi frame, sistema globale o locale
- Carichi gravitazionali su elementi frame

- Carichi di peso proprio definiti moltiplicatori del peso proprio all'interno dei load patterns
- Carichi termici su elementi frame

Non sono al momento gestiti i carichi gravitazionali sugli elementi plate-shell e sui solidi, né i carichi termici sugli stessi.

In Sap 2000 ci sono vari tipi di combinazioni, che possono essere combinazioni di casi di carico e/o di altre combinazioni. Vengono importate in Sargon / CSE:

- Le combinazioni di tipo "linear additive";
- Le combinazioni di tipo "envelope";
- Le combinazioni di tipo "absolute additive";
- Le combinazioni di tipo "SRSS";
- Le combinazioni di tipo "range additive".

Le combinazioni vengono aggiunte al Combi Set attivo in Sargon / CSE.

### **Conversione di elementi**

Non tutti gli elementi definiti in Sap 2000 possono essere importati in Sargon / CSE e viceversa.

Di seguito si dà conto di quali elementi vengano importati e quali no.

#### **1. Elementi frame in Sap 2000**

- a. vengono importati sempre come elementi beam (trave) in sargon. Sono importati gli svincoli, l'orientazione della terna locale, gli offset rigidi, le rigidità in caso di "fissità parziale" nel caso di molle associate ai momenti flettenti (mentre vengono scartate le molle relative ad eventuali fissità parziali in senso assiale, torsionale e tagliante).

- b. vi è una diversa convenzione sugli assi locali tra Sap2000 e Sargon / CSE. In particolare vale la seguente tabella di conversione:

Asse	Di Sargon diventa	Di Sap 2000 diventa
1	1	1
2	-3	3
3	2	-2

- c. Se sono curvi, gli elementi frame non vengono importati in Sargon / CSE
2. Elementi plate in Sap 2000. Sono elementi privi di rigidità membranale. Come tali non esistono in Sargon. Vengono quindi convertiti in elementi plate-shell di Sargon con rigidità membranale data dallo spessore definito nella proprietà di area.
  3. Elementi shell (plate+membrana) in Sap 2000. Sono importati tutti i tipi di shell (sottile, spesso) ad eccezione dello shell multistrato (layered, type=6).
  4. Elementi membrana in Sap 2000. Vengono convertiti in elementi membrana di Sargon / CSE.
  5. Elementi solidi in Sap 2000. Vengono convertiti in elementi solidi in Sargon / CSE.
  6. Elementi ASOLID in Sap 2000. Non vengono convertiti.
  7. Elementi CABLE in Sap 2000. Non vengono convertiti.
  8. Elementi LINK / SUPPORT in Sap 2000. Non vengono convertiti.
  9. Oggetti TENDON in Sap 2000. Non vengono convertiti.
  10. Oggetti PLANE in Sap 2000 (plane strain, plane stress). Non vengono convertiti.

### Conversione dei segni di connessione

All'interno di Sargon si fa uso del segno di connessione per indicare membrature che, pur essendo staticamente in continuità sul nodo, devono essere considerate costruttivamente interrotte. Elementi frame che posseggano un qualche tipo di end-release sono considerati automaticamente interrotti, e quindi non è necessario apporre alcun segno di connessione. Il problema invece si pone per quegli elementi che, pur non avendo alcun end-release, devono essere considerati interrotti al fine di ricercare i jnodi eguali ed i renodi in CSE.

Dato che le informazioni "normali" gestite da Sap 2000 non consentivano di passare esplicitamente questa informazione, si è provveduto a predisporre una opportuna codifica, che, utilizzando il concetto di "gruppo" presente in Sap 2000, fosse utile a far passare le informazioni desiderate.

Un elemento frame può avere un segno di connessione ad un estremo, all'altro o a tutti e due. Come già detto, se ad un estremo è presente un end release allora non è necessario aggiungere un segno di connessione perchè è implicito.

In Sap 2000 si potranno aggiungere i seguenti gruppi:

"BI"

"BJ"

"BIBJ"

Tutti gli elementi frame che appartengono al gruppo "BI" hanno l'estremo "I" con segno di connessione;

Tutti gli elementi frame che appartengono al gruppo "BJ" hanno l'estremo "J" con segno di connessione;

Tutti gli elementi frame che appartengono al gruppo "BIBJ" hanno entrambi gli estremi con segno di connessione.

### **Conversione dei risultati (post processing)**

Come detto nel caso in cui siano disponibili i risultati della analisi di Sap 2000, la routine di importazione è in grado di creare i file binari con i risultati nel formato di Sargon / CSE.

Vengono importati:

1. Tutti gli spostamenti di tutti i nodi in tutti i casi di carico;
2. Tutte le reazioni vincolari di tutti i nodi in tutti i casi di carico;
3. Tutte le azioni interne degli elementi frame (convertiti in beam) in tutti i casi di carico.

Al momento gli sforzi degli elementi bidimensionali e solidi non sono importati e quindi risulteranno nulli.

#### 2.4.4.6 Importare .std

### IMPORTING .STD (STAAD PRO® models)

versioni da Dicembre 2012 (> 10.01)

This topic is in English only.

Using Sargon or CSE you can import a model prepared in STAAD PRO, and the results got by using that program. However, as the documentation referring to Open Staad is quite lacking of several important info, several information cannot be transferred or it is not clearly explained how to do that. In the following a clear description of what is imported into Sargon/CSE will be given. All most important and needed information, however, is transferred.

#### Introduction

Importing a model into Sargon or CSE is a two steps procedure. First you create a text file by using STAAD. Then you import that text file using Sargon or CSE.

Let's have a model named "MODEL.STD" in a given folder. The first step is to create a text file named "MODEL.STD.TXT", in the same folder. This is done by executing a proper macro from within STAAD PRO. The macro itself is in the file "STD2STX.VBS", placed in the installation folder of Sargon (if you are using Sargon) or CSE (if you are using CSE). To execute a macro in STAAD PRO, open the model at hand, say "MODEL.STD", and run the analysis. Save results, so that they will be available for the macro. Then from the File Toolbar choose the "Run VB Macro" command, and select the file "STD2STX.VBS" located in Sargon or CSE installation folder. Then run the macro.

During the macro execution, if the results are not available you are prompted to decide if continue the execution or not. If you are not interested in post processing data, you can continue. If, on the other hand, you are interested in results (i.e. displacements, reactions, and member forces) then exit the macro ("Continue?" Answer: "No") and run the analysis.

Once the macro is executed successfully, a message will appear with the full path of the new file .STD.TXT just created. This file will be named "MODEL.STD.TXT" and is a text file with a wide subset of the information referring to you model.

Next step will be to open Sargon (or CSE) with a new blank file, and choose the command **File-Import** (in Sargon) or **File-Import FEM Model** (in CSE). Among the file types available you will find "STD.TXT (STAAD PRO)": choose that particular file format, browse your hard disk and select the file which you previously created in the model folder. This will run a command that will read the file and convert it into the Sargon (or CSE) file format.

If the user does decide to import the STAAD PRO results into Sargon or CSE, the conversion routine will:

1. Create a binary .DDB file containing the displacements of all nodes in all load cases;
2. Create a binary .SDB file containing the internal forces and stresses in all elements in all load cases;
3. Create a binary .RDB file containing the constraint reactions of all nodes in all load cases;
4. Mark the model as "solved" to make the data contained in the actual binary files accessible.

Some specific aspects of the main issues encountered when writing the conversion procedure are discussed in more detail below.

### **Units of measurement**

File MODEL.STD.TXT is created or using [kN, meter] or using [kips, inch] units. This depends on the units used in STAAD PRO, if metric or imperial. Stresses are then given in kN/m<sup>2</sup>, and moments in kNm, or in ksi and kipin.

### **Z axis Up vs Y axis Up**

Both Sargon and CSE use a "Z axis up" convention, so when reading a STAAD PRO file it's much better to have it created using the "Z axis up" convention as well. If Z axis up is used, then there is a perfect match between global axis (X, Y, Z) in STAAD and those in Sargon or CSE. If on the other hand the

Yup flag is used in STAAD, then the conversion between global axes in STAAD and global axes in Sargon / CSE is as follows :

STAAD GLOBAL AXES	SARGON CSE GLOBAL AXES
X	Y
Y	Z
Z	X

### Converting cross-section local axes

STAAD uses (x, y, z) local axes, while Sargon /CSE uses (1, 2, 3) local axes. However, generally these axes are placed differently over cross-sections, depending on the cross-section kind, and depending on the Z axis up, o Y axis up STAAD user's choice.

Generally speaking the following conversions apply for the most part of the cross sections (i.e. those doubly symmetric or with symmetry about weak axis):

#### STAAD MEMBER LOCAL AXES SARGON CSE MEMBER LOCAL

Y axis up	AXES
x	1, or x
y	3, or z
z	-2, or -y

#### STAAD MEMBER LOCAL AXES SARGON CSE MEMBER LOCAL

Z axis up	AXES
x	1, or x
y	2, or y
z	3, or z

#### Conversions adopted for the most part of the cross sections

However, some sections require a different mapping, according to the following table.

<b>STAAD MEMBER LOCAL AXES</b>	<b>SARGON CSE MEMBER LOCAL AXES</b>
Y axis up. C cross-sections (x, y, z)	(1, -3, 2)
Y axis up. L cross-sections (x, y, z)	(-1, -2, 3)
Y axis up. L-RA (reversed axes) cross-sections (x, y, z)	(-1, -3, -2)
Z axis up. C cross-sections (x, y, z)	(1, -2, -3)
Z axis up. L cross-sections (x, y, z)	(-1, -3, -2)
Z axis up. L-RA (reversed axes) cross-sections (x, y, z)	(-1, 2, -3)

Generally speaking a right tern (x, y, z) must be transformed into another right tern (1, 2, 3), and this can be done just in 8 different ways, preserving axis 1 direction. Each of the 8 possible ways to transform STAAD tern (x, y, z) to Sargon / CSE (1, 2, 3) is mapped to a "local tern mapping code", from 1 to 8.

<b>STAAD MEMBER LOCAL AXES</b>	<b>Sargon / CSE local axes</b>	<b>LOCAL TERN MAPPING CODE</b>
(x, y, z)	(1, 2, 3 )	1
(x, y, z)	(1, -3, 2)	2
(x, y, z)	(1, -2, -3)	3
(x, y, z)	(1, 3, -2)	4
(x, y, z)	(-1, 3, 2)	5
(x, y, z)	(-1, -2, 3)	6
(x, y, z)	(-1, -3, -2)	7
(x, y, z)	(-1, 2, -3)	8



The following table lists the conversion from Sargon / CSE to STAAD:

<b>Sargon / CSE local axes</b>	<b>STAAD MEMBER LOCAL AXES</b>	<b>LOCAL TERN MAPPING CODE</b>
(1, 2, 3)	(x, y, z)	1
(1, 2, 3)	(x, z, -y)	2
(1, 2, 3)	(x, -y, -z)	3
(1, 2, 3)	(x, -z, y)	4
(1, 2, 3)	(-x, y, z)	5
(1, 2, 3)	(-x, -y, z)	6
(1, 2, 3)	(-x, -z, -y)	7
(1, 2, 3)	(-x, y, -z)	8

Given this choice, we can say that the normal coding adopted by the conversion routine is the following:

#### **STAAD MEMBER LOCAL AXES LOCAL TERN MAPPING CODE**

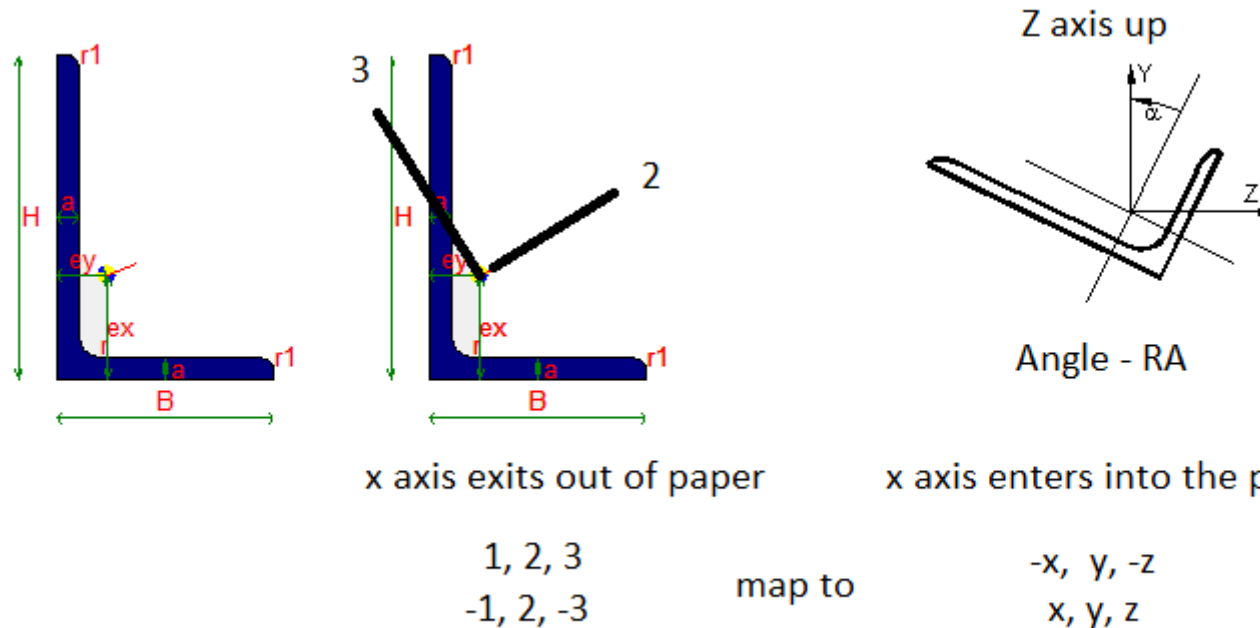
Y axis up. Generic cross-sections (x, y, z)	4
Y axis up. C cross-sections (x, y, z)	2
Y axis up. L cross-sections (x, y, z)	6
Y axis up. L-RA cross-sections (x, y, z)	7
Z axis up. Generic cross-sections (x, y, z)	1
Z axis up. C cross-sections (x, y, z)	3
Z axis up. L cross-sections (x, y, z)	7

Z axis up. L-RA cross-sections (x, y,  
z)

8

Generally speaking the conversion file "MODEL.STD.TXT" is written in such a way that the preceding rules are automatically applied by the conversion routine. This is got by assigning a "local tern mapping code" "0" to the cross-section in the file "MODEL.STD.TXT" (for an example of how this code is written in the file MODEL.STD.TXT, see next section).

If on the other hand this local tern mapping code in file "MODEL.STD.TXT" is overwritten by the user and set to a different value (from 1 to 8), then the program will use the coding related to the local tern mapping code specified by the user *no matter the other possible rules*.



#### An example of conversion between Sargon / CSE and STAAD working environment

(in Sargon / CSE only axis 2 is displayed, being always axis 1 getting out of paper to the viewer, and axis 3 forming a right tern)

This may be needed if special cross sections are used, so that a correct remapping of the STAAD local tern (x, y, z) to the Sargon / CSE tern (1, 2, 3) must be specified. Imagine for instance that you have used a special, not symmetric cross section in STAAD which has axes (x, y, z) according to STAAD choices (also depending on the Yup/Zup flag).

By editing the "MODEL.STD.TXT" file, at the row referring to that cross section, you will replace the code "0" with the code you need to set up a correct mapping (x, y, z)-> (1, 2, 3).

Obviously there are a number of consequences:

- changing STAAD axis "x" to -1 means reverting the direction of the arrow related to member axial axis. This need a change in load position definition, in load axial component when defined using local axes, and in the member forces as resulting on the analysis; of course member nodes (n1, n2) will be exchanged to (n2, n1).
- changing axis (y, z) to (3, 2) means changing end releases and member forces position. Also load components, if defined in local axes must be exchanged.
- generally speaking changing a sign of an axis means changing the sign of the member loads applied using local reference system, and changing member forces got by analysis;

This procedure, however, ***must not be done for standard cross-sections***. The conversion for such cross sections is fully automatic

## Converting Sectional forms

Before opening and reading the model which is to be imported, the conversion routine reads and imports the all the possible sectional forms in order to establish a suitable correspondence between the sectional forms in Sargon/CSE and those in STAADPRO.

The mapping file between the SARGON/CSE and STAAD PRO sectional forms is called "WSR\_STD\_SHPCVT.TXT" and can be found in the Sargon or CSE installation folder depending on the program you are using. This file will be used when a STAAD model is imported into Sargon or CSE. This file, known as the "mapping file", is usually the same for Sargon and CSE, and is structured as shown below.

\$	
\$	
IPE 100	IPE100
IPE 120	IPE120
IPE 140	IPE140
IPE R 140	IPE140R
IPE 160	IPE160
. . .	

The first column indicates the names of the sections in the Sargon/CSE environment. The second column shows the corresponding section names in STAAD PRO. A section is identified by its name. If the name "beta" in STAAD corresponds to the name "alpha" in Sargon/CSE, then the sectional form "alpha" will be mapped to "beta" and assigned to members. To find out the properties of the sectional form "alpha", the program must open an archive of sectional forms of type .SMA (an .SMA file); in particular:

- if Sargon is in use, this will be the file "sargon.sma" in the Sargon program folder;
- if CSE is being used, the file is "cse.sma" in the CSE program folder.

If the first line of the mapping file contains a "\$" or "\" symbol that means it is a comment line.

The first 18 characters of the names are used for matching purposes. For two names to be matched, each of these 18 characters must be identical. STAAD names begins at column 41 in mapping file.

The conversion routine operates according to the following detailed rules:

1. The sectional forms in the .SMA file relevant to the program in use (Sargon or CSE) are read.
2. The entire conversion file is read into memory with its two columns of names.
3. To each cross section in the conversion file .STD.TXT is given a name and a type. The name is a string, the type is a number. Here is a typical block of information about cross sections in a .STD.STX file:

#### SECTION PROPERTY

9

1 "UC356X368X129" 3 **610** 0 3.68600E-01 3.55600E-01 1.64000E-02

3.69824E-03 8.60067E-03 1.52612E-06 1.46000E-04 4.02000E-04 1.75000E-02  
1.04000E-02

2 "UC254X254X73" 3 **610** 0 2.54600E-01 2.54100E-01 9.31000E-03 2.18526E-03  
4.82043E-03 5.76246E-07 3.91000E-05 1.14000E-04 1.42000E-02 8.60000E-03

3 "UB533X210X82" 3 **610** 0 2.08800E-01 5.28300E-01 1.05000E-02 5.07168E-03  
3.67488E-03 5.15182E-07 2.01000E-05 4.75000E-04 1.32000E-02 9.60000E-03

4 "UB457X152X52" 3 **610** 0 1.52400E-01 4.49800E-01 6.66000E-03 3.41848E-03  
2.21488E-03 2.13741E-07 6.45000E-06 2.14000E-04 1.09000E-02 7.60000E-03

```

5 "UA100X100X8"   3  641  0  1.00000E-01 1.00000E-01 1.55000E-03 5.33333E-
04 5.33333E-04 3.34507E-08 6.11001E-07 2.35265E-06 8.00000E-03 8.00000E-03
6 "UC203X203X46"  3  610  0  2.03600E-01 2.03200E-01 5.87000E-03 1.46304E-
03 2.98613E-03 2.21539E-07 1.55000E-05 4.57000E-05 1.10000E-02 7.20000E-03
7 "UB406X178X67"  3  610  0  1.78800E-01 4.09400E-01 8.55000E-03 3.60272E-
03 3.40912E-03 4.61117E-07 1.36000E-05 2.43000E-04 1.43000E-02 8.80000E-03
8 "UB406X140X39"  3  610  0  1.41800E-01 3.98000E-01 4.97000E-03 2.54720E-
03 1.62597E-03 1.07021E-07 4.10000E-06 1.25000E-04 8.60000E-03 6.40000E-03
9 "UA60x60x5"     3  641  0  6.00000E-02 6.00000E-02 5.82000E-04 2.00000E-04
2.00000E-04 4.89583E-09 8.07088E-08 3.17448E-07 5.00000E-03 5.00000E-03

```

The first field is the cross section number. Then there is the cross section name. Next the cross section country. The bold numbers in the 4th field are the *cross section types* (in STAAD PRO). The next field is local tern mapping code (see previous section) and is always written as "0" by VBA macro (meaning automatic remapping), albeit it can be edited and modified *after* the file MODEL.STD.TXT has been created by the macro, and *before* reading the file MODEL.STD.TXT into Sargon or CSE, in order to set a different mapping. After that field there is the "width", the "depth", Ax, Ay, Az, Ix, Iy, Iz, and finally Tw and Tf, the thicknesses. Before reading the file MODEL.STD.TXT, it is also possible to change names, type numbers and local tern mapping code according to the needs. This is normally NOT required, but may be helpful if needed to change from one cross section kind to another, or to improve conversion.

4. The sections in the STAAD PRO model are read from file "MODEL.STD.TXT" (as seen previously) and then transformed into Sargon/CSE-type sections following the procedure below.
  - a. If the name of the cross section is found in mapping file (second data column), and the cross section has types 631 or 632 ([ ] cross section), then the user is asked to set the clear distance between the two profiles using mm as length measurement unit; the cross section found in mapping file must be a channel.
  - b. If the name of the cross section is found in mapping file, and the cross section has types 633 ([ ] cross section), then the user is asked to set the clear distance between




the two profiles using mm as length measurement unit; the cross section found in mapping file must be a channel.

- c. If the name of the cross section is found in mapping file, and the cross section has type 642 (|| long side in contact cross section), then the user is asked to set the clear distance between the two profiles using mm as length measurement unit; the cross section found in mapping file must be an angle.
- d. If the name of the cross section is found in mapping file, and the cross section has type 643 (|| short side in contact cross section), then the user is asked to set the clear distance between the two profiles using mm as length measurement unit; the cross section found in mapping file must be an angle.
- e. If the name of the cross section is found in mapping file, and the cross section has type 616 (I I cross section), then the cross section will be added assuming a clear distance equal to 10mm between cross-sections; the cross-section found in mapping file must be an I rolled or H rolled cross section.
- f. No matter if the name of the cross section has been found or not in mapping file , cross sections of types 667 672 and 677 (rectangular cross sections) are rebuild by using data written in .STD.TXT file.
- g. No matter if the name of the cross section has been found or not in mapping file, cross sections of types 673 (Tee welded, i.e. sharp corners cross sections) are rebuild by using data written in .STD.TXT file.
- h. No matter if the name of the cross section has been found or not in mapping file, cross sections of types 650 and 651 (box-like or rectangular-tube cross sections, sharp corners) are rebuild by using data written in .STD.TXT file. These have constant thickness.
- i. No matter if the name of the cross section has been found or not in mapping file, cross sections of types 668 and 671 (round cross sections) are rebuild by using data written in .STD.TXT file.
- j. No matter if the name of the cross section has been found or not in mapping file, cross sections of types 660 and 661 (circular hollow cross sections) are rebuild by using data written in .STD.TXT file.
- k. If the name of the cross section is found in mapping file, the cross section is added as found in conversion file with no modification. So if the cross section is named

AAA in STAAD and in conversion file this section is related to cross section BBB in Sargon / CSE archive, then cross section BBB will be applied.

1. If the name of the cross-section has NOT been found in mapping file, and no previous case is applicable then the program asks to the user to fill the necessary dimensions of the cross section (using mm as units), whose type has however been recognized as compatible with Sargon / CSE as it is written in file .STD.STX. The following table applies:

Type coded in .STD.TXT file	Cross section kind
610	I or H rolled cross section
611	T cut from I or H rolled cross section
616	I I composed by 2 rolled I or H
620	T cut from I or H rolled cross section
630	Rolled channel, parallel flange
631 or 632	][ double channel
633	[ ] double channel
634 or 635	Cold formed channel (without or with lip)
640 or 641	Rolled angle
642	_  _ double angle long side
643	_  _ double angle short side
644 or 645	Cold formed angle without or with lip
654	Rectangular hollow tube, round corners (RHS)
655	Circular hollow sections
662 or 663	Zee cold formed without or with lips
664	Cold formed hat section

674	Trapezoid: converted into a rectangular
676	Generic cross section defined by area and area moments
690	User Provided Table. I or H rolled cross section
691	UPT. Parallel flange channel (rolled)
692	UPT. Rolled angle
693	
694	UPT. Tee cut from I or H rolled.
695	UPT. Circular hollow section.
696	UPT. Rectangular hollow section. Sharp corners.
697	UPT. Generic cross section defined by area and second area moment.
698	UPT. I or H rolled cross section.
700 or 701	UPT.  double angle, long or short side in contact.
702	UPT.  double channel.
703	UPT.  double channel
771	plate property: unused

- m. If, finally, the name of the cross section has not been recognized in the mapping file, and the cross-section type is not one of those listed in the preceding table, then a dummy cross-section rectangular, and with the same name of the original cross section is applied.



The mapping file is easy to manage and the user can add any lines they require, maybe before importing the model.

As at November 2012, the conversion file contained about 4,000 sections. This include HEA, HEB, HEM, IPE, ILS, HLS, H, L, UPN, double L , double UPN and RHS sections, tubes, etc. etc.

It should be noted that the user can always ensure that a sectional form in STAAD PRO, say BBB, is converted correctly to a sectional form in Sargon/ CSE, simply by assuring that the desired form is in the .SMA archive with, say, name AAA, and that the Sargon/CSE-STAAD PRO mapping row between the names of the two sections is there in the mapping file (AAA BBB). Once carried out, the work will of course apply every time those sections, special or otherwise, are used in any model in the future.

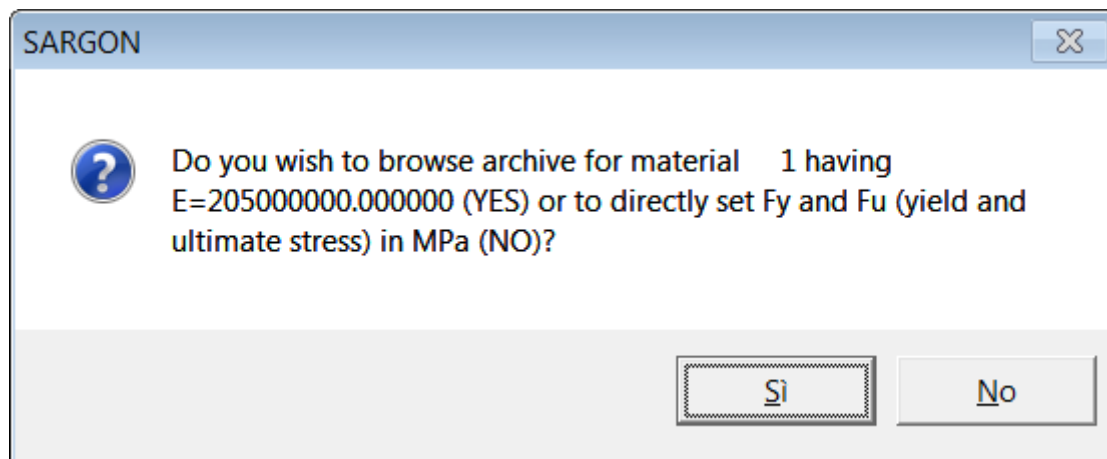
When installing upgrades, in order to avoid overwriting your own mapping files and SMA archives, it is advisable to take a backup copy of both the mapping file and the SMA file.

### **Converting materials**

Presently, only Isotropic materials are read and converted. No conversion is done for Orthotropic 2D or 3D materials.

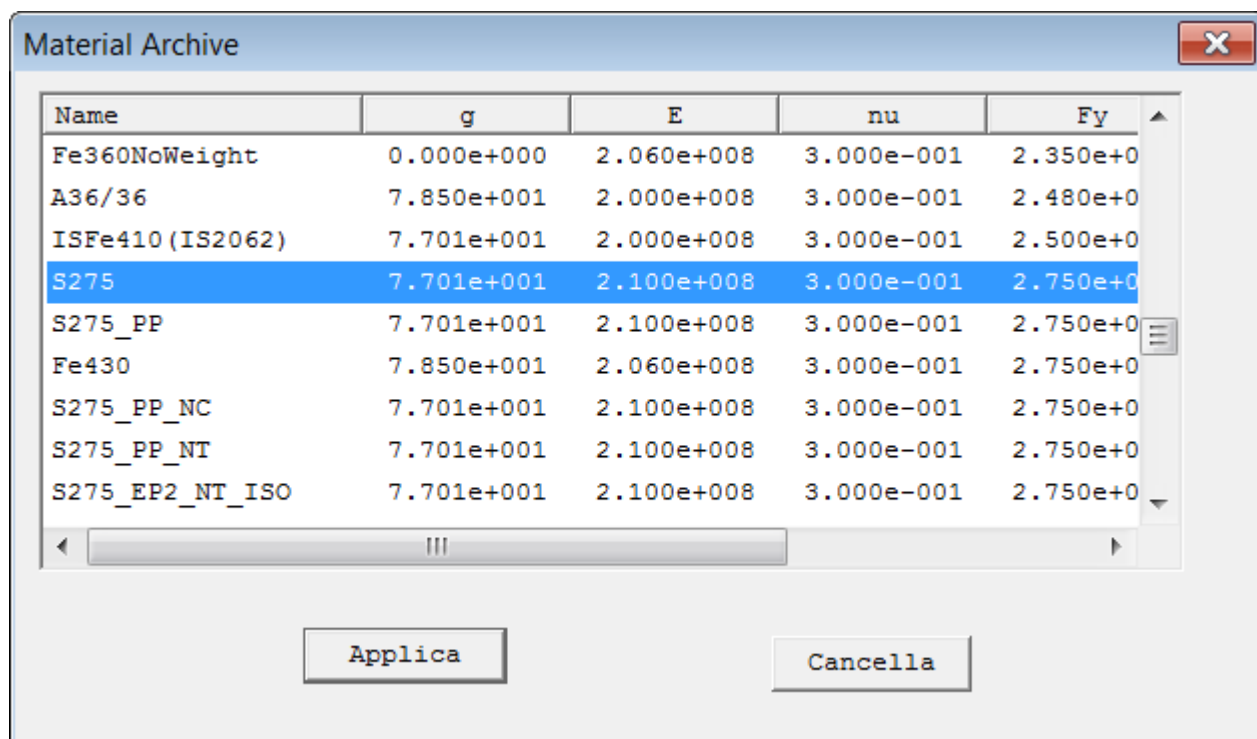
During conversion, as material data extracted to .STD.TXT file by macro lacks info about yield and ultimate stresses, the user is asked to fill the missing data by choosing:

1. Or to assign  $f_y$  and  $f_u$  by browsing the Sargon / CSE material archive, to choose one material. That material will just be used to set  $f_y$  and  $f_u$ .
2. Or keep all data defined in the conversion file, and just add the yield stress value ( $f_y$ ) and the ultimate stress value ( $f_u$ ) by directly input those values.



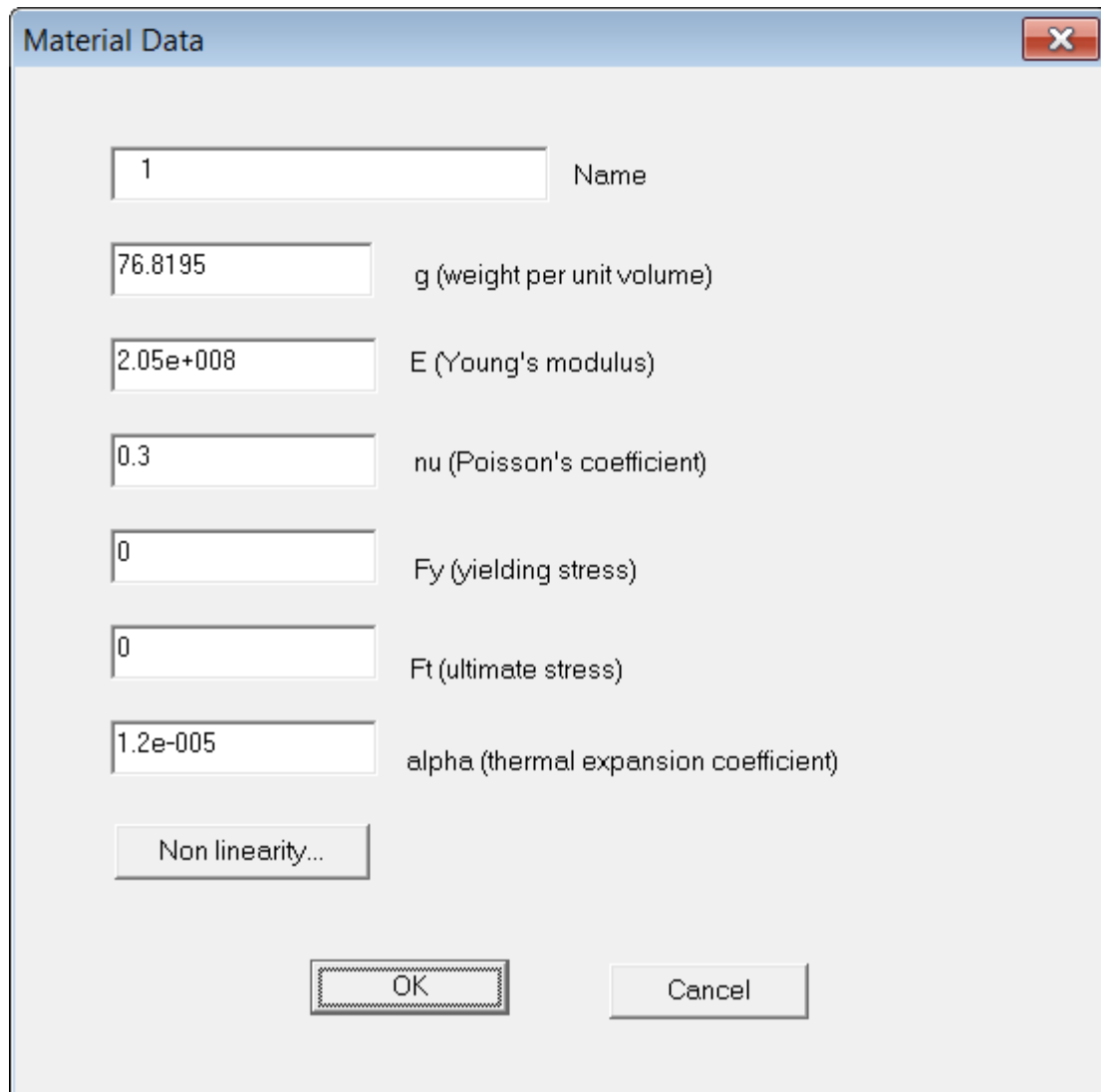
This question (see previous figure) is repeated for all materials defined in the model. The material is identified by its number and by its elastic modulus.

**If the answer is Yes**, then the following dialogue appears:



The user will browse through the archive and choose the material wished. The units of measurement used are those defined in the conversion file: [kN, meter] if metric units are used in the STAAD file, or [kips, inch] if imperial units are used in the STAAD file. However here no data must be input: you just have to choose a row and press Apply (Applica).

**If the answer is "No"** then the user must just fill the edit boxes referring to yield stress and ultimate stress, in the next dialog. **This must be done using the units of measurement defined in the conversion file:** [kN, meter] if metric units are used in the STAAD file, or [kips, inch] if imperial units are used in the STAAD file.



The image shows a 'Material Data' dialog box with a title bar and a close button. It contains several input fields and labels for material properties. The fields are arranged vertically, each with a text input box and a label to its right. At the bottom, there is a 'Non linearity...' button, and at the very bottom, 'OK' and 'Cancel' buttons.

Field	Value	Label
Name	1	Name
g (weight per unit volume)	76.8195	g (weight per unit volume)
E (Young's modulus)	2.05e+008	E (Young's modulus)
nu (Poisson's coefficient)	0.3	nu (Poisson's coefficient)
Fy (yielding stress)	0	Fy (yielding stress)
Ft (ultimate stress)	0	Ft (ultimate stress)
alpha (thermal expansion coefficient)	1.2e-005	alpha (thermal expansion coefficient)

Buttons: Non linearity..., OK, Cancel

It is of course of the utmost importance that these data are filled correctly.

### Converting supports

No skewed support is presently imported. Elastic supports are converted into translational or rotational springs in the Sargon / CSE environment.

### Converting members

Members are mapped to beam elements in the Sargon CSE working environment. Offsets and end releases (0 or 1) are converted and assigned to elements according to those defined in the STAAD PRO working environment. No elastic release or partial release is presently imported. However, release elastic constants are written in the .STD.TXT file for future use.

As member end forces are directly read from results this will not affect stress state in using STAAD imported model in CSE.

If, on the other hand, the model has been imported into Sargon, these elastic releases will have to be re-assigned in view of a perfect match between the original and imported model.

### Converting plates.

A constant thickness is assumed for plate elements. This constant thickness is got by a simple average of the 3 or 4 node-thicknesses of the element as defined in STAAD PRO. No orthotropic material assigned to plate elements is imported or assigned.

### Converting solids

Due to the lack of documentation about solid elements in Open Staad reference manual, no material is assigned to solid elements, however their connectivity is read and assigned to solid elements in the Sargon / CSE working environment.

### Converting members with the Truss, or NoTension, or NoCompression, or Cable flag

These elements are converted as beam members with properly auto assigned end releases. The following end releases are assigned automatically:

<b>First Extreme:</b>	RxRyRz	(R1R2R3)	all rotations
<b>Second Extreme:</b>	RyRz	(R2R3)	all rotations but torsional

In fact, in STAAD PRO elements with the flag Truss can still have shears inside. So they are mapped to beams properly released. The joist flag is not managed presently.

### Converting primary load cases

Primary load cases are converted and added to Sargon / CSE model. The name of the primary load case is retained. The primary load case kind is converted according to the following rules.

Code	STAAD	Sargon / CSE
0	Dead	Dead
1	Live	Live
2	Roof live	Live
3	Wind	Wind
4	Seismic	Seismic modal
5	Snow	Snow
6	Fluids	Live
7	Soil	Live
8	Rain	Live
9	Ponding	Live
10	Dust	Live
11	Traffic	Live
12	Temp	Temperature
13	Imperfection	Live
14	Accidental	Live
15	Flood	Live
16	Ice	Live
17	Wind ice	Live
18	Crane hook	Live
19	Mass	Live
20	Gravity	Gravity
21	Push	Live
22	None	Live

### Converting load case combinations

What is named "load case combination" in the STAAD working environment, is simply named "combination" in the Sargon or CSE working environment.

In STAAD combinations do not have name, so they are named in Sargon / CSE according to their progressive number. Load factors are read from file .STD.TXT and assigned to combinations in Sargon / CSE model.

Results in combinations are got by Sargon / CSE at runtime, by linearly combining effects of load cases.

In Sargon / CSE combinations may be selected or not. Once imported in the new model, all combinations are selected by definition.

### Converting single actions

The following single actions are converted and assigned in the new Sargon / CSE model:

1. Nodal forces and nodal moments.
2. Uniformly distributed forces over member elements (including d1 and d2 data, but not d3 which is assumed null).
3. Uniformly distributed moments over member elements (including d1 and d2 data, but not d3 which is assumed null).
4. Concentrated forces applied to member elements (including d1, but not d2 which is assumed null).
5. Concentrated moments applied to member elements (including d1, but not d2 which is assumed null).
6. Trapezoidal loads (forces per unit length) applied to member elements.
7. Linear varying loads (forces per unit length) applied to member elements

OpenSTAAD.Load functions "GetXXX" referenced in technical guide are unfortunately not enough to extract all data referring to loads applied.

So self weight is not converted due to a lack in Open Staad documentation.

Temperature loads are not converted nor assigned.

Element pressures are not converted and assigned.

The only loads which can be imported are those clearly referenced in the Open Staad documentation, for OpenSTAAD.Load object. While AddXXX functions are many, GetXXX functions are quite fewer.

### Converting connection codes

Connection codes are not supported by STAAD, and it was not possible to use special rules to make Sargon/CSE able to assign needed connection codes (as done for SAP2000, for example, where conventional groups define connection codes on beam elements extremes). For this reason, user possibly needs to define connection codes in Sargon or CSE after the model has been imported from STAAD and before JNODES are searched for. If end releases are left unchanged and only connection codes are added, this operation does not imply a loss of results as no true modification is applied to analytical model. So imported results will be **still available** after connection codes definition. We recall here briefly that connection codes are useful when more elements meet in a node without any end release: connection codes will mark

the elements which will be interrupted and connected, while element with no connection code will remain unmodified and will therefore be the "master" of the connection.

### **Converting the results (post-processing)**

As already mentioned if results of the STAAD analysis are available, the import routine can create the binary files with the results in the Sargon/ CSE format. The following are imported:

1. All displacements of all nodes in all load cases and combinations (file MODEL.DDB).
2. All constraint reactions of all nodes in all load cases and combinations (file MODEL.RDB).
3. All internal forces at beams extremes in all load cases and combinations (file MODEL.SDB).
4. Currently, the stresses for two-dimensional and solid elements are not imported and are therefore null.

#### **2.4.4.7 Importare .dat**

### **IMPORTING STRAP MODELS**

Sargon/ CSE offers the ability to import models prepared in STRAP. As well as importing the model, Sargon/ CSE can also import and convert the results of the analysis carried out in STRAP.

#### **General introduction**

In order to start the conversion from STRAP file format to CSE or SARGON file format, the user must choose a .dat file which identify the model. In the subfolder where the model files are written, there may be several other STRAP models, so choosing the .DAT of the model we are interested in, simply works to define the model number we are interested in.

The file importing feature works by the following logical path:

- 1) Ask to STRAP to create a report file for the model at hand, with a suitable file format.
- 2) Read the report file created by STRAP and convert it into a CSE or SARGON file.

As phase 1 requires STRAP STBATCH.EXE, an installed and working copy of STRAP must be available in the computer, including the relevant protection key. Sargon/CSE automatically creates the *run file* and the *report file format* required by STBATCH.exe to print the report, and automatically runs STBATCH itself. In order to run STBATCH, the STRAP folder must be known to the program CSE/SARGON which performs conversion. It is initially assumed that STRAP is in "C:\STRAP1" folder. If this is true (a copy of STRAP is found in that folder) the program moves on, without asking further information. If there is not an available copy of STRAP in "C:\STRAP1" folder, the program looks for the environment variable named "STRAPFOLDER". This environment variable may be set once for all by the user in order to teach CSE/SARGON where to find STRAP. In order to set an environment variable just go to Control Panel, choose Security and System, System, Advanced Settings, and choose "Environment variables". A dialog will appear, choose "New". Set as the name of the variable "STRAPFOLDER" and as "value" the folder where actually STRAP is, e.g. "C:\STRAPNEW". If the environment variable is found, the program will run STBATCH in the folder specified by the environment variable. If the environment variable does not exist, then the program will ask the user to input the folder where STRAP is placed, issuing a warning that such input may be avoided by properly setting the environment variable STRAPFOLDER.

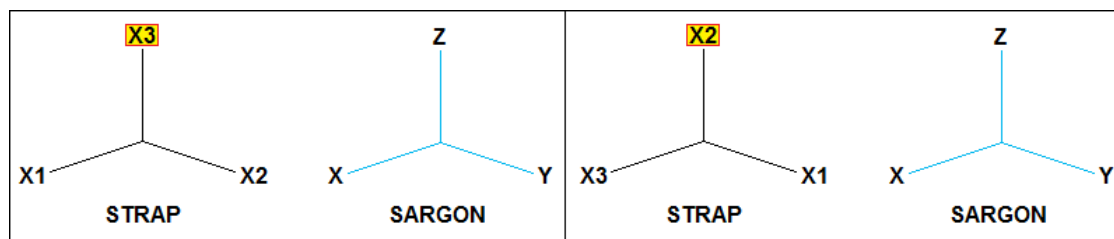
Report file will be named CSE\*.DAT (if using CSE, or WSR\*.DAT if using Sargon). Its format has been prepared to be read by Sargon/CSE. So, when GEOM001.DAT is imported in CSE, STBATCH.EXE will print CSE001.DAT, in the same folder of STRAP model. Then CSE will automatically import CSE001.DAT, creating a CSE001.CSE model and its related results files (CSE001.DDB, CSE001.SDB and CSE001.RDB, for displacements, stresses/forces and constraint reactions). User can choose a different name for CSE (or Sargon) model.

Some specific aspects of the main issues encountered when writing the conversion procedure are discussed in more detail below.

### **Converting global axes**



Before reading STRAP's report file, CSE asks the user if vertical global axis in STRAP model is X2 or X3. According to user's choice, one of the following correspondences will be assumed (STRAP's vertical axis is highlighted).



### Converting materials

Since some information about materials is missing in STRAP (steel yield stress, for example) when the model is imported user can choose to apply one of the materials from CSE/Sargon.sma archive or define missing properties (yield stress and ultimate stress) one by one. After the importing, user can change or modify materials for desired elements, if needed.

### Converting cross-sections

Before opening and reading the model which is to be imported, the conversion routine reads and imports the cross-sections needed in order to establish a suitable match between the sectional forms in Sargon/CSE and those in STRAP.

The mapping file between CSE and STRAP cross-sections is called "WSR\_STRAP\_SHPCVT.TXT" and can be found in the CSE installation folder. This file will be used when a STRAP model is imported into Sargon/CSE. This file, known as the "mapping file", is usually the same for Sargon and CSE, and is structured as shown below.

\$	
\$	
IPE 100	IPE&100
IPE 120	IPE&120
IPE 140	IPE&140
IPE 160	IPE&160
...	

The first column lists the names of the sections in the Sargon/CSE environment.

The second column lists the corresponding section names in STRAP. This is build by adding three strings: 1) the string referred to the kind of the cross-section; 2) the letter "&"; 3) the cross-section name in STRAP (which has no kind attached).

**A section is identified by its name.** If the name "beta" in STRAP corresponds to the name "alpha" in Sargon/CSE, then the sectional form "alpha" will be mapped to "beta". To find out the properties of the sectional form "alpha", the program must open an archive of sectional forms of type .SMA (an .SMA file); in particular:

- if CSE is being used, the file is "cse.sma" in the CSE program folder.
- if Sargon is in use, this will be the file "sargon.sma" in the Sargon program folder;

If the first line of the mapping file contains a "\$" or "\\" symbol that means it is a comment line.

The first 18 characters of the names are used for matching purposes. For two names to be matched, each of these 18 characters must be identical.

The conversion file is easy to manage and the user can add any lines they require. The user may actually wish to edit the file "WSR\_STRAP\_SHPCVT.TXT" in order to add more conversion lines. So, if a cross-section used in a STRAP model has not been automatically detected by conversion program, the User may wish add the section in CSE.SMA archive by using SAMBA program, and then edit the conversion file, establishing a match between the STRAP cross section and the new cross-section just added into the CSE.SMA archive by using SAMBA. Conversion file includes sections from European, British, American and Indian archives. As at October 2012, the conversion file contained around 2,000 sections (Europe, UK, US, India).

The conversion routine operates according to the following detailed rules:

1. The cross-sections in the .SMA file relevant to the program in use (Sargon or CSE) are read.
2. The entire conversion file is read into memory with its two columns of names.
3. The sections in the STRAP model are read and then transformed into Sargon/CSE-type sections following the procedure below.

- A. The following sections are read by using their dimensions (no conversion file used): rectangular (property type, PT, =1); pipe (PT=2); tube (PT=3); L (PT=4); I (PT=5); [ (PT=6); T (PT=7), circle (PT=8).
- B. If property type is equal to -1, the cross section is read from table, and conversion file will be used. If the cross-section is of the types "><", "2L", "[ ]", "[ ]", the program decodes the name of the simple cross-section, and searches this cross-section in the conversion table. The complex cross section will be rebuild using simple cross-section and the distance between the two cross sections. The simple cross section name is found by performing the following tasks. If the string "><" is followed by "L130x90x12", in STRAP report file, the program should rebuild the proper cross section name in the second column of conversion file. To do that, "L130x90x12" must be replaced by "L&130x90x12". The keyword kind "L" must then be searched for and separated by size. So for angles the program searches for the following possible keywords: "L"; "E.ANGLES"; "U.ANGLES". For channels the program searches the following possible keywords: "UNP"; "UAP"; "CHANNELS".
- C. Some sections are not supported and are not imported: if detected, they are replaced with a rectangular fictitious shape in order to complete the importing. User can then assign the desired shape defining it directly in CSE, without loss of results. Otherwise, user can add the needed sections to Sargon/Cse.sma archive and adding the related conversion lines in WSR\_STRAP\_SHPCVT.TXT.

It is as well to note that any user can always ensure that a sectional form in STRAP is converted correctly to a sectional form in Sargon/ CSE, simply by satisfying themselves that the desired form is present in the .SMA archive and that the Sargon/CSE-STRAP mapping between the names of the two sections is available in the mapping file. Once carried out, the work will of course apply every time those sections are used in any model in the future.

When installing upgrades, in order to avoid overwriting your mapping files and SMA archives, ***it is advisable to take a backup copy of both the mapping file and the SMA file.***

When two non standard cross sections are matched (CSE/SARGON archive versus STRAP) it is important to check that the principal axes of the cross-sections are the same.

### Converting load cases and combinations

STRAP prints results in the report for combinations only. For this reason, in addition to "true" combinations, user **must** define  $n$  "fictitious" combinations, one for each load case. A combination is automatically recognized as "fictitious" by CSE if it contains a multiplication factor equal to 1.0 for one load case only, and 0.0 for all the other load cases (for example, combination =  $1.0 * \text{case1} + 0.0 * \text{case2} + 0.0 * \text{case3} + 0.0 * \text{etc.}$ ). See the example in the following table (*fictitious combinations can be also at the end of the list, their position is not relevant*);  $n$  is the number of load cases (and of fictitious combinations),  $m$  is the number of true combinations.

	load case 1	load case 2	...	load case n
combi 1 (fictitious)	1	0	...	0
combi 2 (fictitious)	0	1	...	0
...	...	...	...	...
combi n (fictitious)	0	0	0	1
combi n+1 (true)	desired factors for each load case			
combi n+2 (true)				
...				
combi n+m (true)				

Combinations are added to the active Combi Set in Sargon/ CSE. Fictitious combinations will not be selected and so they will not be used in CSE checks.

Note that STRAP does not print applied loads in the report; only results are available (see below).

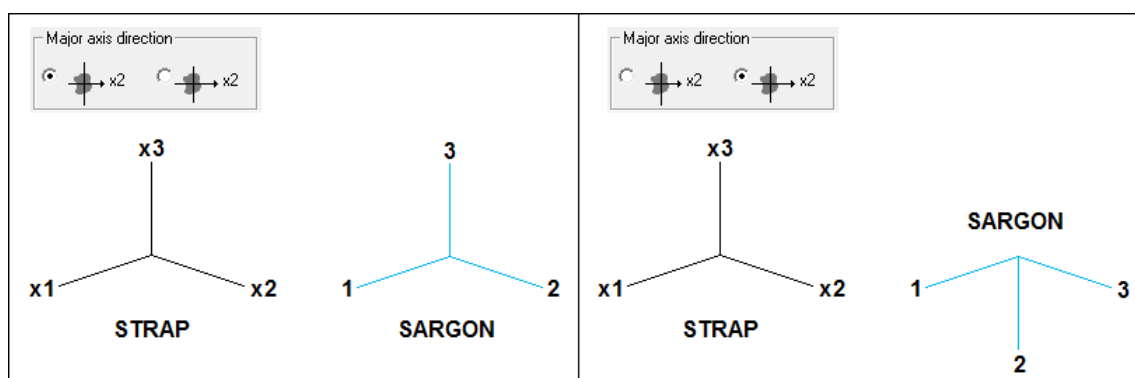
## Converting elements

Not all the elements defined in STRAP can be imported into Sargon/ CSE.

A discussion of which elements are imported and which are not follows below.

### 1. Beam elements in STRAP

- a) Orientation, end releases and rigid offsets are read by conversion program.
- b) Local orientation conversion from STRAP to Sargon/CSE depends on user's choice about major axis definition in STRAP. See the following conversion cases:



- c) Tapered beam elements are not supported in Sargon/ CSE.

### 2. Plate elements in STRAP.

- a. Elements with 3 or 4 nodes are read by conversion routine.
- b. All elements are assumed to be thin plates with constant thickness.
- c. No release of edge is currently supported (nor would be useful in CSE).

### 3. Solid elements in STRAP.

- a. Elements with 4 6 or 8 nodes are read by conversion routine.

### 4. Spring elements in STRAP.

- a. Spring elements are read by conversion routine.
- b. Spring direction must be specified in global reference system, i.e. node system in spring definition must be 0.

- c. For each stiffness not null, a spring (rotational or translational) is added in CSE/Sargon.

### **Converting connection codes**

Connection codes are not supported by STRAP, and it was not possible to use conventions to make Sargon/CSE able to assign needed connection codes (as done for SAP2000, for example, where conventional groups define connection codes on beam elements extremes). For this reason, user possibly needs to define connection codes in CSE after the model has been imported from STRAP and before JNODES are searched for. If end releases are left unchanged and only connection codes are added, this operation does not imply a loss of results, so imported results will be **still available** after connection codes definition. We recall here briefly that connection codes are useful when more elements meet in a node without any end release: connection codes will mark the elements which will be interrupted and connected, while element with no connection code will remain unmodified and will therefore be the "master" of the connection.

### **Converting the results (post-processing)**

As already mentioned if results of the STRAP analysis are available, the import routine can create the binary files with the results in the Sargon/ CSE format. The following are imported:

1. All displacements of all nodes in all load cases and combinations
2. All constraint reactions of all nodes in all load cases and combinations
3. All internal forces at beams extremes in all load cases and combinations (at the extremes only, since internal forces along beam axis are not printed in STRAP report.
4. Currently, the stresses for two-dimensional and solid elements are not imported and are therefore null.

### **After the import**

Since some information about the model are missing in STRAP's output report, user may need to modify the model before jnodes search: connection codes may be added to some elements to avoid cuspidal or tangential jnodes, different materials may be assigned to different elements,

etc. All these operations can be done without losing the results. Note also that cross-sections can be changed (for example if a section is not in the conversion file, so replaced with a dummy one).

#### 2.4.4.8 Importare .mct

### IMPORTARE .MCT (modelli MIDAS)

versioni da Luglio 2013 (> 10.50)

Sargon/ CSE dà la possibilità di importare modelli preparati in MIDAS®. Così come può importare il modello, Sargon/ CSE può anche importare e convertire i risultati dell'analisi eseguita in MIDAS®. L'interfaccia tra Sargon, CSE e MIDAS® è stata sviluppata in accordo con Simulsoft, il distributore spagnolo di MIDAS.

#### Introduzione generale

L'interfaccia tra Sargon, CSE e MIDAS può essere realizzata chiedendo a Sargon /CSE di leggere un file .MCT disponibile in una certa cartella.

Dato che i modelli gestiti da MIDAS contengono molte più informazioni di quelle necessarie a Sargon /CSE, molte schede del file MCT non vengono lette. L'interfaccia sarà migliorata in modo da poter leggere più schede nelle future versioni.

Attualmente vengono lette e convertite le seguenti schede del file MCT:

- \*UNIT
- \*ENDDATA
- \*NODE
- \*ELEMENT
- \*MATERIAL
- \*PLASTIC-MATL
- \*SECTION (DBUSER)

\*THICKNESS  
\*CONSTRAINT  
\*SPRING  
\*FRAME-RLS  
\*OFFSET  
\*STLDCASE  
\*GROUP  
\*USE-STLD  
\*CONLOAD  
\*BEAMLOAD  
\*ELTEMPER  
\*LOADCOMB

Se l'utente decide di importare i risultati di MIDAS all'interno di Sargon / CSE, la routine di conversione:

1. Creerà un file binario .DDB contenente gli spostamenti di tutti i nodi in tutti i casi di carico;
2. Creerà un file binario .SDB contenente le azioni interne nelle travi e nelle bielle in tutti i casi di carico;
3. Creerà un file binario .RDB contenente le reazioni vincolari di tutti i nodi in tutti i casi di carico (0 se il nodo non è vincolato);
4. Marcherà il modello come "risolto" per fare in modo che i risultati siano accessibili nelle fasi del lavoro successive alla importazione.

Alcuni specifici aspetti dei principali temi affrontati quando si è scritta la procedura di conversione sono discussi in maggior dettaglio qui di seguito.

### **Conversione delle forme sezionali**



Prima di aprire e leggere il modello che deve essere importato, la routine di conversione legge ed importa le forme sezionali al fine di stabilire una opportuna corrispondenza tra le forme sezionali in Sargon/CSE e quelle in MIDAS.

Il file di corrispondenza tra le sezioni in Sargon /CSE e quelle in MIDAS si chiama "WSR\_MCT\_SHPCVT.TXT" e può essere trovato nella cartella di installazione del programma (CSE o Sargon, a seconda di cosa si stia usando). Questo file sarà usato quando un modello MIDAS è importato dentro Sargon o CSE. Questo file, noto come "file di conversione" è normalmente lo stesso per Sargon e CSE, ed è strutturato come mostrato qui sotto.

\$	
\$	
IPE 100	IPE100
IPE 120	IPE120
IPE 140	IPE140
IPE R 140	IPE140R
IPE 160	IPE160
. . .	

La prima colonna lista i nomi delle sezioni nell'ambiente Sargon / CSE. La seconda colonna lista le corrispondenti sezioni in MIDAS. Una sezione è identificata dal suo nome. Se il nome "beta" in MIDAS corrisponde al nome "alfa" in Sargon/CSE, allora la forma sezionale "alfa" sarà fatta corrispondere a "beta". Per trovare le proprietà della sezione "alfa" il programma deve aprire un archivio di sezioni del tipo .SMA (un file .SMA); in particolare:

- se si usa Sargon, tale file sarà il file "sargon.sma" nella cartella di installazione del programma Sargon;
- se si usa CSE, il file è il file "CSE.SMA" contenuto nella cartella di installazione di CSE.

Se il primo carattere di una generica linea del file di conversione è un "\$" o un "\" ciò vuol dire che quella riga è un commento.

Per stabilire la corrispondenza tra i nomi vengono usati i primi 18 caratteri. Perché due nomi vengano considerati identici tutti e 18 i caratteri devono essere eguali.

La routine di conversione funziona in accordo a queste regole di dettaglio:

1. Le forme sezionali nel file .SMA pertinente al programma in uso (Sargon o CSE) vengono lette..

2. L'intero file di corrispondenza è letto in memoria con le sue due colonne di nomi.
3. Le forme sezionali nel modello MIDAS sono lette e trasformate in forme sezionali dell'ambiente Sargon / CSE in accordo alle regole seguenti.
  - a. sezioni DBUSER.
    - i. Se il primo campo di [DATA] è 1, allora il campo SNAME è usato per cercare la sezione nel file di corrispondenza. Se la sezione è trovata, allora sarà usata la pertinente sezione corrispondente. Se la sezione non è trovata, il simbolo SHAPE è utilizzato al fine di chiedere all'utente le dimensioni pertinenti della sezione del tipo appropriato, in accordo alle seguenti corrispondenze: "H", sezioni laminate a I o H; "B", sezioni RHS; "P", tubi circolari; "L" angolari; "C" C a lati paralleli; "T" T con spigoli vivi; "2L" doppi angolari; "2C" doppi C ]; "SB" rettangolari; "SR" circolari pienebar; "CC" C formate a freddo; altri simboli: non riconosciuta. Se la sezione non è riconosciuta viene impiegata una sezione rettangolare fittizia.
    - ii. Se il primo campo di [DATA] è 2, allora le dimensioni della sezione sono lette direttamente dalla scheda, per le forme sezionali "H", "B", "P", "L", "C", "T", "2L", "2C", "SB", "SR", "CC". Non viene chiesto alcun dato all'utente, le sezioni sono lette direttamente e convertite. Possibili problemi nel definire una forma sezionale daranno luogo alla aggiunta di una sezione fittizia denominata "DUMMY".

Il file di conversione è facile da modificare e gli utenti possono aggiungere le linee di cui hanno bisogno.

E' bene notare che ogni utente può sempre assicurarsi che una forma sezionale in MIDAS sia convertita correttamente in una forma sezionale nell'ambiente Sargon/ CSE, semplicemente verificando che la sezione desiderata sia nel file .SMA e che la corrispondenza tra la sezione in Sargon / CSE e in MIDAS sia disponibile all'interno del file di conversione. Una volta condotto a termine, il lavoro sarà ovviamente disponibile tutte le volte che quelle sezioni verranno impiegate in qualche modello, indipendentemente dal loro tipo .

Quando si installano gli aggiornamenti, al fine di evitare la sovrascrittura del proprio file di conversione e dei propri archivi .SMA, è consigliabile eseguire un back up sia del file di conversione sia del file .SMA con gli archivi delle sezioni.

### Conversione degli spessori

L'unico tipo di spessore gestito dall'interfaccia è il tipo "VALUE". Gli spessori "STIFFENED" ("irrigiditi") non vengono letti. Se viene trovato uno spessore "STIFFENED" l'esecuzione si arresta.

### Conversione dei materiali

Se è definita una parte non lineare di un materiale, allora essa dovrà essere ridefinita impiegando il dialogo standard di Sargon / CSE usato per [aggiungere materiali non lineari](#)<sup>[1005]</sup>. La routine di conversione si accorge dell'impiego di un materiale non lineare e chiede all'utente di ridefinire tale parte non lineare usando il dialogo di Sargon / CSE.

Se un materiale ha il tipo "1", ovvero è un materiale standard, l'utente viene richiesto di scegliere se cercare tale materiale standard nell'archivio dei materiali disponibili in Sargon / CSE o se introdurre le caratteristiche usando il dialogo standard di [aggiunta dei materiali](#)<sup>[1003]</sup>.

Se un materiale è di tipo "2", il materiale è isotropo e i suoi dati saranno letti direttamente dal file MCT.

Se un materiale è di tipo "3" è un materiale ortotropo e viene mostrato un messaggio di avviso. L'utente verrà richiesto di introdurre i pertinenti dati del materiale impiegando un modello isotropo.

### Conversione di casi di carico e combinazioni

Ogni caso di carico definito in MIDAS implicherà un caso di carico in Sargon /CSE, e sarà usata la seguente tabella di conversione dei tipi.

Caso di Carico (MIDAS)	Caso di Carico (Sargon / CSE)
USER	LIVE
D	DEAD
L	LIVE
LR	LIVE
W	WIND
E	EARTHQUAKE
S	SNOW
R	LIVE

IP	LIVE
EP	LIVE
WP	LIVE
FP	LIVE
SF	LIVE
B	LIVE
CR	LIVE
SH	LIVE
T	THERMAL
PS	DEAD
CS	LIVE
ER	LIVE
IL	LIVE
BK	LIVE
WL	WIND
CF	LIVE
CO	LIVE
TPG	LIVE

MIDAS ha vari tipi di combinazioni (che possono essere combinazioni di casi di carico o di altre combinazioni). Sono importate all'interno di CSE le seguenti combinazioni:

- combinazioni del tipo "lineare additivo"
- combinazioni "SRSS" (+ e -);

Le combinazioni sono aggiunte al Combi Set attivo in Sargon / CSE. Sono lette e decodificate sia le combinazioni che impiegano i casi di carico standard ("ST") sia le combinazioni che impiegano altre combinazioni ("CB").

### Conversione di carichi

Sono importati i seguenti possibili carichi:

- Forze nodali
- Momenti nodali
- Carichi distribuiti (forze o coppie) su elementi beam, nel sistema di riferimento globale o locale
- Carichi concentrati (forze o coppie) su elementi beam, nel sistema globale o locale
- Carichi gravitazionali
- Carichi termici

### Conversione di elementi

Non tutti gli elementi definiti in MIDAS possono essere importati in Sargon/ CSE e vice-versa.

Qui di seguito viene spiegato quali elementi siano importati e quali no.

#### 1. Elementi beam e truss in MIDAS

- a. Sono sempre importati in Sargon / CSE come elementi beam quando il TYPE è BEAM, e come elementi truss quando il tipo è TRUSS, TENSTR o COMPTR.
- b. Non viene letto alcun dato aggiuntivo specificamente relativo a elementi TENSTR o COMPTR.
- c. Viene letto e convertito sia il metodo che usa un angolo, sia il metodo che usa un punto di riferimento, per decidere l'orientazione dell'elemento.
- d. Rigidezze parziali alle estremità vengono definite solo per la modalità di input VALUE (quindi non come rigidezza relativa) e solo per  $M_y$  e  $M_z$ .

#### 2. Elementi piani in MIDAS.

- a. Questi elementi sono aggiunti come piastre in Sargon / CSE quando TYPE è PLATE, e come elementi membrana quando TYPE è PLSTRS.
- b. Essi non sono considerati se hanno TYPE PLSTRN o AXISYM.
- c. Sono tenute in conto sia le piastre sottili che quelle spesse.

#### 3. Elementi solidi in MIDAS. Questi sono convertiti in elementi solidi in Sargon/ CSE (tetra, wedge, brick).

4. Gli elementi SPRING in MIDAS sono letti e convertiti in molle in Sargon / CSE quando viene usata la scheda SPRING.
5. Elementi GSPRING in MIDAS. Questi elementi non sono al momento convertiti.
6. Elementi ELASTICLINK in MIDAS. Questi elementi non sono al momento convertiti.
7. Elementi GL-LINK in MIDAS. Questi elementi non sono al momento convertiti.
8. Elementi RIGIDLINK in MIDAS. Questi elementi non sono al momento convertiti.

### **Conversione di segni di connessione**

All'interno di Sargon si fa uso del segno di connessione per indicare membrature che, pur essendo staticamente in continuità sul nodo, devono essere considerate costruttivamente interrotte. Elementi beam che posseggano un qualche tipo di end-release sono considerati automaticamente interrotti, e quindi non è necessario apporre alcun segno di connessione. Il problema invece si pone per quegli elementi che, pur non avendo alcun end-release, devono essere considerati interrotti al fine di ricercare i jnodi eguali ed i renodi in CSE.

Dato che le informazioni "normali" gestite da MIDAS non consentivano di passare esplicitamente questa informazione, si è provveduto a predisporre una opportuna codifica, che, utilizzando il concetto di "gruppo" presente in MIDAS, fosse utile a far passare le informazioni desiderate.

Un elemento frame può avere un segno di connessione ad un estremo, all'altro o a tutti e due. Come già detto, se ad un estremo è presente un end release allora non è necessario aggiungere un segno di connessione perchè è implicito.

In MIDAS si potranno aggiungere i seguenti gruppi:

"BI"

"BJ"

"BIBJ"

Tutti gli elementi beam che appartengono al gruppo "BI" hanno l'estremo "I" con segno di connessione;

Tutti gli elementi beam che appartengono al gruppo "BJ" hanno l'estremo "J" con segno di connessione;

Tutti gli elementi beam che appartengono al gruppo "BIBJ" hanno entrambi gli estremi con segno di connessione.

Gli elementi biella hanno per definizione una interruzione ad entrambi gli estremi e non necessitano di segni di connessione.

### **Convesione dei risultati (post-processing)**

Come già detto, se i risultati dell'analisi condotta con MIDAS sono disponibili, la routine di importazione può creare file binari con i risultati nel formato Sargon/ CSE. Vengono importati i seguenti risultati:

1. Tutti gli spostamenti di tutti i nodi in tutti i casi di carico;
2. Tutte le reazioni vincolari di tutti i nodi vincolati in tutti i casi di carico (riferimento globale);
3. Tutte le azioni interne negli elementi trave e biella, in tutti i casi di carico.
4. Tutte le azioni interne negli elementi molla in tutti i casi di carico.

Al momento, gli sforzi interni agli elementi piani e solidi non vengono importati, e quindi sono considerati nulli.

Alla fine della lettura del modello, il programma chiederà se leggere o no i risultati. Se i risultati non saranno letti, non sarà creato alcun file binario con i risultati, e nessun risultato sarà in seguito disponibile ai fini delle verifiche. Se invece l'utente risponde "sì", allora egli / ella sarà riceverà prima di tutto la richiesta di fornire le unità di misura con cui interpretare i file con i risultati, mediante un opportuno [property sheet](#)<sup>773</sup>.

Fatto questo l'utente dovrà specificare un certo insieme di file CSV, uno per ognuno dei seguenti insiemi di dati:

- spostamenti nodali;
- reazioni vincolari nodali;
- azioni interne negli elementi trave;
- azioni interne negli elementi biella.

Se anziché scegliere un file viene premuto il tasto CANCEL, in qualsivoglia dei dialoghi che chiedono il nome del file che via via si presentano, i corrispondenti risultati verranno tutti posti eguali a zero, e sarà proposta la richiesta del file successivo.

Per poter leggere correttamente i file CSV l'utente deve aver convertito i file XLS, XSLX ottenuti da MIDAS, in file CSV, mediante l'impiego del comando "Salva In" di EXCEL™, e selezionando il formato di file opportuno, che è "CSV (MS DOS)".

I file CSV **non devono usare la virgola come separatore decimale** ma il punto ".". Quindi se EXCEL crea il file di conversione da XLS a CSV impiegando la virgola come separatore decimale, bisogna applicare un Trova e Sostituisci (per esempio editando il file CSV con NOTEPAD, BLOCCO NOTE) a tutto il file sostituendo alle virgole i punti. Il file CSV generato dal comando Salva In usa il punto e virgola ";" come separatore dei campi di una data riga.

Qui di seguito viene fornito un breve esempio di file ottenuto per gli spostamenti, le reazioni, le azioni interne delle travi e le azioni interne delle bielle, usando il comando Salva In di EXCEL. Nelle prime linee create viene trovato anche qualche carattere "NEWLINE" extra (ASCII CODE 10): questi caratteri extra sono correttamente tenuti in conto dal convertitore.

#### DISPLACEMENTS

```
;Displacements,,,,,,,,,
;;Node;Load;Stage;Step;Step Order;"DX
(m);"DY
(m);"DZ
(m);"RX
([rad]);"RY
([rad]);"RZ
([rad]);Load Order
;;1;01_pp          estructura;;0;-0.000235;0.000563;-0.001542;0.000732;0.0002;-
0.000042;300001
```



```

;;2;01_pp      estructura;;;0;-0.000131;0.000522;-0.000205;0.000403;0.001152;-
0.000019;300001
;;3;01_pp      estructura;;;0;0;0;0;0;0;0;0;300001
;;4;01_pp      estructura;;;0;-0.000099;0.000516;-0.000031;0.000114;-0.000026;-
0.00005;300001
;;5;01_pp      estructura;;;0;-0.000013;0.000526;-0.000353;-0.000314;0.001301;-
0.000031;300001
;;6;01_pp      estructura;;;0;0.00014;0.000539;-0.000776;0.000033;0.001104;-
0.000023;300001
;;7;01_pp      estructura;;;0;0.000167;0.000531;-
0.000547;0.000278;0.001146;0.000036;300001

```

## REACTIONS

```

;Reaction(Global);;;;;;;;;;
;;Node;Load;Stage;Step;Step Order;"FX
(kN);"FY
(kN);"FZ
(kN);"MX
(kN*m);"MY
(kN*m);"MZ
(kN*m);"Load Order
;;3;01_pp      estructura;;;0;0.033122;-0.1563;7.051901;0.234921;0.068793;0.000143;300001
;;9;01_pp      estructura;;;0;-0.035992;-0.111674;5.523255;0.181268;-
0.165302;0.00031;300001
;;14;01_pp     estructura;;;0;-0.047094;0.102017;8.226277;-0.149291;-0.251207;-
0.000388;300001
;;53;01_pp     estructura;;;0;0;-2.209851;0;0;0;0;300001
;;55;01_pp     estructura;;;0;0.51302;3.717744;92.398884;-
4.483324;2.742602;0.004236;300001
;;65;01_pp     estructura;;;0;-2.951695;-3.803535;103.941943;20.945472;-
6.583367;0.003907;300001

```

```
;;70;01_pp estructura;;;0;-0.000001;-1.435116;0;0;0;300001
;;120;01_pp estructura;;;0;-0.000001;-2.139589;0;0;0;300001
```

## BEAM FORCES

```
;Beam Force,,,,,,,,,,,,,
;;Elem;Load;Stage;Step;Step Order;Part;Part Order;Component;"Axial
(kN);"Shear-y
(kN);"Shear-z
(kN);"Torsion
(kN*m);"Moment-y
(kN*m);"Moment-z
(kN*m);"Load Order;Compo Order;Stress
;;50;01_pp estructura;;;0;I[1];0;;-0.04;0;-0.97;0.01;-0.07;0;300001;0;
;;50;01_pp estructura;;;0;J[2];4;;-0.02;0;-1.66;0.01;2.68;0;300001;0;
;;51;01_pp estructura;;;0;I[2];0;;0;0.02;-3;-0.03;2.68;0;300001;0;
;;51;01_pp estructura;;;0;J[4];4;;0;0.02;-3.2;-0.03;4.56;-0.01;300001;0;
;;52;01_pp estructura;;;0;I[3];0;;-7.05;0.16;0.03;0;0.07;0.23;300001;0;
```

## TRUSS FORCES

```
;Truss Force,,,,,,,,,
;;Elem;Load;Stage;Step;Step Order;"Force-I
(kN);"Force-J
(kN);"Load Order
;;1;01_pp estructura;;;0;5.245034;5.140802;300001
;;2;01_pp estructura;;;0;9.540789;9.313239;300001
;;3;01_pp estructura;;;0;11.555538;11.199402;300001
;;4;01_pp estructura;;;0;7.710519;7.873809;300001
;;5;01_pp estructura;;;0;16.289015;16.036842;300001
```

```
;;6;01_pp estructura;;;0;12.001037;11.826999;300001
;;7;01_pp estructura;;;0;23.159878;22.632203;300001
;;8;01_pp estructura;;;0;9.300742;9.073364;300001
```

Dato che in Sargon /CSE non può essere applicato alcun carico interno agli elementi biella e diretto come l'asse della biella stessa, le forze alle estremità degli elementi biella in Sargon / CSE sono identiche in modulo ed opposte in segno. Quando vengono lette le azioni interne delle bielle dal file CSV (dove si possono trovare, in rari casi, azioni diverse ai due estremi), verranno considerate come forze della biella quelle del secondo estremo.

#### 2.4.4.9 Importare .r3d

### IMPORTING .R3D (RISA3D® models)

versioni da Luglio 2013 (> 10.50)

This topic is in English only.

Sargon/ CSE offers the ability to import models prepared in RISA3D®. However, as RISA3D uses "physical elements" which are not standard finite elements, Sargon/ CSE cannot also import and convert the results of the analysis carried out in RISA3D®. Physical elements in RISA3D, if detected, are automatically splint into proper finite elements.

### General introduction

The interface between Sargon, CSE and RISA3D can be implemented by asking Sargon or CSE to read a .R3D model provided in a given folder.

The RISA3D model has file extension .R3D.

The following cards are read into Sargon/CSE:

[UNITS]

[.SOLUTION\_PARAMETERS] "g" used to decide whether X, Y or Z axis is up. In Sargon/CSE Z is always up.

[MATERIAL\_PROPERTIES]

[.GENERAL\_MATERIAL]  
[.HR\_STEEL\_MATERIAL]  
[.CF\_STEEL\_MATERIAL]  
[.WOOD\_MATERIAL]  
[.CONCRETE\_MATERIAL]  
[.ALUMINUM\_MATERIAL]  
[SECTION\_SETS]  
[.HR\_STEEL\_SECTION\_SETS]  
[.CF\_STEEL\_SECTION\_SETS]  
[.WOOD\_SECTION\_SETS]  
[.CONCRETE\_SECTION\_SETS]  
[.ALUMINUM\_SECTION\_SETS]  
[.GENERAL\_SECTION\_SETS]  
[NODES]  
[BOUNDARY\_CONDITIONS]  
[SHAPES\_LIST]  
[MEMBERS]  
[.MEMBERS\_MAIN\_DATA]  
[PLATES]  
[SOLIDS]  
[BASIC\_LOAD\_CASES]  
[NODE\_LOADS]  
[POINT\_LOADS]  
[SURFACE\_LOADS]  
[DIRECT\_DISTRIBUTED\_LOADS]

The model read from the R3D file will probably need addition of further information which it has not been possible to directly convert into Sargon/CSE environment. Models created by importing R3D files should be carefully reviewed in order to check that the conversion has worked successfully.

Some specific aspects of the main issues encountered when writing the conversion procedure are discussed in more detail below.

### **Converting cross-sections**

Before opening and reading the model which is to be imported, the conversion routine reads and imports the cross-sections in order to establish a suitable correspondence between the cross-sections in Sargon/CSE and those in RISA3D.

The mapping file between the CSE and RISA3D cross-sections is called "WSR\_R3D\_SHPCVT.TXT" and can be found in the CSE installation folder. This file should also be edited by the user in order to add new entries, when needed. This file will be used when a RISA3D model is imported into CSE. This file, known as the "mapping file", is usually the same for Sargon and CSE, and is structured as shown below.

\$	
\$	
IPE 100	IPE100
IPE 120	IPE120
IPE 140	IPE140
IPE R 140	IPE140R
IPE 160	IPE160
. . .	

The first column lists the names of the sections in the Sargon/CSE environment. The second column lists the corresponding section names in Sap2000. A section is identified by its name. If the name "beta" in Sap 2000 corresponds to the name "alpha" in Sargon/CSE, then the cross-section "alpha" will be mapped to "beta". To find out the properties of the cross-section "alpha", the program must open an archive of cross-sections of type .SMA (an .SMA file); in particular:

- if Sargon is in use, this will be the file "sargon.sma" in the Sargon program folder;
- if CSE is being used, the file is "cse.sma" in the CSE program folder.

If the first line of the mapping file contains a "\$" or "\" symbol that means it is a comment line.

The first 18 characters of the names are used for matching purposes. For two names to be matched, each of these 18 characters must be identical.

The conversion routine works according to the following detailed rules:

- 1-The cross-sections in the .SMA file relevant to the program in use (Sargon or CSE) are read.
- 2-The entire conversion file is read into memory with its two columns of names.

3-The cross-sections in the RISA3D model are read and then transformed into Sargon/CSE-type sections following the procedure below.

- a- If a conversion is found between the name of the cross-section used in RISA3D model, and one entry of the second column of the mapping file, then the Sargon/CSE cross section in the first column of the proper row of the mapping file will be used.
- b- **If a conversion is not found and the cross section is of the types** ("b" shape type in [SHAPES-LIST]): 1 (rolled I or H); 2 (rectangular hollow section, or tube); 3 (pipe); 4 (parallel flange channel); 5 (Tee rolled cross-section); 6 (double L cross section); 7 (angle); 8 (rectangular cross section); 9 (solid round); 200 (cold formed C); 201 (lipped cold formed C); 202 or 203 (Z cold formed); 251 (pipe); 252 (L cold formed); **then** the user will be prompted with a specific dialog in order to enter the dimensions of the cross section.
- c- If a conversion is not found and the cross section does not belong to any of the previously listed cross-section types, then a dummy rectangular cross section is considered. The user may avoid such unwanted behavior by: i) adding the needed cross section to the Sargon/CSE database by using Samba, if this cross section is not available; ii) adding a new row to the mapping file with the Sargon/CSE archive cross-section name in the first column, and the RISA3D cross-section name in the second column. Otherwise, to save time, cross-section assignment may be re-done in the Sargon/CSE environment.

The conversion file is easy to manage and the user can add any lines they require.

It is as well to note that any user can always ensure that a cross-section in RISA3D is converted correctly to a cross-section in Sargon/ CSE, simply checking that the desired cross-section is in the .SMA archive and that the Sargon/CSE-RISA3D mapping between the names of the two sections is available in the mapping file. Once carried out, the work will of course apply every time those sections, special or otherwise, are used in any model in the future.

When installing upgrades, in order to avoid overwriting your mapping files and SMA archives, it is advisable to take a backup copy of both the mapping file and the SMA file.

### Converting materials

Wood material is read with dummy values: it may later be modified according to real needs in Sargon/CSE environment. As not all the needed information is printed in R3D file (for instance yield stress and ultimate stress is not written for all materials), material data should be carefully revised once the file has been imported.

### Converting loads, load cases and combinations

The following possible loads are imported into Sargon/ CSE:

- Nodal forces
- Member point loads (member only), both forces and couples, both local and global reference.
- Distributed loads (temperature, forces or couples) on members, in the global or local reference system, also projected.
- Surface loads, which are converted into nodal loads

Basic load cases are read into Sargon/CSE as they are defined in RISA3D. If a load case has gravity multipliers these will be correctly read and the relevant individual loads will be applied to elements in Sargon/CSE. The following mapping between load types has been set up:

<b>RISA3D</b> <b>(load category "h" in [BASIC_LOAD_CASES])</b>	<b>Sargon/CSE</b>
0	LIVE
1	DEAD
2	LIVE
3	EARTHQUAKE
4	WIND
5	SNOW
6	LIVE

7	LIVE
other	LIVE

As results are not read from RISA3D no combination information is presently converted.

### Converting elements

Not all the elements defined in RISA3D can be imported into Sargon/ CSE. The following element data are not imported:

- footings
- walls
- diaphragms

It is assumed that relevant walls are modeled via plate elements, while footings will later be modeled in CSE by using constraint blocks.

MEMBERS are read with end releases and axial offsets. No member design parameter, or member supplemental data is read, as it is not used as such in Sargon/CSE programs.

PLATE elements are read but not the wall parts.

### Converting connection codes

Within Sargon/CSE, the connection code is used to indicate members which, although statically continuous with the node, must be considered as interrupted from a constructional point of view. Frame elements possessing any kind of end-release are automatically considered interrupted, hence there is no need for any connection code. There is, however, the problem of those elements which, despite having no end-release, must still be considered interrupted for the purposes of finding the equal jnodes and renodes in CSE. As there is no coding for this information in RISA3D, connection codes will have to be applied in Sargon/CSE environment before the jnode search is asked for.




## Converting the results (post-processing)

The results of the analysis carried out in RISA3D are currently not available in CSE/Sargon, as:

1. Physical elements in RISA3D cannot be mapped into finite elements in Sargon / CSE. No proper nodal connection between physical elements and secondary elements is available in RISA3D.
2. No output file with known format is available with the internal forces computed by RISA3D. However, such internal forces, may easily be got by pasting tables from EXCEL into CSE, when needed, or by using special tools to define load levels acting to detach slave members from the master, in CSE.

### 2.4.5 Export dei dati sezionali (Esportare .arf)

#### EXPORT DEI DATI SEZIONALI ( ESPORTARE .ARF)

Sargon dà la possibilità di esportare le informazioni sui profili, avvisando Strucad dei cambiamenti avvenuti. Il comando è [Esporta](#) .

Questa possibilità è utile nell'uso congiunto di Sargon e Strucad. Con essa si crea un file **modello.arf** che contiene le informazioni necessarie ad avvisare Strucad che alcune sezioni sono cambiate rispetto a quanto stabilito nell'anf. Per funzionare, il comando ha bisogno del precedente file **modello.scd** creato da Sargon con il comando di lettura dell'anf. Inoltre, tutte le sezioni assegnate in Sargon devono trovare una corrispondenza con quelle di Strucad nel file SHPCVT.TXT (contenuto nel direttorio di installazione).

### 2.4.6 Collegamento bidirezionale con Strucad

#### COLLEGAMENTO CON STRUCAD

Il collegamento tra Sargon e Strucad è una delle caratteristiche più interessanti di Sargon in quanto realizza la piena comunicazione con un programma di disegno (peraltro molto

evoluto) in modo *bidirezionale*: così come è possibile leggere da Sargon informazioni create da Strucad è possibile da Strucad leggere informazioni create da Sargon.

Supponiamo di aver descritto la struttura in Strucad e di voler importare la mesh della struttura in Sargon: ciò si fa con il comando [Importa](#)<sup>657</sup>. Una volta ottenuta la struttura in Sargon si aggiungono casi e combinazioni, si attribuiscono i materiali e si esegue il solving e poi le verifiche. Se qualcuno dei profili richiede una modifica la modifica del profilo viene eseguita in Sargon, fino all'ottenimento della convergenza. A questo punto è possibile informare Strucad che alcuni profili sono cambiati creando il file di collegamento .arf (ciò si fa con il comando [Esporta](#)<sup>656</sup>).

Aspetti salienti del collegamento sin qui descritto sono i seguenti:

Sargon non consente di modificare il profilo di una parte di una membratura, in quanto conserva il ricordo della pezzatura prevista in Strucad (non vi è infatti corrispondenza biunivoca tra membrature ed elementi finiti).

Sargon interpreta automaticamente i profili accoppiati come elementi finiti singoli, mentre in Strucad vi sono due elementi;

Sargon interpreta gli elementi come travi o bielle sulla base di quanto previsto in Strucad

Sargon legge ed assegna tutte le eccentricità descritte in Strucad

Supponiamo ora che si renda necessaria l'aggiunta di qualche elemento o la modifica di qualche zona della struttura. Modificato il modello Strucad ci si trova di fronte al rischio di perdere tutto il lavoro fatto in Sargon, e di dover riassegnare carichi, casi, combinazioni, eccetera. In realtà con il comando [Aggiorna](#)<sup>663</sup> è possibile aggiornare il modello Sargon sulla base del nuovo .anf, **salvando tutte le informazioni che non sono cambiate**. Questo ultimo comando è estremamente potente, poichè usa le informazioni geometriche per identificare le parti in comune tra il modello Sargon attivo ed il nuovo file .anf.

## 2.4.7 Uso dei comandi di meshing automatico

### USO DEI COMANDI DI MESHING AUTOMATICO

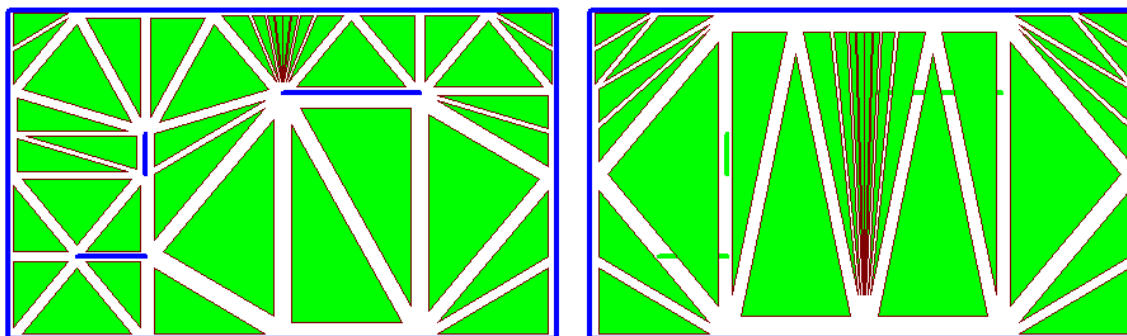
A partire dalla versione 7.30 Sargon è in grado di generare reticoli di elementi andando a riempire automaticamente regioni assegnate.

Questa funzionalità consente di generare rapidamente mesh in regioni definite, rispettando nodi esistenti e con dati requisiti di regolarità.

#### Triangolarizzazione di Delaunay

Dato un insieme di punti (nodi selezionati) chiamiamo *triangolarizzazione di Delaunay* una triangolarizzazione che abbia la seguente proprietà: tutti i triangoli sono tali per cui non esiste alcun punto di quelli iniziali all'interno della circonferenza passante per i tre nodi di ciascun triangolo.

I comandi di meshing di Sargon cominciano sempre con una triangolarizzazione di Delaunay. Si può dimostrare che una triangolarizzazione di Delaunay è sempre possibile ed è unica.



Triangolarizzazione vincolata

Triangolarizzazione non vincolata

Chiamiamo triangolarizzazione vincolata una triangolarizzazione che debba salvaguardare un certo numero di lati assegnati, vale a dire una triangolarizzazione che faccia sì che nessun lato di nessun triangolo intersechi un certo insieme di lati predefiniti. In Sargon ciò è ottenibile selezionando i lati (definiti a mezzo di travi e bielle) che devono essere salvaguardati.

Dopo una triangolarizzazione di Delaunay la mesh si presenta di solito non molto soddisfacente, a causa della presenza di elementi eccessivamente distorti.

Sono pertanto stati proposti alcuni possibili metodi per migliorare una triangolarizzazione di Delaunay (o brevemente una DT) o una triangolarizzazione di Delaunay vincolata (o brevemente CDT, constrained Delaunay Triangularization).

Questi metodi richiedono l'aggiunta di nodi ulteriori e sono governati essenzialmente da due parametri: l'angolo minimo dei triangoli e/o la dimensione massima dei lati.

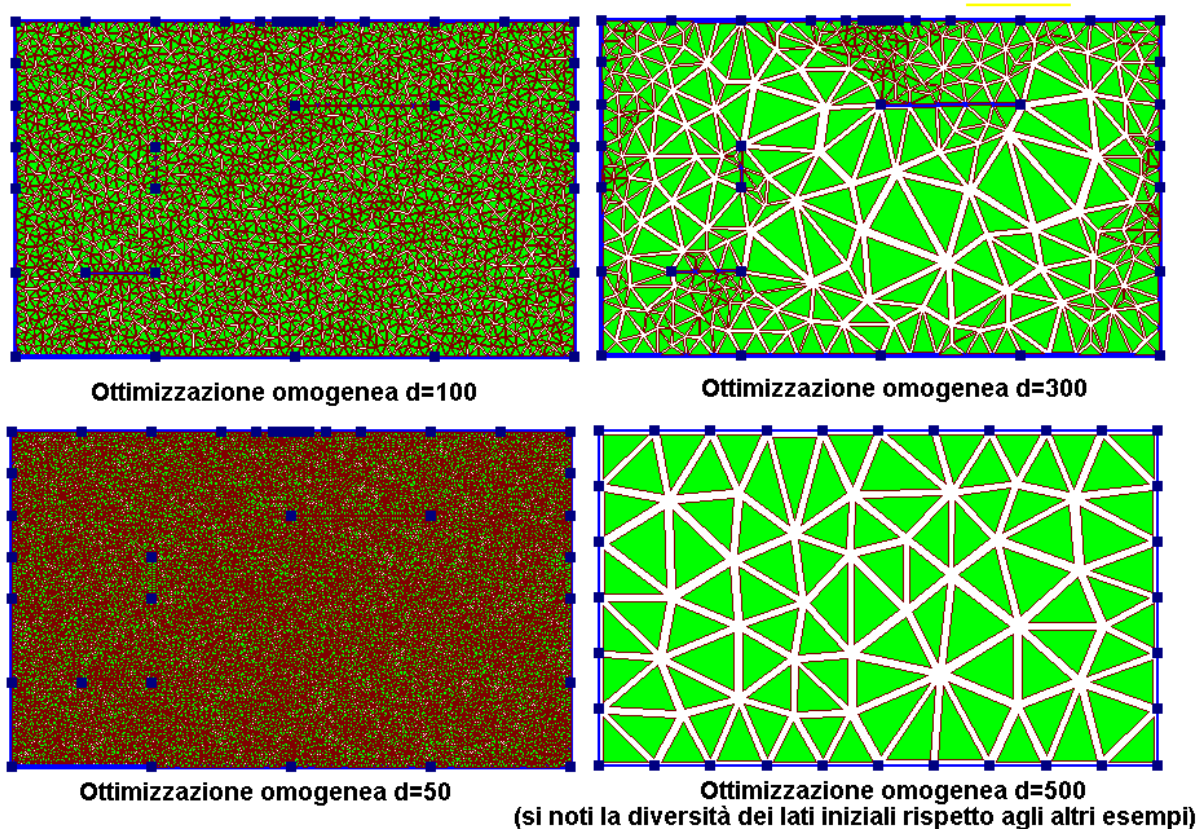
Entrambi i parametri sono estremamente delicati e una piccola variazione può portare a grandi tempi di calcolo ed a numeri di nodi assai differenti.

Di questi metodi Sargon presentemente (versione 7.30) ne implementa due.

Un primo metodo consiste nell'ottenere una mesh con elementi aventi tutti più o meno la stessa dimensione e lo stesso angolo minimo (si parla in tal caso di mesh omogenee).

Un secondo metodo consiste nell'ottenere mesh con dimensione (fortemente) variabile, in modo da lasciare con mesh rozzamente definite le zone che non interessano e meshare invece più finemente le zone ove ci si attende una forte variazione degli sforzi.

### **Ottimizzazione omogenea (algoritmo di )**

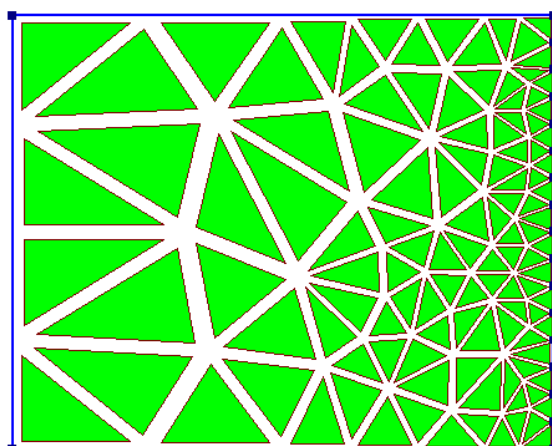


L'algoritmo divide i triangoli quando i lati superano la lunghezza di mesh massima stabilita. Quando la lunghezza massima è pari a zero i lati non vengono suddivisi in base alla loro lunghezza.

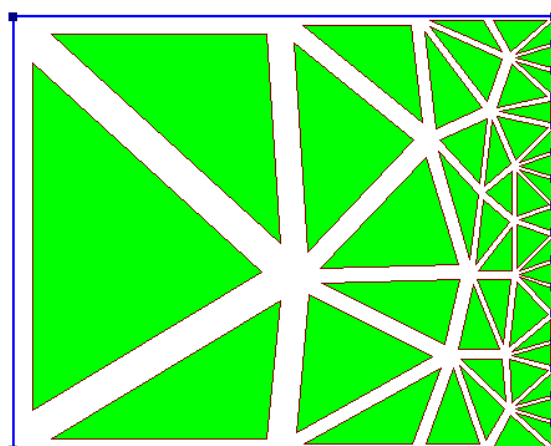
L'algoritmo tende a dare angoli minimi intorno a  $30^\circ$  e mesh omogenea purchè venga impostata una lunghezza massima prossima o inferiore al minimo segmento presente inizialmente (in figura il minimo segmento è lungo 78). Sulla base del limite di lunghezza introdotto i lati iniziali vengono suddivisi, in modo che nessuno di loro possieda lunghezza superiore al limite. L'algoritmo non è sensibile a variazioni di angolo.

Questo genere di algoritmo si applica bene a segmenti iniziali aventi tutti più o meno la medesima lunghezza (o resi tali specificando opportunamente il limite). Quando l'algoritmo viene impiegato con limiti superiori ai minimi presenti nei segmenti iniziali esso può convergere con modesti valori di angolo minimo e quindi con mesh di scarsa qualità.

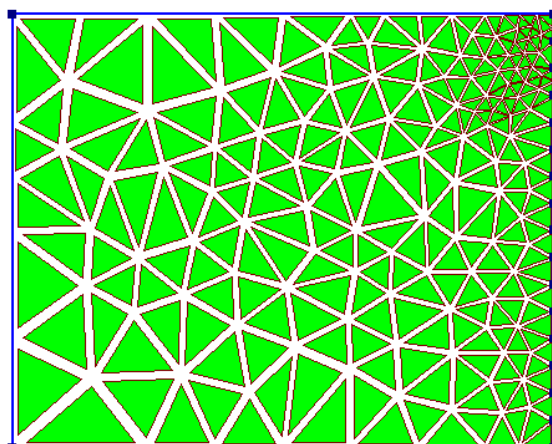
### Ottimizzazione eterogenea (algoritmo di Ruppert)



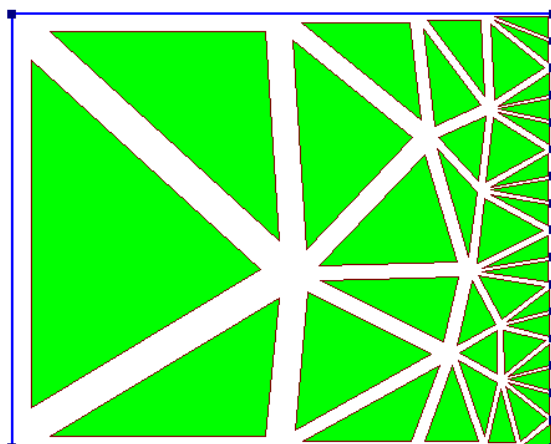
Angolo 30°



Angolo 20°



Angolo 33°



Angolo 15°

**Mesh ottenute con l'algoritmo di Ruppert (mesh eterogenee) senza limitazioni ai lati: si noti la forte influenza del valore dell'angolo sulle mesh ottenute.**

Questo algoritmo è invece stato espressamente inventato al fine di consentire la mesh con elevati standard di qualità pur se in presenza di lati di dimensione assai diversa tra loro. L'algoritmo originario divide i triangoli di una triangolarizzazione non vincolata sulla base dell'angolo minimo al loro interno. Questo algoritmo, tenendo in conto solo gli angoli e non la lunghezza dei lati, genera mesh con dimensioni dei lati disomogenee, ed è quindi adatto a coprire regioni con ben differente passo di mesh.

L'algoritmo di Ruppert, comunque, non garantisce che i lati originari restino invariati e ciò talvolta pone un problema in quanto capita che sia richiesto che la mesh non interferisca con altre regioni già meshate. In questi casi, se è necessario non suddividere ulteriormente i lati già

esistenti, si dovrebbe usare l'algoritmo precedente. Naturalmente i vincoli corrispondenti al fatto di non suddividere lati esistenti possono essere incompatibili con le richieste in termini di massima dimensione del lato e/o minimo valore dell'angolo, pertanto l'utente deve fornire questi valori in modo coerente con la lunghezza dei lati esistenti (e da non toccare) oppure, in alternativa, accettare che i lati inizialmente esistenti siano modificati.

L'algoritmo di Ruppert è stato modificato per aggiungere (facoltativamente) anche il criterio del massimo lato. In questo caso, oltre a soddisfare il requisito sull'angolo, i triangoli dovranno soddisfare anche il requisito sulla lunghezza massima dei lati.

### **Quadrangolarizzazione**

La quadrangolarizzazione è il procedimento che, partendo da mesh triangolari, cerca di trasformarle in mesh quadrangolari. La quadrangolarizzazione può essere completa o parziale. Alla versione 8.00 di Sargon esiste un unico modo per quadrangolarizzare la mesh generata coi triangoli, ed è un modo semplificato. In pratica all'interno della regione triangolarizzata si cercano le migliori coppie di triangoli adiacenti atte a fornire quadrangoli aventi tutti una certa qualità minima.

La misura della qualità è fatta mediante un indice ottenuto da un numero reale, tanto maggiore quanto maggiore è la qualità del quadrangolo e compreso tra 0 e 1. Dato il valor medio della qualità di una mesh costituita da quadrangoli, secondo Lee e Lo tale mesh può essere categorizzata come segue:

- |  |               |
|--|---------------|
| • Qualità media $< 0.36$               | Inaccettabile |
| • $0.36 < \text{qualità media} < 0.54$ | Accettabile   |
| • $0.54 < \text{qualità media} < 0.72$ | Buona         |
| • $0.72 < \text{qualità media}$        | Eccellente    |

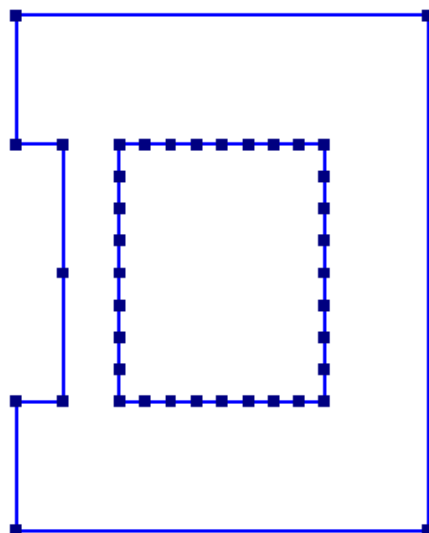
Il programma prende in input una qualità minima al di sotto della quale i quadrangoli vengono scartati perché inaccettabili. Il valore di default proposto è 0.36.

### **Mancanza di convessità del dominio, fori**

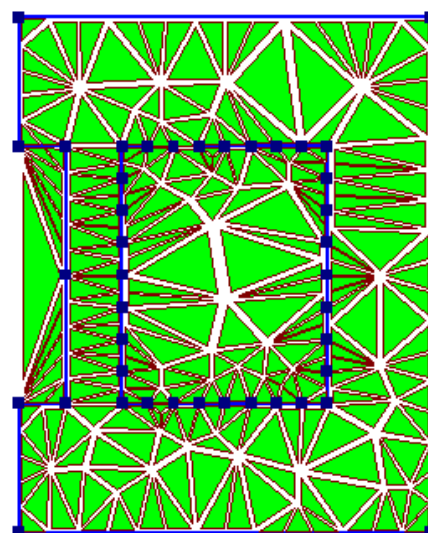
Gli algoritmi descritti non distinguono tra domini concavi o convessi. Per poter meshare su domini concavi è necessario attivare una specifica opzione che rimuove i triangoli posti al di fuori del dominio originario. La stessa opzione consente di svuotare eventuali fori presenti nella regione da meshare.

Per far capire al programma quali sono i fori, occorre che il perimetro di questi sia interamente descritto da una serie di lati contigui che siano tutti selezionati al momento della esecuzione del comando. Il numero di fori è arbitrario. Non sono ovviamente ammessi fori nei fori. La forma dei fori è determinata dalla successione dei lati rettilinei e può quindi essere qualsiasi.

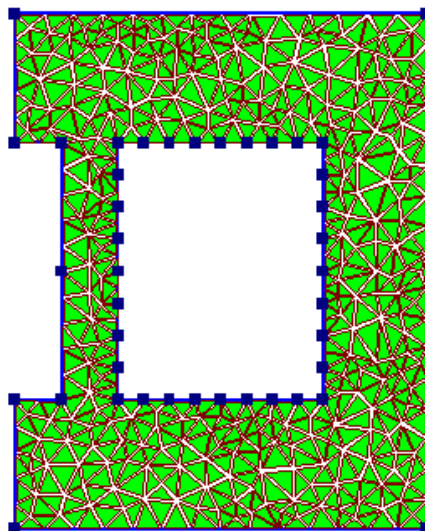




La situazione iniziale con i lati selezionati. Il dominio è concavo ed ha un foro



La mesh ottenuta senza specificare di tener conto di pieni e vuoti



La mesh ottenuta chiedendo di tener conto dei pieni e dei vuoti

Nella figura si vede ciò che succede se si mesha una regione concava senza specificare di tener conto dei pieni e dei vuoti.

### Come agire operativamente

Per usare questo potente comando occorre includere la regione da meshare (che deve essere piana) all'interno di un ciclo chiuso di elementi monodimensionali selezionati (travi o

bielle) che indicano i lati iniziali. Opzionalmente è possibile aggiungere anche lati interni alla regione da meshare, anche disgiunti: se questi sono selezionati al momento della esecuzione del comando, la mesh finale li rispetterà, nel senso che il lato (eventualmente suddiviso) sarà incluso all'interno dei lati della mesh. Se si desidera che i lati iniziali non vengano suddivisi è necessario specificare la richiesta esplicitamente nel dialogo opportuno.

Ove siano presenti fori o la regione da meshare non sia convessa, è necessario attivare una specifica opzione per la ricerca e cancellazione automatica delle regioni esterne all'area di mesh (dominio concavo) o interne ai fori.


Una volta fatte le proprie scelte si può eseguire il comando. Se la mesh non è di proprio gradimento basterà eseguire il comando Annulla per tornare all'inizio, così da sperimentare nuove scelte dei parametri.

### **Estratto della Bibliografia consultata**

- J.R. Shewchuk, *Lecture notes on Delaunay Mesh Generation*, September 20, 1999, Department of Electrical Engineering and Computer Science, University of California at Berkeley
- J. Ruppert, *A Delaunay Refinement Algorithm for Quality 2-Dimensional Mesh Generation*, NASA Ames Research Center, February, 2, 1994, Submission to the Journal of Algorithms.
- Kyu-Yeul Lee, In-Il Kim, Doo-Yeoun Cho, Tae-wan Kim, *An algorithm for automatic 2D quadrilateral mesh generation with line constraints*, Computer Aided Design, 35 (2003), 1055-1068

## **2.5 Cambiare unità di misura**

### **CAMBIARE UNITÀ DI MISURA**

Il comando da impiegare è il comando [Unità...](#) del menù Edit-Selezione.

Cambiare unità di misura è comando e spesso fortemente consigliata: infatti siamo abituati ad esprimere cose diverse con diverse unità di misura. Ad esempio, i mm possono andare bene se si danno le quote di un profilo in acciaio, ma sono molto scomodi se si deve fornire un carico per unità di lunghezza.

In qualsiasi momento è possibile variare le unità correnti: automaticamente il programma aggiorna i valori delle grandezze sulla base del riferimento iniziale (con ovvio significato dei comandi si variano le unità di lunghezza, forza, tempo e temperatura). Da quel momento in poi, tutte le grandezze date al programma e da esso presentate saranno espresse nelle unità di misura correnti.

E' altresì vero che ogni informazione fornita dal programma su file, è coerente con le unità di misura attive al momento della creazione del file.

La scelta della unità di misura è comune a tutte le viste attive del documento aperto.

## 2.6 Cambiare la vista

### COME CAMBIARE LA VISTA

Per cambiamento di vista si intende qui il fatto che dell'oggetto modellato si possono vedere parti diverse, da punti di vista diversi.

I comandi qui descritti si trovano tutti nel menù Disegna.

#### Cambiamento del punto di vista

Il modello può innanzi tutto essere guardato da punti di vista differenti. Alcuni di questi punti di vista sono standard, mentre altri sono del tutto particolari. In Sargon i punti di vista standard sono ottenibili con il comando [Vista Standard](#)<sup>[746]</sup>. Sono standard le sei proiezioni ortogonali più la assonometria isometrica.

Sotto un aspetto matematico ogni vista è identificata da un versore, che dà la direzione della congiungente il punto di vista con l'origine. Il comando [Rimappa](#)<sup>[747]</sup> Dà un modo molto semplice per scegliere un punto di vista diverso: basta un unico click del mouse. Se il vettore della vista è perpendicolare ad un piano che passa per tre punti, è possibile usare il comando [Tre Punti](#)<sup>[749]</sup>. Questo comando viene utile per guardare bene la falda di un tetto a un piano comunque inclinato.

#### Ingrandimento e rimpicciolimento

Finita una vista si può scegliere di vedere l'intero modello, oppure una parte di esso. Non appena la vista viene cambiata con uno dei comandi precedenti, il modello viene visto nella sua interezza, sfruttando al meglio la finestra a disposizione. Per vedere un dettaglio della struttura, e quindi per ingrandire, si può usare il comando [Zoom In](#)<sup>[744]</sup>, mentre per rimpicciolire si può usare il comando [Zoom Out](#)<sup>[745]</sup>. Per tornare a vedere tutta la struttura in modo ottimizzato si può usare [Includi](#)<sup>[742]</sup>.

Un comando utile è [Ultimo Zoom](#)<sup>[746]</sup>, che riporta all'ultimo zoom eseguito.

### Traslazione

Il riquadro di vista può essere spostato mediante un vettore tramite il comando [Pan](#)<sup>[742]</sup>.

### Viste Utente

Può essere utile, talvolta, memorizzare e richiamare delle viste particolarmente significative. Sargon consente di memorizzare sino a 4. Il comando per memorizzare una vista è [Definisci vista](#)<sup>[751]</sup>, mentre quello per richiamare una vista precedentemente memorizzata è [Vista utente](#)<sup>[751]</sup>.

### Traslazione

Per traslazione di una vista si intende il fatto che il riquadro della vista venga spostato nel suo piano. In Sargon ciò si fa con le barre di scorrimento, orizzontalmente e verticale. La traslazione della vista è utile per vedere dettagli limitrofi alla zona di interesse.

### Estrazione

Per estrazione si intende la possibilità di guardare solo una parte del modello. Questa possibilità è utile allorchè si debba lavorare su modelli complessi.

In Sargon l'estrazione avviene selezionando gli elementi che si desidera guardare sul serbatoio estrai, eppoi dando il comando [Estrai](#)<sup>750</sup>. Esistono due stati possibili: estrai e non estrai, segnalati da un opportuno segno di spunta. Se estrai è inattivo si vedranno tutti gli elementi. Se estrai è attivo si vedranno solo gli elementi selezionati nel serbatoio estrai. Per la selezione nel serbatoio estrai si vede il comando [Serbatoio...](#)<sup>764</sup>.

## 2.7 Selezionare

### SELEZIONARE

[Generalità](#)<sup>159</sup>

[Strumenti di Selezione](#)<sup>161</sup>

[Filtri di Selezione](#)<sup>162</sup>

[Modalità di Selezione](#)<sup>162</sup>

[Operazione di Selezione](#)<sup>162</sup>

[Esempi](#)<sup>163</sup>

[Serbatoi di Selezione](#)<sup>165</sup>

### 2.7.1 Generalità

#### GENERALITÀ

La selezione è una delle operazioni più frequenti nell'uso di Sargon poichè in generale vale la regola che una operazione si applica alle sole entità selezionate.

Sargon è dotato di un ampio insieme di comandi dedicati alla selezione, e ciò con lo scopo di rendere agevole la selezione degli oggetti desiderati anche in presenza di strutture complesse, aventi migliaia di entità.

Da un punto di vista grafico è sempre immediatamente comprensibile quali siano gli oggetti selezionati: i nodi sono illuminati da un quadrato giallo, le aste assumono un colore blu scuro, i superelementi verde scuro, gli elementi bidimensionali, anch'essi, un colore blu scuro.

Spesso avviene di dover deselezionare gli oggetti precedentemente selezionati; in questo caso l'avvenuta deselezionazione viene rappresentata, nel caso dei nodi, mostrando di colore magenta il quadratino che prima era giallo; nel caso di aste disegnando color oro le aste che prima erano blu; nel caso di piastre e membrane con una retinatina particolare.

Tutti i colori menzionati sino ad ora sono colori di default, l'utente può modificarli a suo piacimento. Questi colori sono ottimizzati con un background nero (per la modifica dei colori si veda il comando [Colori](#)<sup>[700]</sup>).

In Sargon la selezione è una caratteristica del documento, non della vista. Pertanto se sono aperte più finestre, la selezione di un oggetto usando una delle finestre comporterà la notifica immediata alle altre finestre.

Sargon mette a disposizione dell'utente vari comandi per selezionare. Essi sono raggruppati nel menu Edit-Selezione.

In sintesi si può dire che Sargon seleziona gli oggetti in questo modo (fa eccezione la selezione per nome):

- 1- L'utente sceglie se vuole selezionare nodi, oppure travi o bielle, oppure piastre o membrane, oppure molle, oppure superelementi ([Oggetti](#)<sup>[763]</sup>)
- 2- L'utente indica degli oggetti con uno degli [strumenti di selezione](#)<sup>[161]</sup>
- 3- Gli oggetti indicati (*catturati*) che soddisfano il [filtro di selezione](#)<sup>[162]</sup> sono *candidati* alla selezione. L'insieme di tutti gli oggetti è così suddiviso in oggetti *candidati* (ovvero catturati soddisfacenti il filtro) e *non candidati* (tutti gli altri).
- 4- A seconda del [modo di selezione](#)<sup>[162]</sup> scelto, l'[operazione di selezione](#)<sup>[162]</sup> verrà applicata ai candidati (modalità autoriferimento) o ai non candidati (modalità complemento)

Per selezionare gli oggetti sulla base del loro nome, indipendentemente da altri filtri, è inoltre disponibile il comando [Nome](#)<sup>[760]</sup>.

Benchè complesso, il funzionamento di Sargon relativamente alle selezioni è in molto logico. In pratica esso generalizza le tipiche operazioni di selezione dei CAD ai quali siamo abituati, che diventano così un sottoinsieme delle possibili modalità di funzionamento di Sargon.

Il default su cui Sargon è programmato:

**Operazione:** cambia

**Modalità:** autoreferenziale

sposa per l'appunto il funzionamento più comune. Con queste scelte, se si clicca su un nodo esso viene selezionato, se si riclicca sullo stesso nodo esso viene deselezionato (ovvero il suo stato viene cambiato).

L'utente di Sargon deve leggere attentamente e impratichirsi dei comandi di selezione, se vuole usare il programma efficacemente.

Supponiamo di aver selezionato un certo gruppo di oggetti e di aver temporaneamente bisogno di selezionare qualcosa d'altro.

Se selezioniamo qualcosa d'altro perdiamo la selezione attuale. Per evitare di perdere la selezione possiamo usare i [serbatoi di selezione](#)<sup>[165]</sup>. Possiamo cioè selezionare oggetti in serbatoi diversi (3 diversi serbatoi) e passare da un serbatoio all'altro.

## 2.7.2 Strumenti di Selezione

### STRUMENTI DI SELEZIONE

Gli strumenti di selezione sono: il [Click](#)<sup>[758]</sup>, il [Box](#)<sup>[759]</sup> la [Poligonale](#)<sup>[759]</sup>.

**Click** cattura un'entità per volta ma può essere ripetuta a volontà sinchè non si esce dal comando.

**Box** cattura le entità la cui immagine è contenuta in un rettangolo descritto dall'utente.

**Poligonale** cattura le entità la cui immagine è contenuta in una poligonale descritta dall'utente.

Oltre a questi strumenti sono disponibili i comandi [Tutti](#)<sup>[757]</sup>, che seleziona tutti gli oggetti della struttura soddisfacenti il filtro, e [Nessuno](#)<sup>[757]</sup> che deseleziona tutti gli oggetti: Questi ultimi due comandi non dipendono dalla modalità o dalla operazione di selezione attive.

Il comando [Nome](#)<sup>[760]</sup> consente di selezionare tutti gli oggetti che hanno un nome che sposa la stringa di ricerca specificata dall'utente. In questo caso i filtri di selezione non vengono impiegati.

### 2.7.3 Filtri di Selezione

#### FILTRI DI SELEZIONE

I filtri di selezione sono importanti in quanto fanno passare dagli oggetti catturati a quelli candidati (cfr. [Generalità](#)<sup>159</sup>)

I filtri vengono stabiliti con il comando [Filtro...](#)<sup>765</sup>.

I filtri riguardano il numero di materiale o proprietà, il tipo, il serbatoio di selezione (candida solo gli oggetti già selezionati nel serbatoio scelto nel filtro), l'attribuzione delle proprietà e la lunghezza.

### 2.7.4 Modalità di Selezione

#### MODALITÀ DI SELEZIONE

Le modalità di selezione vengono decise con il comando [Filtro](#)<sup>765</sup>.

Le modalità sono tre:

- \* autoreferenziale
- \* complemento
- \* forza

Nella **modalità autoreferenziale** l'[operazione](#)<sup>162</sup> si applica ai soli oggetti candidati, cioè agli oggetti catturati che soddisfano il filtro.

Nella **modalità complemento** l'operazione si applica solo a tutti gli oggetti non candidati (ovvero agli oggetti non catturati o catturati non soddisfacenti il filtro).

Nella **modalità forza** si applica l'operazione ai candidati e l'operazione contraria ai non candidati.

### 2.7.5 Operazione di Selezione

#### OPERAZIONI DI SELEZIONE



Le operazioni di selezione possibili sono tre: seleziona, deseleziona, cambia.

- \* **Seleziona**: attiva la selezione
- \* **Deseleziona**: disattiva la selezione
- \* **Cambia**: seleziona se trova deselezionato, deseleziona se trova selezionato.

Queste operazioni hanno delle operazioni contrarie, definite dalla seguente tabella:

OPERAZIONE	OPERAZIONE CONTRARIA
Seleziona	Deseleziona
Deseleziona	Seleziona
Cambia	Invariato

La tabella delle operazioni contrarie serve quando si usa la [modalità forza](#)<sup>[162]</sup>.

## 2.7.6 Esempi

### ESEMPI SULLA SELEZIONE

Nei seguenti primi esempi si suppone che il filtro non sia attivato.

- a) Selezione di tutte le aste dopo aver scelto *travi e bielle*: [Tutti](#)<sup>[757]</sup>
- b) Selezione di tutti i nodi dopo aver scelto *nod*i: [Tutti](#)<sup>[757]</sup>
- c) Selezione di un'asta [Click](#)<sup>[758]</sup> dopo aver scelto *travi e bielle*.

In questo esempio si è supposto che l'[operazione](#)<sup>[162]</sup> fosse accendi e il [modo](#)<sup>[162]</sup> fosse autoreferenziale.

c1) Se il modo fosse complemento e l'[operazione](#)<sup>162</sup> accendi, nell'esempio c si selezionano tutte le aste tranne quella catturata con [Click](#)<sup>758</sup>.

c2) Se il modo fosse complemento e l'[operazione](#)<sup>162</sup> fosse spegni, nell'esempio c si deselectionano tutte le aste tranne quella catturata con [Click](#)<sup>758</sup> (che resta invariata).

c3) Se il modo fosse complemento e l'[operazione](#)<sup>162</sup> cambia, nell'esempio c l'asta catturata resterebbe con lo stato invariato, mentre tutte le altre passerebbero da accese a spente o da spente ad accese, a seconda della situazione corrente.

c4) Se il modo fosse forza e l'[operazione](#)<sup>162</sup> accendi, nell'esempio c l'asta catturata sarebbe accesa e tutte le altre sarebbero spente.

c5) Se il modo fosse forza e l'[operazione](#)<sup>162</sup> spegni, nell'esempio c l'asta catturata sarebbe spenta e tutte le altre sarebbero accese.

c6) Se il modo fosse forza e l'[operazione](#)<sup>162</sup> cambia, nell'esempio c l'asta catturata verrebbe accesa se era spenta, spenta se era accesa e tutte le altre resterebbero invariate.

**d) Esempio di applicazione dei filtri**

Si supponga di aver un po' di aste selezionate e un po' deselectionate. Si voglia con una sola operazione selezionare i controventi (bielle) d'una parete, perchè, per esempio, si vuole loro applicare un profilo, deselectionando al tempo stesso tutto il resto.

Occorre fare le seguenti cose:

**Scegliere come oggetti di selezione le travi e le bielle**

**Attivare un filtro sul tipo *bielle***

**Attivare il la modalità di selezione *forza***

**Attivare l'operazione di selezione *accendi*.**

Poi con un box di una vista dall'alto si seleziona la parete in questione. Verranno selezionate le sole bielle della parete deselectionando tutto il resto.

## 2.7.7 Serbatoi di Selezione

### SERBATOI DI SELEZIONE

Sono previsti tre serbatoi di selezione (1, 2, 3) entro i quali è possibile memorizzare un insieme di aste o nodi selezionati e richiamarli in qualunque momento. Ciò si fa con il comando [Serbatoio...](#)<sup>[764]</sup>.

Se si è in modalità estrai i serbatoi sono il serbatoio 11, 12, 13.

Una volta attivato il serbatoio desiderato, ogni successiva operazione di selezione avverrà in quel serbatoio, lasciando inalterato il contenuto degli altri.

## 2.8 Influire sul modo di rappresentare

### COME INFLUIRE SUL MODO DI RAPPRESENTARE

In un programma grafico come Sargon, i colori e i simboli grafici hanno un ruolo fondamentale perchè passano informazioni. Inoltre, ogni utente ha in generale preferenze diverse sul modo di rappresentare gli oggetti.

I comandi che influiscono sul modo di rappresentare sono nel menù Mostra.

I primi due comandi si riferiscono alle barre degli strumenti e alla barra di stato. Con questi comandi si decide se vedere o meno tali barre.

Il comando [Assi di riferimento](#)<sup>[693]</sup> influisce sul modo di rappresentare gli assi di riferimento.

Il comando [Oggetti](#)<sup>[695]</sup> consente di decidere quali oggetti verranno mostrati a schermo (ivi incluse le numerazioni, le etichette, i nomi, i dati numerici).

Il comando [Dimensioni](#)<sup>[699]</sup> consente di variare la dimensione con cui vengono rappresentati gli oggetti.

Il comando [Colori](#)<sup>[700]</sup> consente di variare il colore degli oggetti.

Il comando [Elementi](#)<sup>[701]</sup> consente di stabilire il significato da associare alla colorazione degli elementi (il colore può rappresentare il tipo, la sezione, il materiale, ecc.). Esso consente

inoltre di stabilire il modo di disegnare gli elementi bidimensionali (se riempirli o no) e se i superelementi debbano essere visibili.

Il comando [Font](#)<sup>702</sup> varia la dimensione il colore e il tipo dei font usati per varie cose (numerazioni, etichette, ecc.).

Il comando [Orientazione](#)<sup>704</sup> pilota la rappresentazione della orientazione della terna locale degli elementi. E' anche possibile rappresentare il disegno della sezione.

Il comando [Associa Colore](#)<sup>705</sup> associa un colore agli elementi selezionati.

## 2.9 Gestire vincoli e svincoli

### COME GESTIRE VINCOLI SVINCOLI E CEDIMENTI

[Come attribuire vincoli fissi](#)<sup>166</sup>

[Come attribuire svincoli e nodi semirigidi](#)<sup>167</sup>

[Come applicare molle](#)<sup>167</sup>

[Come applicare cedimenti](#)<sup>168</sup>

Per **vincoli fissi** si intendono i vincoli dei nodi che comportano la nullità del corrispondente grado di libertà (i cosiddetti “vincoli a terra”).

Per **svincoli** si intendono le totali o parziali sconnessioni degli estremi degli elementi trave rispetto ai loro nodi.

Per **molle** si intendono elementi che, al pari delle bielle, sono dotati solo di una rigidezza assiale.

Per **cedimenti** si intendono gli spostamenti assegnati a certi nodi in certi casi di carico.

### 2.9.1 Come attribuire vincoli fissi

#### COME ATTRIBUIRE VINCOLI FISSI

In Sargon l'attribuzione di vincoli fissi avviene dapprima selezionando i nodi che interessa vincolare, poi con il comando [Vincoli sui nodi...](#)<sup>[1021]</sup> del menù Edit-Vincoli.

Se il comando viene eseguito più volte su uno stesso nodo, i vincoli cambieranno di conseguenza. Per eliminare del tutto i vincoli occorre applicare il vincolo nullo.

## 2.9.2 Come attribuire svincoli

### COME ATTRIBUIRE SVINCOLI

L'attribuzione degli svincoli avviene con il comando [Svincoli sulle travi](#)<sup>[1024]</sup> del menù Edit-Vincoli.

Per svincolo si intende sia uno svincolo completo che parziale.

Se lo svincolo è completo non v'è alcuna connessione tra l'estremo della trave e il suo nodo di riferimento. Se lo svincolo è parziale vi è una connessione parziale, creata con l'interposizione di una molla (nodo semirigido). Gli svincoli possono essere applicati esclusivamente agli elementi trave.

## 2.9.3 Come applicare molle

### COME APPLICARE MOLLE

Le molle possono essere applicate con il comando [Aggiungi](#)<sup>[841]</sup> del menù Mesh-Molle, oppure con il comando [Winkler](#)<sup>[846]</sup> dello stesso menù.

La cancellazione delle molle selezionate avviene con il comando [Cancella](#)<sup>[845]</sup>.

Il comando [Winkler](#)<sup>[846]</sup> serve ad aggiungere molle la cui costante di rigidezza viene valutata a partire dalla costante di Winkler.

Scelta una fila di nodi il programma applica su ciascun nodo una molla avente una rigidezza proporzionale al dominio di influenza di ciascun nodo ed alla costante di Winkler specificata.

Le molle alla Winkler possono anche essere applicate su nodi aventi una certa superficie di influenza. In tal caso occorrerà specificare due file di nodi, che definiscono una superficie.

Le molle alla Winkler su linee di influenza si applicano per le travi rovesce di fondazione; quelle su una superficie tipicamente per platee di fondazione.

## 2.9.4 Come applicare i cedimenti

### COME APPLICARE CEDIMENTI

I cedimenti vengono applicati a certi nodi in certe condizioni di carico. Ad ogni cedimento corrisponde una molla molto rigida che funziona in tutti i casi di carico. Nel caso di carico corrispondente al cedimento viene inoltre aggiunta, in fase di solving, una forza fittizia valutata come  $F = k u$ , ove  $k$  è la rigidezza elevata ed  $u$  il cedimento.

Il comando da impiegare per assegnare i cedimenti è [Aggiungi](#)<sup>1027</sup> del menù Edit-Azioni.

I cedimenti vengono applicati ai nodi selezionati.

## 2.10 Gestire le azioni

### COME GESTIRE LE AZIONI

[Casi di carico](#)<sup>169</sup>

[Combinazioni di carico](#)<sup>170</sup>

[Azioni](#)<sup>172</sup>

La gestione delle azioni applicate sulla struttura si fa aggiungendo i casi di carico e le combinazioni di carico. Le combinazioni di carico esprimono situazioni di carico ottenute combinando linearmente i casi di carico. In campo elastico lineare la risposta strutturale è parimenti una combinazione lineare delle risposte ai casi di carico base.

Ogni caso di carico base raggruppa un certo numero di azioni che in generale si suppongono agire contemporaneamente sulla struttura. Il significato fisico di queste azioni è coerente: il caso di carico rappresenta il vento, il sisma o i carichi permanenti.

Le azioni vengono aggiunte a un certo caso di carico base. Pertanto in generale prima si aggiunge un caso, poi le sue azioni. Una volta definiti tutti i casi di carico si aggiungono le combinazioni.

### 2.10.1 Casi di carico (Dialogo)

#### CASI DI CARICO

Il gruppo di comandi che gestisce i casi di carico si trova sul menù Edit-Casi. L'aggiunta di casi di carico si fa con il comando [Aggiungi](#)<sup>[1069]</sup>, la modifica delle etichette e dei nomi dei casi di carico si fa con il comando [Modifica](#)<sup>[1074]</sup>. E' possibile azzerare il contenuto di un caso di carico senza eliminarlo: il comando è [Azzerà](#)<sup>[1075]</sup>.

Ad un certo caso di carico è possibile sommare un altro caso di carico moltiplicato per un fattore scelto dall'utente. Ciò si fa con il comando [Somma](#)<sup>[1075]</sup>.

Se le azioni di un caso di carico sono tutte parallele (ad esempio tutte verticali) è possibile moltiplicarle per un certo fattore e contemporaneamente mutare loro di direzione; ciò si fa con il comando [Somma XYZ](#)<sup>[1076]</sup>. Questo comando è utile per generale le forze statiche equivalenti in un'analisi sismica.

Per posizionarsi in un nuovo caso di carico è sufficiente selezionarlo nella lista presentata con il comando [Modifica](#)<sup>[1074]</sup> o con il comando [Casi](#)<sup>[733]</sup> del menù Interroga. E' altresì possibile spostarsi da un caso di carico al precedente o al successivo con i comandi [Successivo](#)<sup>[1078]</sup> e [Precedente](#)<sup>[1078]</sup>.

Per cancellare un caso di carico si usa il comando [Modifica](#)<sup>[1074]</sup>.

Ad ogni caso di carico è associato un nome ed un'etichetta.

L'etichetta serve per le verifiche, in quanto casi di carico aventi una natura diversa vengono trattati in modo diverso.

## 2.10.2 Combinazioni di carico (Dialogo)

### COMBINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni di carico servono ai fini delle verifiche, per le quali sono anzi indispensabili. Ogni combinazione di carico è definita da un nome e da una serie di moltiplicatori, tanti quanti sono i casi di carico. Come per i casi di carico, le combinazioni si possono aggiungere cancellare o modificare. I comandi sono nel menu Edit-Combinazioni.

Il posizionamento su una combinazione di carico avviene selezionando la combinazione d'interesse nella lista presentata dai comandi [Modifica](#)<sup>[1093]</sup> e [Combinazioni](#)<sup>[735]</sup> del menù Interroga.

-----

### COME GESTIRE GLI INSIEMI DI COMBINAZIONI (COMBISET)

La necessità di disporre di diversi insiemi di combinazioni da utilizzare per scopi differenti, come ad esempio le verifiche agli stati limite ultimi GEO anziché STR, o le verifiche agli stati limite di esercizio, costringeva ad impiegare diverse copie dello stesso modello o a cancellare le combinazioni precedentemente definite per definirne di nuove. Per ovviare a questo inconveniente, a partire dalla versione 9.35 Sargon dispone di sei insiemi diversi di combinazioni, che possono essere attivate all'occorrenza.

In pratica tutti i comandi di aggiunta delle combinazioni, interrogazione delle combinazioni, cancellazione delle combinazioni, o rappresentazione degli involuipi, si riferiscono all'insieme di combinazioni attivo. Un insieme di combinazioni (o brevemente *combiset*) si rende attivo mediante il comando [Edit-Combinazioni-Modifica Insiemi](#)<sup>[1079]</sup>. Tale comando consente:

- di selezionare l'insieme di combinazioni che sarà attivo d'ora in avanti;
- di attribuire una sigla identificativa di al massimo sette lettere a ciascun combiset.



La sigla identificativa non deve essere duplicata, ovvero ciascun combiset deve avere una sua sigla. Essa è importante perché distingue un combiset dall'altro, non solo nell'interfaccia, ma anche, come vedremo tra poco, nei file di output creati dal programma. Esempi tipici di nomi di combiset potrebbero essere i seguenti:

- SLU-STR
- SLU-GEO
- SLE-SLO
- SLE-SLD
- SLU-SLV
- SLU-SLC
- C1
- C2
- .....

All'interno dell'interfaccia del programma il combiset attivo è riportato nella barra di stato della finestra principale.

Tutti i normali comandi che implicano l'uso delle combinazioni si riferiscono al combiset attivo.

Nei riguardi delle verifiche e dei tabulati, nonché dell'interfacciamento verso programmi esterni (come CSE o RCSTUDIO), vale la regola che il set di combinazioni esportato sarà quello attivo al momento della esecuzione del comando.

E' dunque possibile eseguire le verifiche con uno stesso verificatore ma con combiset differenti. Per evitare che ad ogni successiva esecuzione i file vengano sovrascritti, a partire dalla versione 9.35 le regole che presiedono alla creazione dei file di output sono cambiate, per l'aggiunta in coda al nome, e prima della estensione, della stringa ".XXX" dove "XXX" è la sigla identificativa del combiset.

Pertanto al termine della esecuzione ad esempio delle verifiche secondo l'EC3, non si troverà il file binario "modello.eur", bensì il file binario "modello.XXX.eur". Sarà dunque possibile vedere i risultati delle verifiche con un combiset e poi con un altro (alternando l'uno

all'altro mediante click del mouse sul riquadro dedicato della barra di stato). Non è possibile vedere *contemporaneamente* sullo stesso modello verifiche fatte con due combiset differenti, in quanto il combiset corrente è una proprietà del *documento* e non della sua *vista* corrente (ciò appunto per la compatibilità con i programmi esterni).

Alla creazione del tabulato, non verrà creato, ed esempio in italiano, il file "modello.EIT", bensì il file "modello.XXX.EIT", ciò vuol dire che sarà possibile avere tabulati differenti riferentisi a combiset differenti. Oltre che nel nome del file, l'uso di un certo combiset è riepilogato anche all'interno del file stesso mediante la scritta ad esempio seguente ("XXX" = "TUT2"):

Modello ---> D:\ANALISI\935\C 03
Insieme di combinazioni: TUT2
Data: 22/10/2009 - Ora: 10:13:22

Tutte le informazioni che dipendono dalle combinazioni, all'interno del tabulato, incluse naturalmente le verifiche, sono associate al combiset attivo.

L'utente che non faccia nulla in merito ai combiset, o che importi un modello già fatto con le versioni precedenti, si ritroverà per default attivo il primo combiset, al quale sarà dato il nome "CS1".

Si sottolinea nuovamente che tutti i comandi di gestione delle combinazioni si riferiscono al combiset attivo. Sarà quindi in particolare possibile eseguire più volte il comando di generazione automatica delle combinazioni, *su combiset differenti*, avendo quindi diversi insiemi di combinazioni con cui lavorare.

### 2.10.3 Azioni (Dialogo)

#### AZIONI

Le azioni vengono associate al caso di carico correntemente attivo. Vale la regola che le azioni vengono applicate ai nodi ed agli elementi selezionati nel momento in cui viene eseguito il comando [Aggiungi](#)<sup>[1027]</sup>. Con questo comando è possibile aggiungere direttamente, sulle entità selezionate, forze o coppie nodali, forze o coppie uniformemente distribuite, concentrate o linearmente distribuite, carichi termici e, infine, cedimenti.

Il comando [Canc Sel](#)<sup>[1034]</sup> cancella le azioni applicate sulle entità selezionate al momento della esecuzione del comando.

Il comando [Gravità](#)<sup>[1038]</sup> aggiunge le azioni corrispondenti alla forza di gravità degli elementi selezionati al caso di carico corrente.

Il comando [Regione](#)<sup>[1034]</sup> consente di aggiungere carichi a regione. Essi vengono applicati ai nodi della struttura che definiscono una regione, sia essa una linea o una superficie.

Per regione si intende una parte di una linea o una parte di una superficie. La linea o la superficie devono essere ricostruite sulla base delle coordinate dei nodi che su di essa giacciono. Per fare questo è necessario ipotizzare che la linea o la superficie posseggano certi requisiti di regolarità.

Nel caso della linea, l'utente dà una poligonale all'interno della quale si trovano tutti e soli i nodi appartenenti alla linea stessa. Il programma sceglie i due nodi più distanti, poi ordina i nodi in modo da enumerare tutti i nodi scelti a partire dal primo nodo per finire all'ultimo. Una volta ordinati i nodi è possibile assegnare a ciascuno una lunghezza di pertinenza prendendo ciascuno dei due segmenti uscenti dal nodo (al limite uno) e dividendoli per due.

Si abbia ad esempio una linea definita da una successione di nodi, e si desideri applicare - su ciascun nodo - un carico proporzionale al tratto della linea di competenza di ciascun nodo. Per fare questo si definisce l'intensità del carico per unità di lunghezza e si racchiudono i nodi d'interesse all'interno di una poligonale. Il programma calcola automaticamente la parte di linea competente a ciascun nodo e aggiunge una forza su ognuno dei nodi scelti. Se  $p_x, p_y, p_z$  è il vettore delle tre intensità e  $I, J, K$  sono tre nodi consecutivi, sul nodo  $J$  verrà applicata la forza  $0.5(IJ + JK)(p_x, p_y, p_z)$

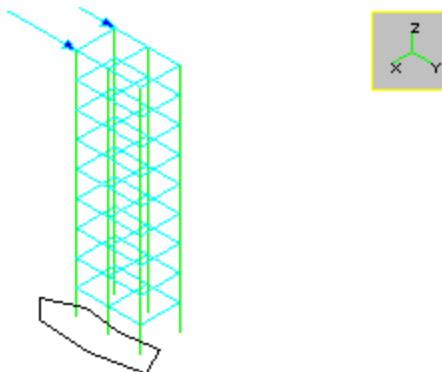
Nel caso della superficie è possibile usare due modalità.

Nella prima modalità la superficie è individuata da due file di nodi che fungono da “riga” e “colonna” di una scacchiera ideale. La linea non deve necessariamente essere retta. Le due linee identificate dai nodi, identificati dalle due poligoni specificate dall’utente, devono avere un nodo in comune. I nodi mancanti vengono ricostruiti impiegando le due linee di nodi fornite (vedi l’esempio più avanti). Il programma cerca i nodi nelle posizioni attese e, se li trova, assegna loro il carico pertinente. Se invece non trova il nodo che si aspetta di trovare, segnala “c’è un buco nella mesh” e procede oltre. Sia O il nodo in comune tra le file di nodi, I il contatore sulla prima linea e J il contatore sulla seconda linea. Sian inoltre PI il punto P sulla prima linea corrispondente al contatore I e PJ il nodo sulla seconda linea corrispondente al contatore J. Il generico punto PIJ è trovato come

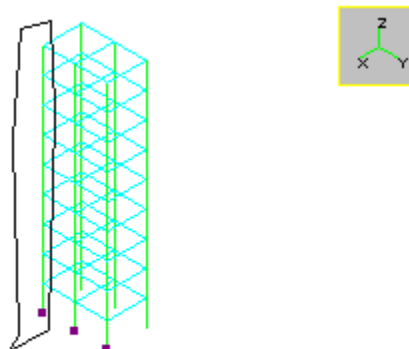
$$PIJ = (PI-O) + (PJ-O)$$

I nodi della superficie sono generati dal movimento di una curva sull'altra.

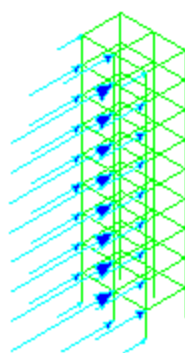
Esempio 1:



**Selezione dei nodi della prima curva**

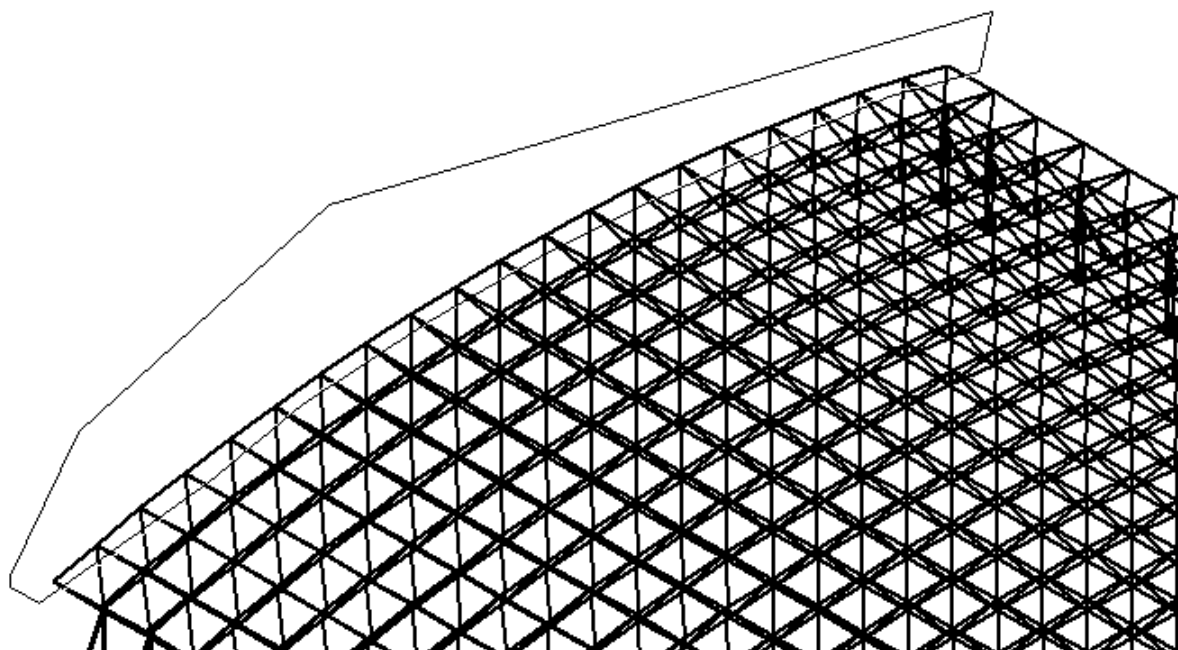


**Selezione dei nodi della seconda curva**

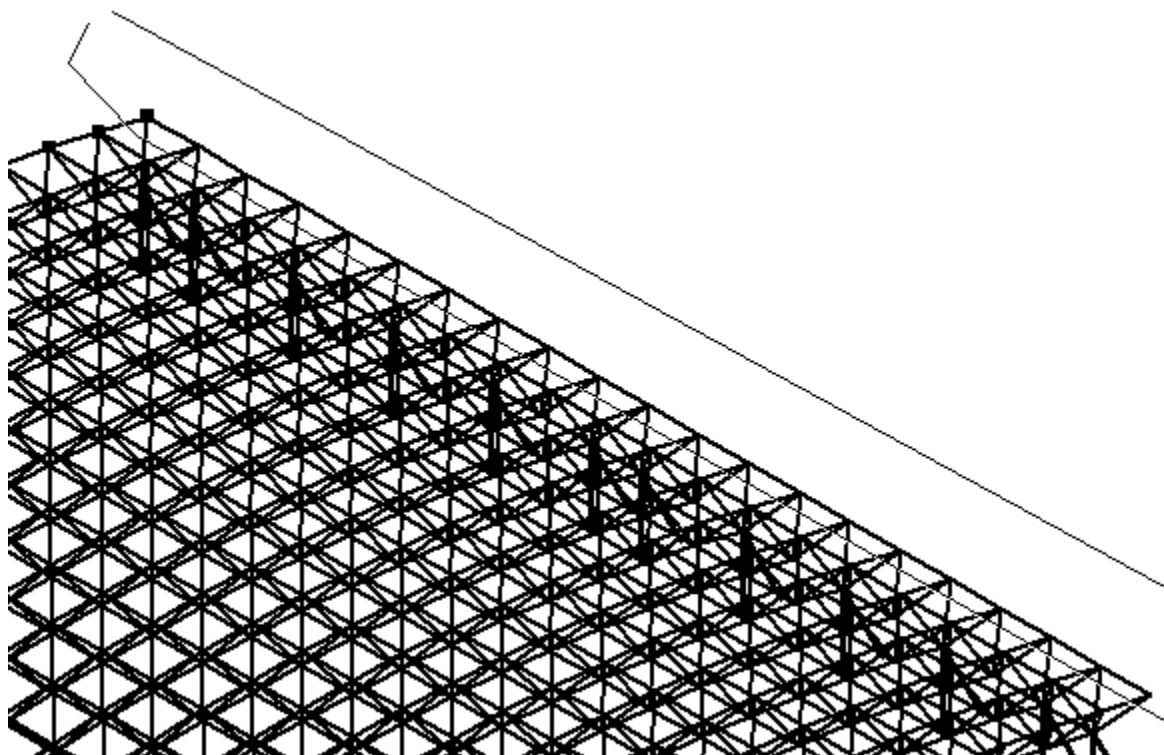


**Effetto risultante**

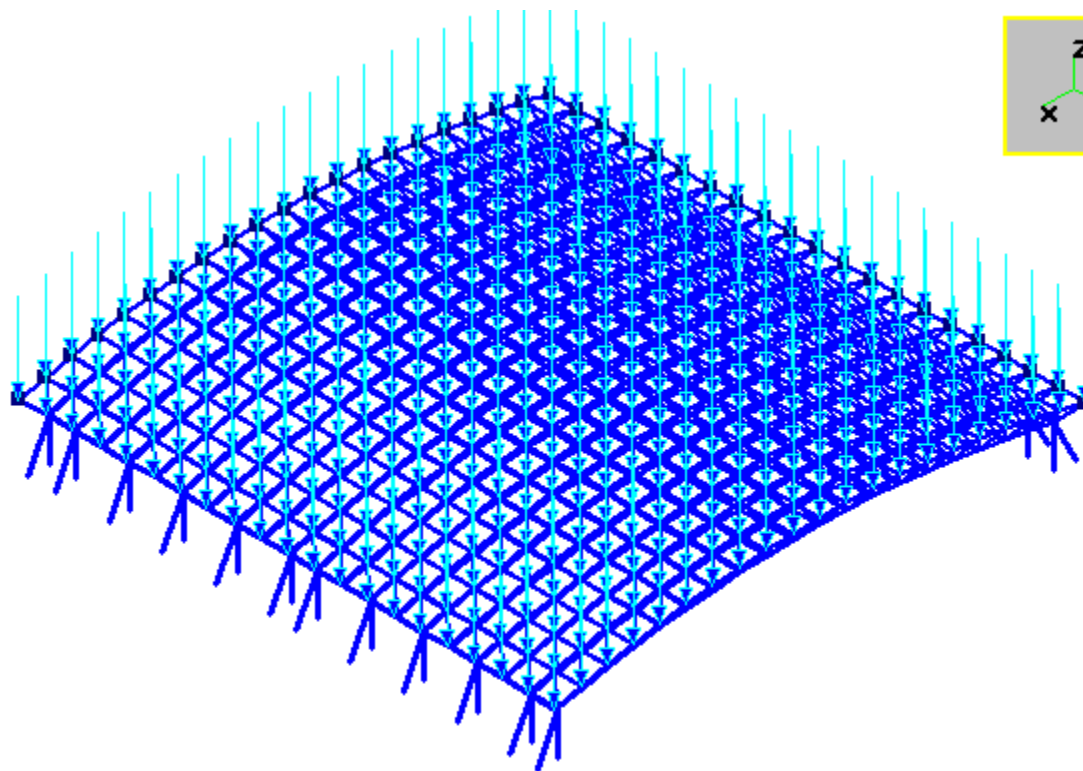
Esempio 2:



**Selezione dei nodi della prima curva**



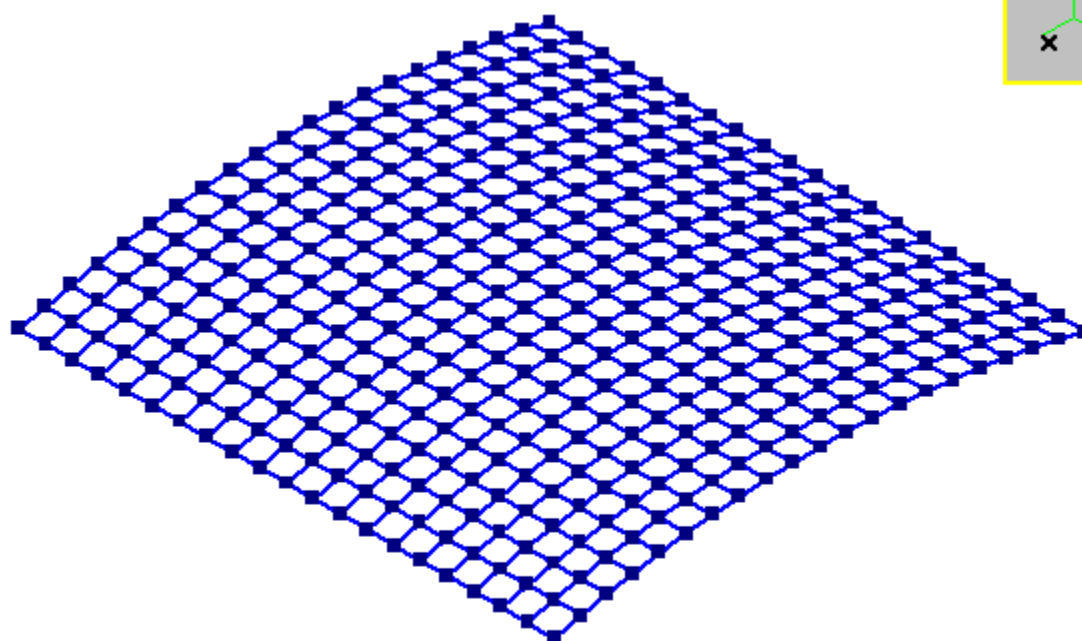
Selezione dei nodi della seconda curva



### Effetto risultante

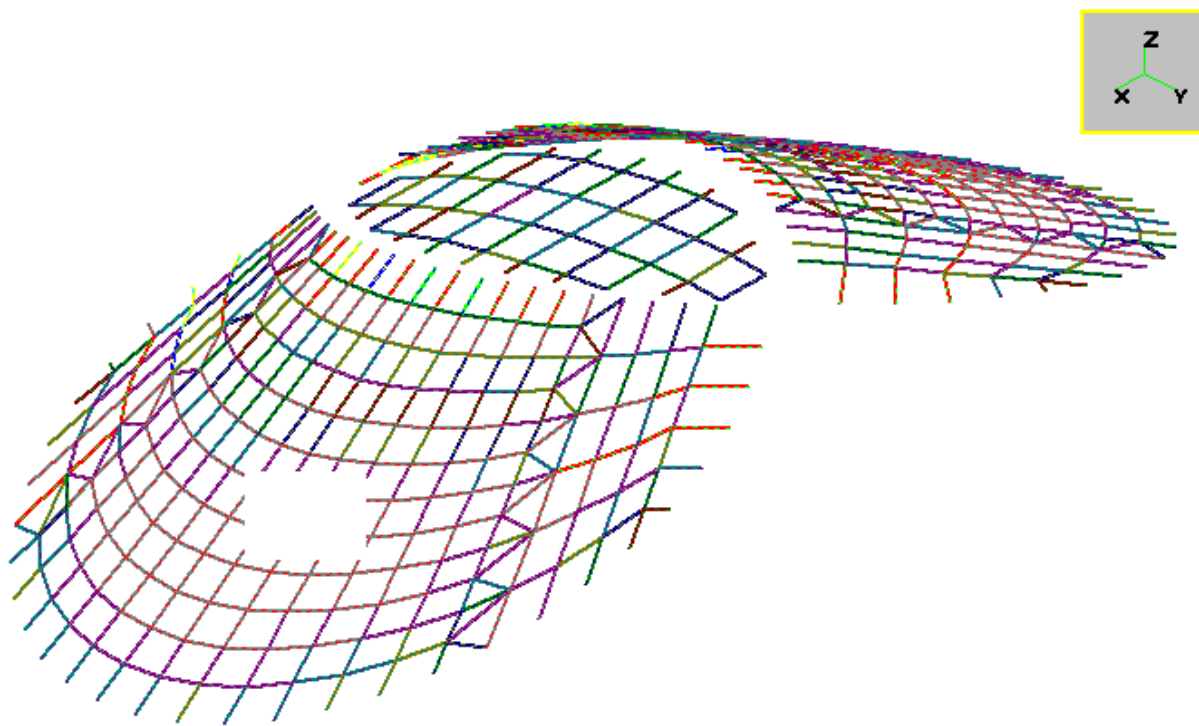
Nella seconda modalità la superficie di pertinenza di ciascun nodo viene ricostruita sulla base degli elementi trave e/o biella selezionati e collegati a quel nodo. La selezione è necessaria per poter scegliere quali elementi impiegare per ricostruire il luogo localmente. Tipicamente su un nodo selezionato si avranno quattro elementi uscenti, uno in una direzione, uno in una direzione grosso modo ortogonale. I quattro elementi definiscono quattro “facce” che consentono di ricostruire l’andamento della superficie desiderata intorno al nodo. Questa modalità evita di dover definire spline o superfici complesse. Le forze vengono applicate solo sui nodi selezionati. Per ogni nodo selezionato vengono cercati gli elementi trave e biella selezionati e connessi a quel nodo. L’insieme di tutti gli elementi uscenti dal nodo viene ordinato e così si ricostruisce una superficie uscente dal nodo. Da tale superficie si ricava la misura dell’area e la direzione della normale, necessarie per applicare questo o quel carico.

Esempio 3:



**I nodi selezionati e le aste uscenti, selezionate anch’esse. Da ogni nodo escono 4 o 2 elementi, sufficienti a ricostruire l’andamento della superficie intorno a ogni nodo (solo il livello superiore dell’ordito è visibile).**

Esempio 4:



**Esempio di superficie a doppia curvatura alla quale applicare il comando. Occorrerà selezionare tutti i nodi e gli elementi (solo il livello superiore dell'ordito è visibile). Qui non è possibile ragionare su scacchiere.**

Il comando [Solaio](#)<sup>[1038]</sup> viene impiegato per dare rapidamente carichi uniformemente distribuiti ad un insieme di travi (il comando è tipicamente usato per i solai).

Il comando [Sisma](#)<sup>[1040]</sup> è usato per generare automaticamente le forze sismiche statiche equivalenti, secondo quanto previsto da diverse normative.

Il comando [Vento su bt](#)<sup>[1043]</sup> viene usato per generare dei carichi uniformemente distribuiti (per le travi) o forze nodali (per le bielle) equivalenti al carico agente sull'elemento a causa di una pressione dovuta al vento avente una certa direzione. Questo comando consente di valutare rapidamente l'effetto del vento su una struttura (si pensi ai tralicci).

Il comando [Da reazioni](#)<sup>[1068]</sup> è utile per prendere le reazioni vincolari o le reazioni delle molle di un altro modello, e applicarle con il segno cambiato come forze nodali al modello esistente. Tale funzionalità è specialmente utile se si vuole studiare un complesso insieme




strutturale mediante due distinti modelli, in modo che le reazioni vincolari del primo, col segno cambiato, diventino le azioni applicate sul secondo.

## 2.11 Gestire gli archivi

### COME GESTIRE GLI ARCHIVI


In Sargon sono presenti due archivi: l'archivio delle sezioni (circa 15000 profili disponibili online) e l'archivio dei materiali. Entrambi sono contenuti nel file binario SARGON.SMA contenuto nella cartella di installazione del programma.

In pratica la gestione degli archivi viene demandata ad un modulo esterno a Sargon, denominato **SAMBA**, il quale consente sia di aggiungere che di cancellare materiali e sezioni. Si rimanda all'help di SAMBA per tutti i chiarimenti del caso.

Questi archivi possono essere mantenuti dall'utente con il comando [Archivi](#)  del menù Edit-Proprietà, che lancia SAMBA facendogli aprire direttamente SARGON.SMA.

L'uso degli archivi consente di usare qualsiasi tipo di materiale o di sezione sul modello ad elementi finiti.

### AGGIUNTA E CANCELLAZIONE DI PROFILI E MATERIALI

A questa parte del programma si accede tramite il comando [Archivi](#) . Con tale comando si accede a SAMBA, il programma preposto al compito di modificare, aggiornandolo, l'archivio delle sezioni e dei materiali. Si rimanda all'help di SAMBA per ogni chiarimento sul suo funzionamento.

Si rimarca il fatto che possono essere aggiunti materiali qualunque, anche non metallici. Tale scelta avrà delle ricadute sulle verifiche (non saranno applicabili quelle eseguite con le norme per i materiali metallici) ma consentirà la creazione di modelli misti.

## 2.12 Assegnare materiali sezioni e proprietà

### COME ASSEGNARE MATERIALI SEZIONI E PROPRIETÀ

L'attribuzione di sezioni agli elementi trave e biella, spessori agli elementi piastra e membrana, materiali agli elementi trave, biella, piastra e membrana, è un passaggio necessario ed indispensabile.

In Sargon le proprietà suddette vengono attribuite scegliendole da un archivio nel quale sono contenute. Ciò rende la procedura di assegnazione assai più sicura.

Ogni modello contiene un archivio con le sezioni, le proprietà ed i materiali attribuiti. Inizialmente questi archivi sono vuoti.

Su disco rigido, al momento della installazione, vengono creati due archivi: l'archivio delle sezioni e l'archivio dei materiali, entrambi ampliabili dall'utente ([Gestire gli archivi](#)<sup>[179]</sup>).

Al momento della attribuzione l'utente può decidere se scorrere gli archivi su disco rigido o quelli del modello. L'attribuzione si fa selezionando preventivamente gli elementi dei quali si desidera cambiare le proprietà. Se si vogliono attribuire sezioni si usa il comando [Sezioni](#)<sup>[883]</sup>. Se si vogliono attribuire le caratteristiche di piastre o membrane si usa il comando [Spessori](#)<sup>[1013]</sup>. Se si vuole attribuire il materiale si usa il comando [Materiale](#)<sup>[999]</sup>.

E' anche possibile modificare le quote di una sezione già assegnata (solo la sezione presente nel modello, non quella dell'archivio di cui questa è copia) senza passare dall'archivio: il comando si trova nel menu Edit-Proprietà ed è [Modifica Sezione](#)<sup>[998]</sup>.

Tutti questi comandi ad eccezione dell'ultimo si applicano agli elementi preventivamente selezionati.

Un modo alternativo per applicare le proprietà di sezione e materiale agli elementi trave e biella è il comando [Pick bt](#)<sup>[1019]</sup>. Per le piastre e le membrane si può usare l'analogo [Pick pm](#)<sup>[1019]</sup>.

I comandi di attribuzione vengono anche usati per scorrere gli archivi o per avere informazioni sui valori numerici corrispondenti alle caratteristiche applicate.

## 2.13 Avere informazioni sul modello

### COME AVERE INFORMAZIONI SUL MODELLO

In Sargon si possono avere informazioni sui contenuti del modello in vari modi: molte informazioni vengono date mediante simboli grafici appositamente preparati (molle, vincoli, svincoli, tipo delle azioni, ecc), tuttavia non è evidentemente possibile trasferire tutte le informazioni in questo modo.

Se si vogliono informazioni su singoli nodi, elementi finiti o superelementi ci sono dei comandi appositamente studiati. Essi si trovano nel menù Interroga :

[Nodi](#)<sup>[711]</sup>

[Travi](#)<sup>[713]</sup>

[Bielle](#)<sup>[718]</sup>

[Piastre](#)<sup>[720]</sup>

[Membrane](#)<sup>[722]</sup>

[Molle](#)<sup>[726]</sup>

[Superelementi](#)<sup>[728]</sup>

Ciascuno dei comandi precedenti dà tutte le informazioni contenute nella corrispondente struttura di dati.

Se si vogliono avere informazioni generali sul modello, come il numero dei vari oggetti, occorre usare il comando [Dati Generali](#)<sup>[710]</sup>.

Per conoscere la distanza tra due o più nodi è necessario usare il comando [Geometria](#)<sup>[711]</sup>.

Relativamente ai casi ed alle combinazioni ci sono i due comandi [Casi](#)<sup>[733]</sup>, e [Combinazioni](#)<sup>[735]</sup>. Il comando [Azioni](#)<sup>[730]</sup> serve invece per conoscere le azioni presenti su uno o più oggetti scelti dall'utente. Per conoscere le masse su un nodo si usa il comando [Nodi](#)<sup>[711]</sup>,

mentre per conoscere la risultante delle masse su un gruppo di nodi selezionati si usa il comando [Masse](#)<sup>732</sup>.

I comandi sotto il menu Interroga-Mostra Snellezze consentono di avere una mappa a colori tracciata sulla base delle snellezze delle aste (travi, bielle e superelementi).

Se si conosce il numero di un nodo o di un elemento, e si vuole sapere dov'è si usa il comando [Trova](#)<sup>740</sup>.

Un importante insieme di comandi si trova sotto il menu Interroga-Oggetti Selezionati. Questi comandi sono importanti perchè si riferiscono all'insieme degli oggetti selezionati al momento della esecuzione del comando, e quindi a gruppi di oggetti logicamente interconnessi.

In particolare è importante il comando [Azioni](#)<sup>738</sup> perchè consente di avere la risultante delle azioni applicate sugli oggetti selezionati (nodi ed elementi): con questo comando si possono tenere sotto controllo le azioni applicate controllandone la correttezza.

## 2.14 Gestire i nomi degli oggetti

### COME GESTIRE I NOMI DEGLI OGGETTI

Ciascun nodo o elemento (comprese le molle ed i superelementi) può ricevere un nome che lo identifica. La opportunità di introdurre i nomi per gli oggetti deriva da queste considerazioni.

Quando si creano delle macro istruzioni gli elementi possono essere individuati grazie al loro nome, che avrà un'attinenza con la loro posizione;

Quando si modifica una mesh della quale sono già stati fatti dei plottaggi non si modifica l'identificatore degli elementi, ma solo il loro numero. E' così possibile riferire l'output al nome anzichè al numero, e quindi facilitare le fasi successive del lavoro (non dover rifare tutti i plottaggi).

In fase di selezione impiegando i nomi ed il carattere "\*" è possibile selezionare con facilità insiemi di oggetti affini.

In nessun modo la gestione dei nomi è necessaria. Essa può invece costituire un aiuto in numerose occasioni.

Generalmente conviene assegnare i nomi agli elementi solo dopo aver completato il grosso della mesh: non è necessario assegnare i nomi *mentre* si aggiungono gli elementi. Una volta aggiunti gli elementi si vorrà dare un nome per esempio ai controventi, e allora si chiameranno i controventi "CONTR1", "CONTR2", eccetera, le colonne "COL1", "COL2", eccetera, e così via.

Il nome è un identificatore di 20 caratteri costituito da un prefisso alfanumerico ed un suffisso numerico. Il prefisso non deve finire con un numero.

Il comando da impiegare per assegnare il nome agli oggetti selezionati è [Modifica Nomi](#)<sup>[878]</sup>. Questo comando serve sia ad assegnare un nuovo nome, sia a modificare il nome esistente, sia, al limite, a cancellare il nome. In fase di attribuzione del nome agli oggetti sarà cura dell'utente evitare di attribuire dei nomi già precedentemente assegnati. Per fare questo è sufficiente diversificare i prefissi alfanumerici nel corso delle successive operazioni di assegnazione. Per esempio le colonne del primo piano potranno essere "COLPP\*", quelle del secondo piano "COLSP\*" e così via. Sta all'utente decidere il giusto compromesso tra la esigenza di diversificare i nomi e la esigenza di semplificare.

Una volta assegnati i nomi con una ragionevole suddivisione degli elementi è poi possibile sia selezionare in base al nome ([Nome](#)<sup>[760]</sup>), sia far vedere stampati i nomi degli oggetti ([Oggetti](#)<sup>[695]</sup>). Tutti i comandi di interrogazione sui singoli oggetti danno anche il nome.

Nel tabulato ([Crea Listato](#)<sup>[652]</sup>) è possibile introdurre una tabella di corrispondenza *Nome-Numero* e *Numero-Nome*, in grado di consentire il riconoscimento di ogni oggetto anche nel tabulato.

## 2.15 Gestire i gruppi

### COME GESTIRE I GRUPPI

Oltre al nome i nodi e gli elementi possono ricevere un numero di gruppo. Ogni modello nasce con 10 gruppi, ma il numero dei gruppi può essere aumentato in modo arbitrario. Ciascun gruppo si distingue dagli altri oltre che per il suo numero progressivo, anche per il colore che ad esso è associato e per una descrizione. Sia il colore che la descrizione possono essere fissati arbitrariamente dall'utente. Sia le operazioni di aggiunta di nuovi gruppi che quelle di modifica delle caratteristiche dei gruppi esistenti sono gestite dal comando [Gruppi](#)<sup>[1106]</sup>, nel menu Edit. La modifica del colore o della descrizione di un gruppo può essere fatta anche con il comando [Gruppo](#)<sup>[1016]</sup>, nel menu Edit-Proprietà, normalmente impiegato per assegnare gli oggetti selezionati ad un gruppo.

In Sargon il concetto di "gruppo" è molto generale. Possono far parte dello stesso gruppo sia elementi differenti per tipo che nodi ed elementi assieme. Gruppo è la riunione di un numero arbitrario di oggetti accomunati da una qualche caratteristica utile per l'utente. Per assegnare gli oggetti selezionati ad un gruppo esistente si usa il comando [Gruppo](#)<sup>[1016]</sup>, del menu Edit-Proprietà.

Nel caso dei nodi il numero di gruppo prelude alla trattazione sistematica dei collegamenti, ed in futuro nodi dello stesso gruppo saranno nodi aventi eguali caratteristiche di calcolo.

Nel caso degli elementi il numero di gruppo può essere adoperato per distinguere parti diverse del modello, in modo tale, ad esempio, da rendere più immediatamente comprensibili le operazioni di meshing. Se si vogliono vedere gli elementi colorati in base al loro numero di gruppo è possibile utilizzare il comando [Elementi](#)<sup>[701]</sup>, del menu Mostra.

Il gruppo può anche essere adoperato per selezionare rapidamente le parti del modello che si intendono vedere e quelle che si intendono nascondere, grazie al comando [Estrai](#)<sup>[750]</sup>.

In nessun modo l'utente è obbligato a decidere il gruppo *mentre* sta facendo la mesh. L'attribuzione degli elementi ai gruppi e la decisione di quanti e quali gruppi adottare può

essere presa anche a mesh completata. Viceversa, se l'utente ha le idee chiare su come suddividere gli elementi in gruppi può farlo mentre prepara la mesh.

Per selezionare rapidamente oggetti appartenenti ad un gruppo è possibile adoperare il filtro di selezione basato sul gruppo ([Filtro](#)<sup>186</sup>).

Se un modello viene fuso in un altro i suoi gruppi verranno accodati a quelli del modello padre ([Fondi](#)<sup>187</sup>).

Sulla barra di stato della finestra attiva compare il gruppo corrente ("GR="). Nelle operazioni che comportano l'aggiunta di elementi (copia, rotazione, mirroring ed aggiunta diretta) i nuovi elementi apparterranno al gruppo attivo nel momento in cui si è eseguito il comando. Si noti che è possibile modificare il gruppo corrente *mentre* si stanno aggiungendo gli elementi (anche semplicemente cliccando a sinistra per incrementare, a destra per decrementare, sopra "GR="). Tutte le operazioni di divisione, splitting ed intersezione di elementi fanno invece sì che i nuovi elementi ereditino il gruppo degli elementi originari.

I gruppi sono un aiuto, non un vincolo per chi fa il modello. Se nella trattazione dei gruppi si incontra difficoltà, ed il modello può essere gestito agevolmente con gli ordinari strumenti di selezione, la definizione dei gruppi può essere omessa. Su modelli vasti e complessi la corretta gestione dei gruppi può rendere tutto molto più facile. In questi casi l'uso dei gruppi ancorchè non necessario è vivamente consigliato.

A partire dalla versione 12.7o i gruppi possono ricevere fino a sette keyword.

## 2.16 Preparare ed eseguire il solving

### COME PREPARARE ED ESEGUIRE IL SOLVING

[Analisi statica con solutori esterni](#)<sup>186</sup>

[Analisi statica con CLEVER](#)<sup>187</sup>

[Analisi modale con LEDA](#) 

[Analisi a spettro di risposta con SPECTRUM](#) 

[Analisi di buckling con BUCKL](#) 

[Analisi non lineari con il solutore CURAN](#) 

[Analisi di frequency response con FREQUENCY](#) 

[Analisi di Time History Modale](#) 

[Aree di taglio](#) 

[Tension stiffening](#) 

[Memoria](#) 

[Rinumerazione](#) 



[Pseudolabilità](#) 

[Scelta degli elementi finiti](#) 

[Controllo della bontà del calcolo](#) 

### 2.16.1 Analisi statica con solutori esterni

#### ANALISI STATICA CON SOLUTORI ESTERNI

Volendo eseguire il solving con uno dei solutori esterni con cui Sargon è interfacciato, occorre dapprima scrivere il file di input per il solutore scelto ([Crea Input](#) ). Con i solutori esterni è possibile fare solo analisi statiche. Una volta scritto il file di input per il solutore scelto occorre uscire da Sargon e far girare il solutore. Fatto ciò occorre rientrare in Sargon e caricare i risultati della analisi ([Importa Risultati](#) ). A questo punto sarà possibile fare postprocessing ed eseguire le verifiche.

E' da notare che per varie ragioni (legate alla limitazione dei load case a, b, c, d, di sapV e derivati) nel file di input per alcuni solutori esterni (Sap 80, Sap 90, ma non Sap 2000 o STAAD) *i carichi distribuiti sono trasformati in forze nodali equivalenti, e che quindi lo stato di sforzo calcolato dai solutori esterni non è quello "esatto",* essendo necessario



riaggiungere gli effetti delle forze di incastro perfetto. Questa operazione viene compiuta quando i risultati vengono nuovamente letti ed importati in Sargon.

## 2.16.2 Analisi statica con CLEVER

### ANALISI STATICA CON CLEVER

Per eseguire l'analisi statica con CLEVER è necessario usare il comando [Analizza](#)<sup>[617]</sup> e attivare l'opzione relativa alla analisi statica. Il programma viene eseguito e, al suo termine, si viene riportati all'interno di Sargon: da quel momento è possibile fare postprocessing.

Segnaliamo la rigidità estrema con la quale CLEVER verifica che non vi siano ipostaticità o labilità: tutti i gradi di libertà devono essere vincolati o attaccati a qualche rigidità. In caso contrario il solutore si ferma e segnala il problema. In questa eventualità viene creato un campo di spostamenti fittizio nel quale lo spostamento (traslazione o rotazione) associato al grado di libertà sul quale è avvenuto il blocco è convenzionalmente posto eguale ad 1.

**In questa eventualità ulteriori informazioni sono reperibili nel file *.inf*.**

Per ulteriori informazioni sul solutore CLEVER si rimanda al suo manuale.

### Cholesky sparse solver

A partire dalla versione 8.10 di Sargon è disponibile un nuovo tipo di solutore accanto al solutore skyline che è il primo messo a punto intorno alla metà degli anni '90. Si tratta di un solutore che usa sempre il metodo di Cholesky, ma sfruttando la sparsità della matrice di rigidità.

Il solutore in questione consente in molti casi di ottenere soluzioni nettamente più rapide di quelle ottenibili con il solutore skyline, e con minore occupazione di memoria, esso comunque non implementa alcuna divisione in blocchi della matrice con accesso al disco rigido, e dunque vi sono casi in cui, a causa della particolare struttura delle matrici, le richieste

in termini di spazio di memoria per conservare la matrice triangolarizzata **L** (dove  $\mathbf{K}=\mathbf{LL}^T$ ) superano le risorse disponibili. In questo caso il solutore si arresta con un messaggio di errore.

Benchè in un solutore sparse matrix alla Cholesky l'esigenza di rinumerare per diminuire la banda non ci sia, perché la matrice di rigidezza viene immagazzinata con i suoi soli termini non nulli, che non dipendono dalla banda, pure in effetti si ha che lo schema di sparsità della matrice triangolarizzata **L** non è identico a quello della matrice **K**, e quindi ci sono casi in cui il numero dei termini non nulli di **L** è nettamente maggiore del numero dei termini non nulli di **K**. In questi casi è possibile che benchè la fase di assemblaggio sia stata superata, non così risulti la fase di triangolarizzazione, durante la quale è necessario oltre allo spazio di **K** anche lo spazio per **L**.

Allo stato attuale il solutore sparse matrix non risulta ancora ottimizzato per quanto attiene alla rapidità nell'assemblaggio. Sono inoltre allo studio soluzioni che implementino il metodo del Gradiente Biconiugato Precondizionato e/o che migliorino le prestazioni del solutore per quanto attiene alla dimensione dello spazio richiesto per **L**.

### 2.16.3 Analisi modale con LEDA

#### ANALISI MODALE CON LEDA

Da un punto vista operativo l'analisi modale viene lanciata, esattamente come l'analisi statica, con il comando [Analizza](#)<sup>[617]</sup>. A differenza della analisi statica, l'analisi modale è un'analisi di tipo iterativo, pertanto andrebbe correttamente impostata prima di essere eseguita.

In particolare è di estrema importanza controllare i risultati della analisi sia in termini di deformata modale ([Mostra](#)<sup>[1193]</sup>) sia in termini di massa partecipante ([Interroga](#)<sup>[1195]</sup>).

#### COME AGGIUNGERE MASSE AL MODELLO

Dalla versione 3.20 è possibile eseguire l'analisi modale ed a spettro di risposta con i moduli integrati LEDA e SPECTRUM. Per fare un'analisi modale è necessario applicare delle masse sul modello, le quali simulano la presenza dei carichi durante il terremoto. In campo dinamico,

tanta più massa è applicata sul modello tanto più elevate saranno le sollecitazioni ([Guida pratica alla analisi modale](#)<sup>[1612]</sup>).

Pertanto l'aggiunta delle masse deve essere fatta in modo attento, onde evitare sovrastime o sottostime delle azioni.

Le masse possono essere aggiunte direttamente con il comando [Aggiungi](#)<sup>[1098]</sup>. Il comando somma i valori specificati alle masse già esistenti sui nodi selezionati al momento dell'esecuzione del comando stesso. Nello specificare i numeri occorre tenere presente che:

- 1) Generalmente le tre masse sono eguali nelle tre direzioni. E' possibile specificare masse diverse nelle varie direzioni per modellare comportamenti peculiari.
- 2) I valori specificati vengono interpretati sulla base delle unità di misura attive. Per le masse traslazionali conta l'unità di forza. La massa introdotta è quella che ha il peso introdotto nell'unità di forza attiva. Ad esempio, se è attivo kN e viene introdotta il numero 10, la massa è quella che dà un peso di 10kN (come accelerazione di gravità il programma assume 9.81 m/sec<sup>2</sup>).

Nel caso in cui vengano aggiunti momenti di inerzia (o masse rotazionali) oltre all'unità di forza conta l'unità di lunghezza attiva. Si ricorda che la massa rotazionale ha come unità di misura la massa traslazionale per una lunghezza al quadrato. Se viene ad esempio introdotto il numero 100 ed è attiva l'unità “t” e l'unità “mm”, il numero viene interpretato dal programma come 100 t mm<sup>2</sup>. Se fosse stato attivo “kN” e “cm” il programma avrebbe interpretato lo stesso numero come 100 kN cm<sup>2</sup> = 100.000 x 100 / 9810. t mm<sup>2</sup>.

Per cancellare le masse (tutte e sei, le tre traslazionali più le tre rotazionali) dai nodi si fa così. Si selezionano i nodi su cui si vogliono cancellare le masse e poi si dà il comando [Canc sel](#)<sup>[1101]</sup>.

Esistono poi dei comandi che consentono di cancellare solo le masse traslazionali in una certa direzione, ovvero solo le masse traslazionali X ([Canc selX](#)<sup>[1102]</sup>), traslazionali Y ([Canc selY](#)<sup>[1102]</sup>) e traslazionali Z ([Canc selZ](#)<sup>[1102]</sup>).

Oltre ad aggiungere masse secondo valori specificati numericamente, è possibile aggiungere masse secondo i carichi già applicati con il comando [Caso](#)<sup>[1099]</sup>.

Questo comando è estremamente potente, perchè consente di generare automaticamente le masse associate a certi casi di carico, moltiplicandole per un opportuno fattore.

Per quello che riguarda la gravità, questa è applicata automaticamente dal programma come densità di massa degli elementi, e non è pertanto necessario introdurla come massa ai nodi. Se, invece, si vuole avere elementi con densità di massa nulla è necessario spegnere il flag del dialogo [Analisi Modale](#)<sup>[625]</sup>. Se si fa così la massa degli elementi nel file di input per l'analisi modale (.din) viene posta eguale a 0.

Il comando [Sposta](#)<sup>[1103]</sup> consente di perturbare le masse correggendole in modo tale da generare una certa desiderata eccentricità.

Da “Analisi modale ragionata”, di Paolo Rugarli, EPC libri, ROMA, 2005.

Partendo da una certa distribuzione di masse, una pertinente correzione variabile linearmente con la ascissa può essere ottenuta in forma chiusa applicando le seguenti formule.

Sia  $\underline{x}$  la posizione del centro delle masse prima delle correzione ed  $(\underline{x}+e)$  la posizione del centro delle masse che si vuole ottenere dopo la correzione, dove “e” è l’eccentricità accidentale desiderata. Sia inoltre “i” un indice che varia da nodo a nodo e che tiene in conto solo i nodi selezionati e con massa non nulla per un totale di “n” nodi. Immaginiamo che la massa  $m_i$  di ciascun nodo subisca una correzione  $\Delta m_i$  e che la correzione  $\Delta m_i$  sia funzione lineare di  $x_i$ , secondo la legge

$$\Delta m_i = ax_i + b$$

dove “a” e “b” sono due costanti. In tal caso, imponendo che la massa totale M non cambi e che la posizione del nuovo centro delle masse sia in  $(\underline{x}+e)$ , otteniamo le due equazioni seguenti:

$$\begin{cases} \sum_i (m_i + \Delta m_i) = M \\ \sum_i x_i (m_i + \Delta m_i) = M(\bar{x} + e) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \sum_i \Delta m_i = \sum_i (ax_i + b) = 0 \\ \sum_i x_i \Delta m_i = \sum_i x_i (ax_i + b) = Me \end{cases}$$

$$\begin{cases} b = \frac{-a \sum_i x_i}{n} \\ a = \frac{nMe}{n \left( \sum_i x_i^2 \right) - \left( \sum_i x_i \right)^2} \end{cases}$$

Queste formule entrano però in crisi quando la correzione è negativa e superiore alla massa originaria, quando cioè

$$m_i + \Delta m_i < 0$$

condizione che si raggiunge se la eccentricità “e” supera un certo valore di soglia, dipendente dal problema in esame.


## COME IMPOSTARE UN'ANALISI MODALE

Per eseguire una analisi modale è innanzi tutto necessario aggiungere le masse sul modello.

Ciò fatto occorre specificare:

- 1) Il numero dei modi che si chiede di trovare (default = 6);
- 2) L'ordine del sottospazio (default = 3 x numero dei modi richiesto);
- 3) La tolleranza (default = 1.e-8);

- 4) Il massimo numero di iterazioni (default = 20)
- 5) Se dare o non dare densità di massa agli elementi per l'analisi modale.
- 6) L'eventuale shift

Per tutti i valori numerici il programma fornisce un ragionevole default. L'utente può dover cambiare tali default quando la sua analisi richiede un numero di modi diverso, non riesce a convergere o converge lentamente. A tal fine si osservi che ([Guida pratica alla analisi modale](#) ):

- più è elevato il numero dei modi più tempo e spazio occorre per risolvere l'analisi. In genere si chiedono fino a poche decine di modi, non di più (fanno eccezione casi particolari). Nella grande maggioranza dei casi 6-10 modi sono sufficienti. Il numero dei modi richiesto non può essere superiore al numero di masse applicate ai vari gradi di libertà. Il numero dei modi non può essere superiore all'ordine del sottospazio.
- più elevato è l'ordine del sottospazio più elevata è la convergenza, che dipende dal rapporto tra la prima e l'ultima frequenza del sottospazio. Se vi sono molti modi con pulsazione identica o simile può essere necessario aumentare l'ordine del sottospazio. Aumentare l'ordine del sottospazio comporta anche un aumento dello spazio richiesto in RAM. L'ordine del sottospazio non può essere inferiore al numero dei modi richiesto.
- la tolleranza consigliata è 1.e-8 per avere buoni risultati sugli autovettori di ordine superiore. Tolleranze minori possono portare a risultati meno precisi sulle componenti meno significative degli autovettori superiori. Al crescere della tolleranza il tempo di calcolo diminuisce. La tolleranza è definita come il massimo valore, al variare dei modi richiesti, del seguente numero, essendo i l'indice di iterazione:

$$TOL = (\Omega_{i+1} - \Omega_i) / \Omega_i$$

- il massimo numero di iterazioni al termine delle quali il programma accetta per buono il risultato ottenuto è per default 20. Spesso si può convergere più semplicemente aumentando l'ordine del sottospazio piuttosto che aumentando il numero di iterazioni. Un elevato numero di iterazioni per convergere è indice di cattiva convergenza: meglio aumentare l'ordine del sottospazio.
- dare o non dare la massa agli elementi dipende esclusivamente da considerazioni di modellazione. Essenziale è comunque darla, se c'è, e non darla due volte. Se il flag GRAVITA' è acceso la massa degli elementi sarà aggiunta alle masse applicate ai nodi in sede di soluzione. Se il flag è spento si terrà conto solo delle masse applicate ai nodi.
- L'applicazione di uno shift è necessaria per risolvere situazioni nelle quali la struttura gode di uno o più moti rigidi, tipicamente le oscillazioni proprie di un corpo libero. In questi casi specificando uno shift (che ha le dimensioni fisiche di una pulsazione al quadrato), la matrice di rigidezza perde la singolarità ed il problema può venire risolto. Lo shift può essere positivo o negativo. Se è negativo si ha la certezza di non generare termini diagonali negativi sulla matrice di rigidezza. Se lo shift è troppo piccolo esso non è in grado di eliminare la singolarità, e la matrice non sarà invertita. Conviene fare qualche test per determinare il valore di shift ottimo per il problema in esame.

## COME ESAMINARE I RISULTATI DI UN'ANALISI MODALE

I risultati di un'analisi modale si esaminano in due modi: si guardano le forme modali, i periodi e le masse partecipanti da dentro Sargon, si guarda il file di output MODELLO.DOU da fuori Sargon.

Il file .DOU contiene le forme modali, i periodi, le frequenze, le rispettive tolleranze, le percentuali di massa partecipante, i fattori di partecipazione.

Nel file .DOG è contenuta una statistica su quanto avvenuto nel corso dell'analisi modale.

A schermo è possibile vedere la deformata modale di un certo modo usando il comando [Mostra](#)<sup>[1193]</sup>, che chiede di specificare a quale modo si è interessati. Il riepilogo dei periodi,

della massa partecipante complessiva e della massa partecipante di ogni modo è ottenuto con il comando [Interroga](#)<sup>[1195]</sup>.

Scelto un certo modo, che deve essere coerente con il numero dei modi disponibili, il programma fa vedere la deformata modale. I valori di percentuale di massa partecipante sono estremamente significativi, perchè dicono quanto un modo sia importante per la struttura in esame. Al crescere della massa partecipante cresce l'importanza del modo in questione ([Guida pratica alla analisi modale](#)<sup>[1612]</sup>).

## ANALISI MODALE CON SOLUTORE SPARSE MATRIX

A partire dalla versione 9.80 (rilasciata nel Novembre 2011), anche l'analisi modale può essere fatta utilizzando tecniche di *sparse matrix*. L'effetto è quello di una drastica riduzione dei tempi di calcolo e del numero di operazioni in virgola mobile, ed un notevole incremento della massima dimensione dei modelli praticamente trattabili.

Operativamente è sufficiente apporre un segno di spunta nella casella "sparse matrix" del [dialogo](#)<sup>[617]</sup> che si apre con il comando [Analizza](#)<sup>[617]</sup>.

Il solutore per l'analisi modale con matrici sparse (che è sempre WLEDA.EXE, LEDA), usa la subspace iteration sfruttando la decomposizione  $\mathbf{K}=\mathbf{LDL}^T$  operata con il metodo di Cholesky ma su matrici sparse. Tale tecnica è ereditata dal solutore CLEVER, che anche usa, a scelta, tecniche di sparse matrix. Anche il calcolo della matrice  $\mathbf{K}^*=\mathbf{T}^T\mathbf{K}\mathbf{T}$ , tipico della analisi modale con *subspace iteration* viene eseguito tenendo conto della sparsità di K dopo la fattorizzazione.

Al momento il solutore assume (verificando la circostanza preliminarmente mediante calcolo) che sia disponibile RAM a sufficienza per eseguire le operazioni *all in core*: versioni successive utilizzeranno la possibilità di eseguire uno *swap* su disco per aumentare ulteriormente il raggio di azione del solutore.

Si fa in ultimo osservare che, come per il caso statico, il solutore modale sparse matrix è sensibile alla richiesta di rinumerare. In particolare, se viene richiesta una rinumerazione alla RCM (reverse Cuthill-Mc Kee), il solutore sparse esegue un *riordinamento delle equazioni*



(mediante una tecnica che *non* è quella di RCM) al fine di ridurre la occupazione di spazio di **L** a partire dallo spazio (noto) occupato da **K**. Infatti se la matrice **K** è sparsa, non è detto che la matrice **L** che soddisfa la triangolarizzazione di Cholesky  $\mathbf{K}=\mathbf{L}\mathbf{D}\mathbf{L}^T$  sia sparsa anch'essa. In generale, in funzione della numerazione delle equazioni si potranno avere **L** più o meno sparse, con pesanti ricadute sul calcolo. In certi casi (con molte equazioni) la RAM può non essere sufficiente. Se non viene richiesta alcuna rinumerazione il riordinamento non viene eseguito e la sparsità di **L** è quella che è (in generale: bassa). E' dunque altamente consigliabile, nell'uso dei solutori *sparse matrix*, mantenere la richiesta di rinumerazione *alla RCM*, per fare in modo che il riordinamento venga eseguito, con ciò riducendo drasticamente la occupazione di spazio di **L**, ed anche il numero delle operazioni in virgola mobile.

#### 2.16.4 Analisi a spettro di risposta con SPECTRUM

##### ANALISI A SPETTRO DI RISPOSTA CON SPECTRUM

Da un punto vista operativo l'analisi a spettro di risposta viene lanciata, esattamente come l'analisi statica, con il comando [Analizza](#)<sup>617</sup>. Perchè l'analisi a spettro di risposta possa essere eseguita è necessario chiedere contestualmente una analisi modale, oppure che l'analisi modale sia stata eseguita in precedenza. Inoltre è necessario che esistano adeguati casi sismici. Un caso di carico è adeguato ad essere trattato per l'analisi a spettro di risposta quando soddisfa i seguenti requisiti:

- 1) Ha un'etichetta di tipo **Sisma (analisi modale)**.
- 2) In quel caso di carico è presente un'unica forza nodale, diretta come il sisma, e con una intensità in Newton pari alla intensità del sisma. Il nodo su cui applicare la forza è arbitrario. Se ad esempio il sisma è diretto come Y ed ha una intensità pari a 1.5 volte quella prevista dallo spettro, occorrerà dare ad un nodo una forza (0, 1.5, 0) in Newton.
- 3) Il nome del caso di carico deve cominciare con le lettere "XYZ\_", dove XYZ è la sigla del sisma da adottare per quel caso. I file di output della analisi a spettro di risposta (.rin, .rog, .rou) avranno un nome del tipo MODELLO.XYZ.RIN, MODELLO.XYZ.ROG,

MODELLO.XYZ.ROU. Ciò per tenere distinti i risultati delle varie analisi a spettro di risposta.

La condizione 3) è stata introdotta a partire dalla versione 9.50 del programma (maggio 2010). Essa consente di associare diversi sismi (definiti da opportuni spettri di risposta) ai casi sismici. La necessità di definire sismi diversi (ovvero non solo sismi di intensità diversa, che si sarebbero potuti ottenere riscaldando le ordinate dello spettro in sede di combinazioni, ma sismi aventi uno spettro di risposta con una forma diversa) è legata ad una specifica innovazione delle norme italiane del 2008, le cosiddette NTC 2008 (e 2018). Queste norme prevedono la possibile necessità di indagare 4 distinte situazioni sismiche: SLO, SLD, SLV, SLC. A ciascuna delle tre possibilità sono associati sismi aventi una forma spettrale differente. In Sargon, a partire dalla versione 9.50, è possibile definire fino a 5 sismi differenti. A ciascun sisma deve essere associata una sigla identificativa di tre caratteri (default: EA1, EA2,..., EA5). Tale sigla identificativa può essere fatta corrispondere ad esempio alle sigle già citate. Per ogni sisma è poi possibile definire 3 diversi spettri di risposta, associati alle 3 diverse direzioni globali (X, Y, Z). Tutto ciò viene fatto sia nella impostazione della analisi a spettro di risposta (comando [File-Analizza](#)<sup>[617]</sup>), sia con il comando [Edit-Azioni-Terremoti](#)<sup>[1045]</sup>). Se un sisma non viene usato da alcun caso di carico non è necessario definirlo. Viceversa, se un caso di carico utilizza un sisma (mediante il nome) quel sisma, con quella sigla identificativa, deve esistere.

L'esecuzione della analisi a spettro di risposta, quando richiesta (comando [File-Analizza](#)<sup>[617]</sup>) comporta di fatto la esecuzione di tante analisi (ovvero di tante istanze successive di wspectrm.exe) quanti sono i sismi referenziati nel modello. Un sisma è referenziato nel modello mediante la presenza di casi di carico che abbiano all'inizio del loro nome la sigla di uno dei sismi definiti in precedenza.

Prima di eseguire l'analisi a spettro di risposta è necessario, per ciascun sisma usato nel modello, e per ognuna delle tre direzioni del sisma, fissare lo spettro di risposta. Lo spettro può essere definito per mezzo delle norme italiane, dell'EC8, delle norme ASCE-7 oppure per punti (file SPETTROX.PTS, SPETTROY.PTS, SPETTROZ.PTS della cartella di installazione). Il comando è [File-Analizza](#)<sup>[617]</sup> o [Edit-Azioni-Terremoti](#)<sup>[1045]</sup>.

Oltre allo spettro è necessario fissare il modo in cui verranno combinati tra loro gli effetti dei vari modi. Questi si possono combinare usando il metodo della somma dei quadrati con fattore di grappolo (SRSS con cluster factor in accordo a NRC Guide 1.92), oppure amplificando un modo ritenuto dominante sulla base della sua massa partecipante (metodo della amplificazione modale), oppure, infine, mediante il metodo della combinazione quadratica completa di Der Kiureghian (CQC).

Nel primo (SRSS) e terzo (CQC) caso l'equilibrio viene perso, nel secondo caso no. Per ovviare all'inconveniente del primo metodo, Sargon consente di ricalcolare i tagli sulla base dei momenti di calcolo, e consente di decidere il segno dei diagrammi di momento. Tale possibilità andrebbe attentamente presa in considerazione in vista delle verifiche di resistenza e stabilità.

## COME IMPOSTARE UNA ANALISI A SPETTRO DI RISPOSTA

### 1) Generalità

Un'analisi a spettro di risposta ha per risultato uno o più casi di carico in cui gli spostamenti e le sollecitazioni sono ottenuti non per mezzo di una analisi statica, bensì per mezzo della opportuna rielaborazione dei risultati di un'analisi modale.

Come passo preliminare, è pertanto necessario definire un certo numero di casi di carico, etichettati **SISMA (Analisi Modale)**, e con il nome che cominci con "XYZ\_", essendo "XYZ" l'identificatore del sisma. Tali casi sono i destinatari delle sollecitazioni e degli spostamenti. In ognuno dei casi di carico sismici rilevanti ai fini dell'analisi a spettro di risposta, occorre specificare la direzione del sisma. Ciò si fa convenzionalmente nel seguente modo. Si aggiunge in quel caso di carico un' unica forza nodale diretta come il sisma. Se ad esempio si vuole un sisma diretto come X nel caso di carico 3, occorre: etichettare il caso di carico 3 come caso di carico sismico. Aggiungere **come unica azione presente in quel caso**, una forza nodale, su un qualunque nodo, di intensità pari a  $F_x = 1 \text{ N}$ ,  $F_y = 0$ ,  $F_z = 0$ . E' da notare che nell'aggiungere la forza occorre usare come unità il Newton. Infatti il numero specificato non stabilisce solo la direzione, ma anche l'intensità, intendendosi che una forza

doppia ha effetti doppi. Se si specifica 1N come intensità l'effetto sarà quello dello spettro con moltiplicatore pari a 1. Se si specificano 2N l'effetto sarà quello dello spettro con moltiplicatore pari a 2, e così via.

Riepilogando: per ogni caso di carico sismico occorre aggiungere un'unica forza nodale, definita in Newton, diretta come il sisma e con intensità pari all'intensità che si desidera per gli spettri. **Normalmente pertanto si applicherà una forza avente componenti unitarie.** Se per errore la forza unitaria viene applicata usando per esempio le tonnellate, i risultati saranno palesemente fuori scala, perché saranno 9810 volte quelli dello spettro definito dalle norme. Al caso di carico sismico è associato il sisma descritto dalle prime tre lettere del nome del caso stesso.

### Esempio 1

Si vuole far sì che nel caso 3 agisca un sisma diretto come Y e non si vuole amplificare o ridurre lo spettro di normativa. Si etichetta il caso 3 come sismico, poi si cambia l'unità di misura della forza e si sceglie N. Quindi si applica su un nodo qualsiasi una forza con queste componenti (0, 1, 0). Se si vuole che il caso di carico usi il sisma "SLV", allora il nome del caso di carico comincerà per "SLV\_". Se invece si vuole il sisma "BOO", il nome del caso di carico comincerà per "BOO\_".

### Esempio 2

Si vuole far sì che nel caso 4 agisca un sisma diretto come la bisettrice del piano XY e non si vuole amplificare o ridurre lo spettro di normativa. Si etichetta il caso 4 come sismico, poi si cambia l'unità di misura della forza e si sceglie N. Quindi si applica su un nodo qualsiasi una forza con queste componenti (0.707, 0.707, 0). Se si vuole che il caso di carico usi il sisma "SLO", allora il nome del caso di carico comincerà per "SLO\_". Se invece si vuole il sisma "GFD", il nome del caso di carico comincerà per "GFD\_".

Gli identificatori dei sismi sono definiti con il comando [File-Analizza](#) 

Per eseguire un'analisi a spettro di risposta è necessario che sia stata preventivamente eseguita un'analisi statica ed un'analisi modale. Nessun problema se l'analisi a spettro di risposta viene eseguita in cascata dopo le precedenti.

I risultati dell'analisi a spettro di risposta vengono caricati nei casi che soddisfano i requisiti precedenti, sovrascrivendo i risultati ottenuti con l'analisi statica degli stessi. Tutto ciò è compiuto automaticamente. Occorre prestare attenzione al fatto che finchè non viene eseguita l'analisi a spettro di risposta, il programma fa vedere i risultati dell'analisi statica anche sui casi SISMA aventi i requisiti precedenti. Dal momento in cui viene eseguita l'analisi a spettro di risposta in poi, in quei casi di carico viene invece fatto vedere il risultato dell'analisi a spettro di risposta.

## **2) Come fissare gli spettri**

Per ognuna delle tre possibili direzioni principali, X, Y e Z è necessario stabilire lo spettro di risposta. Lo spettro può essere quello previsto dal DM 24-1-1986, quello previsto dall'Eurocodice 8, quello previsto dalle norme ASCE-7, quello della Ordinanza 3274 del 20-3-2003, quello previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 14-1-2008 o D.M. 17-1-2018) o uno spettro definito dall'utente.

Nel caso in cui si debba fornire lo spettro secondo il DM96 occorre fornire il grado di sismicità  $S$  ( $\max = 12$ ), il coefficiente di protezione sismica  $I$ , il coefficiente di fondazione  $\epsilon$  ed il coefficiente di struttura  $\beta$ .

Nel caso in cui si debba fornire lo spettro in accordo alla Ordinanza 3274 occorre specificare la zona (1, 2, 3, o 4), il profilo stratigrafico (A, B, C, D, E), il coefficiente di importanza (1 per edifici ordinari, fino a 1.4 per edifici di particolare importanza) e, infine, il fattore di struttura  $q$ . Per il significato dei parametri ed il campo di validità si rimanda alla norma.

Per quanto riguarda le Norme Tecniche per le Costruzioni DM 14-1-2008 o D.M. 17-1-2018, occorre preventivamente determinare per mezzo del programma NTCSISMA.EXE,

presente nella cartella di installazione, i valori di  $A_g$ ,  $F_o$  e  $T_c^*$  relativi al sito in esame ed allo stato limite considerato. Poi, oltre a questi tre numeri, occorre fornire il coefficiente di amplificazione topografica  $ST$ , la categoria del suolo  $C$ , e il fattore di struttura  $q$ . Si rimanda all'articolo [www.castaliaweb.com/ita/discussioni/zonegriglieostanze.pdf](http://www.castaliaweb.com/ita/discussioni/zonegriglieostanze.pdf) per una estesa discussione sulla modalità di determinazione della azione sismica in accordo alla nuova norma e sui commenti che si è ritenuto di dover fare alla determinazione della azione sismica.

Nel caso in cui si debba fornire lo spettro secondo l'EC8 occorre fornire il tipo di spettro, la classe del suolo  $S$  ( $A=1$ ,  $B=2$ ,  $C=3$ ), l'accelerazione del suolo in  $g$ ,  $A_g$ , il coefficiente di importanza, ed il “behaviour factor”  $q$ . La  $A_g$  da specificare è sempre quella orizzontale, quella verticale è determinata automaticamente dal programma.

Nel caso in cui si debba fornire lo spettro secondo le norme ASCE-7 occorre fornire il valore di  $SDS$  e di  $SD1$  in unità  $g$ , il periodo  $T_L$  in secondi, il fattore di importanza ed il fattore di struttura. In questo caso la accelerazione verticale è eguale a quella specificata nel dialogo.

Se invece si sceglie di fornire lo spettro per punti, in modo diverso da quanto previsto dalle due norme precedenti, occorre modificare il file `\SPETTROX.PTS`, per lo spettro  $X$ , il file `\SPETTROY.PTS`, per lo spettro  $Y$ , il file `\SPETTROZ.PTS`, per lo spettro  $Z$ . Questi sono file ASCII di significato immediatamente comprensibile (formato SAPIV: l'ascissa è in secondi, l'ordinata è in unità  $g$ . Lo spettro ha un certo numero di punti, un moltiplicatore ed un divisore che è il fattore di struttura,  $q$ . Di solito il moltiplicatore è l'accelerazione del suolo in unità  $g$ , per esempio 0.15, mentre le ordinate sono numeri che amplificano o riducono tale valore in funzione del periodo; infine nella prima riga, dopo il moltiplicatore, compare il fattore di struttura che verrà usato per dividere le ordinate dello spettro). **Essi sono contenuti nel direttorio di installazione del programma.**

E' possibile avere uno spettro DM per la componente  $X$  ed uno spettro EC8 per la componente  $Y$ . Pertanto ogni componente va esplicitamente prescelta.

### 3) Come combinare i modi e scegliere il fattore d'errore

L'analisi a spettro di risposta serve a ottenere risultati fruibili in termini di verifiche a partire dai risultati di un analisi modale. SPECTRUM fa questo in tre modi: con il metodo NRC Guide 1.92, o anche SRSS method (square root of the sum of the square); con la Complete Quadratic Combination (CQC); e con il metodo dell'amplificazione modale.

Per scegliere il metodo NRC Guide è necessario fornire un insieme di parametri (dialogo [Tipo di spettro](#)<sup>627</sup>).

Il numero "cluster" ([Guida pratica alla analisi modale](#)<sup>1612</sup>) deve essere maggiore di zero ed indica il fattore di grappolo (cluster). Generalmente esso vale 0.1. Se due modi hanno la pulsazione tale che  $(O_{i+1} - O_i) / O_i < \text{cluster}$  l'effetto dei due modi verrà sommato prima di eseguirne il quadrato (O è il simbolo della pulsazione).

A partire dalla versione 9.90 rilasciata nel Luglio 2012, è possibile associare a ciascun caso di carico sismico (etichetta SISMA MODALE), un singolo modo di riferimento. Questa informazione è necessaria se si usa il metodo della amplificazione modale (verrà amplificato il modo di riferimento per ciascun caso), mentre è facoltativa se si usa la SRSS (NRC) o la CQC. Se è stato associato un modo di riferimento ad un certo caso di carico sismico, e si usa la NRC Guide o la CQC, i segni degli spostamenti e delle azioni interne saranno quelli del modo di riferimento.

Tale metodologia è utile quando vi sia un modo dominante sugli altri, tal che i segni delle singole azioni interne e degli spostamenti siano identici a quelli del modo indicato.

Se si esegue il metodo NRC Guide o la CQC senza alcuna modifica le sollecitazioni che si ottengono **non sono in equilibrio**. Per ottenere questo risultato i numeri n, mt, m2 ed m3 devono essere tutti nulli. Ciò vuol dire che non verrà applicata alcuna correzione al metodo, se non quella relativa al modo di riferimento nel caso in cui sia stato specificato (per non specificare un modo di riferimento basta porre "0" come modo di riferimento).

Viceversa, se vengono specificati n, mt, m2 o m3 diversi da zero viene fatta una correzione di segno nel seguente modo.

Il numero "n" serve a decidere il segno della azione assiale. Se n è positivo l'azione assiale sarà di trazione su tutti gli elementi. Se n è negativo l'azione assiale sarà di compressione su tutti gli elementi (indipendentemente dai segni del modo di riferimento, che non sarà utilizzato per le azioni assiali).

Il numero "mt" serve a decidere il segno del momento torcente (indipendentemente dai segni del modo di riferimento, che non sarà utilizzato per i momenti torcenti).

Il numero "m2" ha una doppia funzione. Se è diverso da zero i tagli T3 al primo ed al secondo estremo verranno ricalcolati in modo da far equilibrio ai momenti agenti. In particolare, se "m2" è positivo il diagramma di momento sull'asta sarà tutto dello stesso segno. Se invece "m2" è negativo il diagramma di momento sull'asta sarà *a farfalla*. In ogni caso se "m2" è diverso da zero i tagli T3 saranno ricalcolati. La scelta sulla distribuzione influenza il calcolo del momento equivalente a stabilità. Pertanto deve essere compiuta con cura. Se "m2" è diverso da zero i segni di M2 e T3 negli elementi saranno determinati indipendentemente dai segni del modo di riferimento, che non sarà utilizzato.

Il numero "m3" ha una doppia funzione. Se è diverso da zero i tagli T2 al primo ed al secondo estremo verranno ricalcolati in modo da far equilibrio ai momenti agenti. In particolare, se "m3" è positivo il diagramma di momento sull'asta sarà tutto dello stesso segno. Se invece "m3" è negativo il diagramma di momento sull'asta sarà *a farfalla*. In ogni caso se "m3" è diverso da zero i tagli T2 saranno ricalcolati. La scelta sulla distribuzione influenza il calcolo del momento equivalente a stabilità. Pertanto deve essere compiuta con cura. Se "m3" è diverso da zero i segni di M3 e T2 negli elementi saranno determinati indipendentemente dai segni del modo di riferimento, che non sarà utilizzato.

Il metodo della CQC (complete quadratic combination) richiede di specificare tre cose.

La prima è lo smorzamento associato ai modi. Nella versione implementata (che è quella proposta dalla Norma) lo smorzamento resta eguale da modo a modo, e va quindi specificato una volta per tutte. In genere si assumono valori compresi tra 0.03 (3%) e 0.1 (10%).



La seconda cosa che occorre specificare è se si debbano tenere i segni dei singoli modi oppure se si debba prendere il valore assoluto. Si noti che il segno finale sarà comunque perso: i segni influenzano solo i termini che accoppiano modi diversi (doppi prodotti nel quadrato del binomio) e quindi possono far ottenere risultati anche minori di quelli ottenibili mediante SRSS.

La terza è se si vogliono introdurre delle correzioni ai segni oppure no. Il significato delle correzioni ( $n$ ,  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$ ) è identico a quello già descritto per la SRSS, e pertanto si rimanda a quanto già chiarito precedentemente.


Oltre al metodo NRC Guide ed al CQC è disponibile il metodo dell'amplificazione modale.

Questo metodo consente di valutare gli effetti del sisma amplificando opportunamente gli effetti di uno dei modi di oscillazione, quello di riferimento per il caso di carico in esame. Questo metodo è consigliato quando nella direzione in cui agisce il sisma esiste un modo che ha massa partecipante molto alta.

Per esempio si voglia studiare un sisma X. Supponiamo che il terzo modo abbia percentuale di massa partecipante in direzione X pari all'80% del totale. In questo caso si può amplificare l'effetto del terzo modo per un fattore tale da ottenere una massa partecipante pari al 100%. Se  $P$  è la percentuale di massa partecipante per il modo e per la direzione che interessa, gli effetti del singolo modo (precisamente il fattore di partecipazione) vengono moltiplicati per  $1/\sqrt{P}$ , ad esempio per l'80%,  $1/\sqrt{0,8}$ .

Questo metodo è applicabile su ogni modo, anche quelli a bassa massa partecipante. Occorre quindi prestare attenzione. L'uso con modi a bassa massa partecipante (alte frequenze) può servire per studiare se, su certi elementi, tipicamente ai piani alti, si ottengono sollecitazioni sensibilmente superiori a quelle ottenute amplificando il modo dominante. Il metodo in questione dà ottimi risultati su strutture aventi un modo dominante, e risultati in buon accordo con quelli ottenuti con NRC guide / CQC. **A differenza di quei metodi, questo metodo non ha bisogno di correzioni per riequilibrare la risposta**, ed il segno delle sollecitazioni è correttamente distribuito tra gli elementi. **Ai fini delle verifiche tutto ciò è ovviamente molto utile.**

**Nota bene:** per poter applicare questo metodo la direzione del sisma deve essere o X, o Y o Z (non può essere usato un sisma diretto come la bisettrice del piano xy).

A partire dalle versione 7.1 la soluzione mediante il metodo dello spettro di risposta viene eseguita – a richiesta – anche secondo il metodo dello spettro di risposta con fattore di errore. Per una estesa trattazione del tema, si rimanda all’articolo allegato: [Spettro di risposta con fattore di errore](#)  16701.

Il fattore di errore è un numero che è considerato in genere maggiore di 1 e dà conto del fatto che una certa grandezza al valore nominale,  $d^*$ , possa invece assumere un valore da questo diverso. Pertanto il programma indaga cosa succede se il valore “reale”  $d$  è più basso ( $d^*/f$ ) oppure più alto ( $d*f$ ) di quello nominale  $d^*$ .

Il fattore di errore non è né potrebbe essere un numero “rigoroso”, probabilistico o “esatto”, ma solo una (peraltro fondamentale) stima ingegneristica, motivata da considerazioni che dipendono dal singolo problema in esame. Il fattore di errore è un grado di libertà che il progettista mantiene per sé e che serve ad indagare situazioni prossime, ma non identiche, a quelle allo studio.

Vengono definiti i seguenti fattori di errore:

Sul fattore di struttura ( $f_{eq}$ ). Ovviamente il fattore di struttura “di calcolo” risulterà pari a  $q^*/f$ , essendo a favore di sicurezza il numero minore. Porre  $f_{eq}=1$  significa non variare il coefficiente di struttura nominale.

Sulla intensità di massa a parità di distribuzione ( $f_{eM}$ ). In genere spostamenti e sollecitazioni aumentano con la massa, e quindi generalmente il programma finirà con l’adottare una risposta con un livello di massa pari a  $M*f_{eM}$ . Porre  $f_{eM}=1$  significa non variare la intensità di massa. Questo fattore di errore è a parità di distribuzione, e quindi non c’entra nulla con l’eccentricità accidentale, che dovrà essere studiata a parte.

Sulla intensità del modulo elastico ( $f_{eE}$ ). In pratica la rigidità viene variata in modo omogeneo a parità di distribuzione. Ciò viene fatto anche quando nel modello compare più di

un materiale. Non esiste un caso valido in generale. Gli spostamenti tendono a diminuire all'aumentare di  $E$ , ma le azioni interne restano invariate o aumentano. Porre  $f_{eE}=1$  significa non variare il modulo di elasticità e quindi non variare la rigidezza.

Sul periodo ( $f_{eT}$ ) a causa di errori non dipendenti dalla intensità di massa o di rigidezza. Tale fattore di errore tiene in conto le incertezze sul periodo di calcolo dovute alla discretizzazione alle dimensioni geometriche, ecc..

In generale, detto  $T$  il periodo di un modo,  $C$  il suo coefficiente di risposta,  $X$  lo spostamento ad esso associato, e  $F$  la azione interna ad esso associata, valgono le seguenti espressioni per i fattori di errori derivati:

$$f_{eT} = f_{eT} \sqrt{\frac{f_{eM}}{f_{eE}}} \quad (*)$$

$f_{eC} = f_{eC}(T, f_{eT}, f_{eM}, f_{eE}, f_{eq})$  una funzione che dipende dallo spettro adottato

$$f_{eX} = f_{eC} f_{eT}^2$$

$$f_{eF} = f_{eM} f_{eC}$$

Il programma calcola dapprima dei periodi « lower bound » ed « upper bound » grazie alla (\*). Da questi può valutare dei coefficienti di risposta “lower bound” e “upper bound” e quindi dei fattori di errore su  $C$ ,  $f_{eC}$ . Fatto ciò, il programma indaga sugli spostamenti e sulle azioni interne mediante le due formule indicate, e quindi perviene ai massimi valori ( $>1$ ) per  $f_{eX}$  ed  $f_{eF}$ . A questo punto i valori “nominali” degli spostamenti saranno amplificati da  $f_{eX}$ , mentre i valori nominali degli sforzi saranno amplificati da  $f_{eF}$ . Il risultato è una sovrastima a favore di sicurezza, tenendo in conto possibili variazioni di fattore di struttura, della intensità di massa a parità di distribuzione, della intensità di rigidezza a parità di distribuzione, del periodo a causa di errori diversi da quelli indicati.

Poiché in generale  $f_{eX}$  ed  $f_{eF}$  saranno diversi, è normale che gli spostamenti in uscita non siano “coerenti” con le azioni interne calcolate sul modo. Il programma prende le variazioni che comportano, separatamente, il caso peggiore (spostamenti maggiori, azioni interne maggiori).

Un volta calcolati gli effetti modali con questo sistema, questi vengono poi combinati per le vie normali.

#### 4) Esempio di come usare il programma con la norma italiana NTC 2008 o NTC 2018

Si abbia una struttura dove per semplicità siano presenti solo due casi non sismici, il caso 1, permanente, ed il caso 2 variabile con valore quasi permanente nullo. Nel caso in cui siano presenti più casi le modifiche sono ovvie, solo molto più numerose le combinazioni.

TIPO	NOME
CASO 1: GRAVITA'	Peso proprio
CASO 2: VARIABILI	Folla


Si debba eseguire una analisi sismica con la nuova normativa.

Se si deve studiare ad esempio SLD ed SLV si opererà in questo modo.

a) Si definiranno con in comando [Edit-Azioni-Terremoti](#)<sup>[1045]</sup> i sismi SLD ed SLV, usando le sigle SLD ed SLV.

b) Si aggiungeranno 6 nuovi casi di carico di questo tipo:

CASO 3	SISMA_MODALE	SLV_Sisma X
CASO 4	SISMA_MODALE	SLV_Sisma Y
CASO 5	SISMA_MODALE	SLV_Sisma Z
CASO 6	SISMA_MODALE	SLD_Sisma X
CASO 7	SISMA_MODALE	SLD_Sisma Y
CASO 8	SISMA_MODALE	SLD_Sisma Z

Poi si definiranno 4 combi set con il comando [Edit-Combinazioni-Modifica insieme](#) <sup>1079</sup>, un combi set SLU, un combi set SLE, un combi set SLV ed un combi set SLD.

Nel combi set SLU si metteranno combinazioni allo SLU di tipo non sismico. In particolare non si farà uso dei casi da 3 a 8.

Nel combi set SLE si metteranno combinazioni allo SLE di tipo non sismico. In particolare, come nel caso precedente, non si farà uso dei casi da 3 a 8. Nella generazione automatica delle combinazioni ciò è possibile perchè è possibile rendere non attivi alcuni casi prima della generazione automatica.

Nel combi set SLD si metteranno solo combinazioni sismiche allo SLD che usano i casi 6, 7, 8.

Nel combi set SLV si metteranno solo le combinazioni sismiche allo SLV che usano i casi 3, 4, 5.

Questa strategia ha i seguenti pregi e difetti:

- pregio: mantiene distinti i combi set della sismica e quindi consente più agevolmente di indagare involuppi e altro che sia causato dai sismi in quanto tali
- difetto: dà luogo a ben 4 combi set anzichè 2.
- difetto: non vi è spazio (dato che i combi set sono al momento al massimo 6) per indagini che distinguano STR da EQU o GEO.

A questa strategia può essere sostituita la seguente.

Si definiscono due soli combi set, uno SLU ed uno SLE.

Nel combi set SLU si metteranno le combinazioni SLU non sismiche e le combinazioni sismiche che utilizzino i casi 3, 4, 5.

Nel combi set SLE si metteranno le combinazioni SLE non sismiche e le combinazioni sismiche che utilizzino i casi 6, 7, 8.

In questo caso si hanno i seguenti pregi e difetti:

- pregio: ci sono solo due combi set, uno SLU da verificarsi con i verificatori, e l'altro SLE da esaminare per quanto riguarda gli spostamenti.

- difetto: le combinazioni sismiche sono mescolate a quelle non sismiche
- pregio: ci sono altri 4 combi set disponibili per le combinazioni EQU e GEO.

La laboriosità di queste attività è dovuta alla norma, che non solo prevede SLU diversi per EQU, STR e GEO, ma prevede anche sino a 4 gruppi diversi di sismi. Tale ultima caratteristica è assente dall'Eurocodice 8.

e) si eseguirà l'analisi statica, modale ed a spettro di risposta. Questa ultima si occuperà sia dei casi 3,4,5 che dei casi 6,7,8, dato che sono referenziati due sismi (SLD ed SLV). E' da notare che la definizione delle combinazioni (i combi set) può essere fatta anche dopo l'esecuzione della analisi.

### **5) Come scegliere la modalità di calcolo degli spostamenti**

Gli approcci più recenti alla progettazione in zona sismica fanno uso del concetto di spettro di progetto, ottenuto dallo spettro di risposta elastico mediante riduzione per un opportuno fattore, detto fattore di struttura, che tiene in conto la duttilità del sistema e la sua capacità di dissipare energia.

Grazie all'impiego degli spettri di progetto, e del fattore di struttura  $q$ , è possibile progettare le strutture mediante forze minori di quelle che si otterrebbero con uno spettro elastico. L'abbattimento delle forze è tanto maggiore tanto maggiori sono le risorse di duttilità del sistema. Mentre le forze vengono abbattute, non così gli spostamenti, che non sono più legati alle forze da un legame di tipo lineare, data l'escursione in campo plastico della struttura.

Il programma che esegue la analisi a spettro di risposta, per default mantiene la coerenza tra spostamenti ed azioni interne data dal legame costitutivo, e quindi se le forze elastiche sono  $\mathbf{F}$  e gli spostamenti elastici  $\mathbf{u}$ , le forze di progetto sono  $\mathbf{F}/q$ , ed allora gli spostamenti coerenti con le forze  $\mathbf{F}/q$  sono dati da  $\mathbf{u}/q$ . Se risulta  $\mathbf{Ku}=\mathbf{F}$ , risulta anche  $\mathbf{K}(\mathbf{u}/q)=\mathbf{(F)/q}$ , ovvero è mantenuto il legame elastico.

Gli spostamenti  $u/q$  tuttavia, non sono gli spostamenti effettivamente sperimentati dall'oscillatore elasto-plastico. Questi sono molto maggiori e vengono normalmente stimati mediante la regola di egual spostamento come  $u$ , ovvero coincidono con quelli elastici. Nel caso in cui il periodo del modo associato sia inferiore al periodo di transizione  $T_C$ , allora il fattore per  $\mu$  qui moltiplicare gli spostamenti  $u/q$  ottenuti dalla analisi non è  $q$ , ma è

$$\mu = 1 + (q - 1) T_C / T_1 < 5q - 4$$

essendo  $T_1$  il periodo del modo considerato. Tale regola è applicata dal programma se si usano gli spettri in accordo alle NTC, all'EC8 ed alla Ordinanza 3274. Se invece si usano gli spettri ASCE, DM 1996 o utente, allora gli spostamenti ridotti vengono sempre moltiplicati per  $q$ .

Per default il programma calcola e memorizza nei casi di carico di tipo SISMA MODALE, dopo la esecuzione della analisi a spettro di risposta, gli spostamenti  $u/q$ . Dunque, per ottenere gli spostamenti "plastici" "effettivi" occorre moltiplicare per  $\mu$ . Ciò deve essere fatto dall'utente a valle della analisi a spettro di risposta, moltiplicando esplicitamente gli spostamenti ove questi siano direttamente utilizzati per verifiche correlate.

Una alternativa a questo approccio è chiedere al programma di calcolare direttamente gli spostamenti "plastici" e memorizzarli insieme agli sforzi ridotti dal fattore di struttura  $q$ . Ciò si fa nel [dialogo](#)<sup>627</sup> che consente di impostare la analisi a spettro di risposta. Tale opzione è disponibile a partire dalla versione 9.90 del programma. Il vantaggio è di avere gli spostamenti direttamente amplificati, lo svantaggio è che si perde il legame di proporzionalità tra spostamenti ed azioni interne (gli spostamenti non sono più correlati alle azioni interne mediante le rigidezze).

## 2.16.5 Analisi di buckling con BUCKL

### ANALISI DI BUCKLING

A partire dalla versione 10.0 Sargon dispone di un solutore per l'analisi di buckling. Dalla versione 10.5 esiste una versione LIGHT ed una versione FULL del modulo di buckling.

Questo solutore trova il numero richiesto di moltiplicatori critici *di ogni combinazione di carico selezionata*, e quindi non di una sola configurazione di carico ma di molte. Lanciando questo solutore viene eseguito un numero di analisi di buckling pari al numero delle combinazioni selezionate al momento della esecuzione del comando. Ogni analisi di buckling trova un certo numero di modi critici, quello richiesto dall'utente.

Sia  $\mathbf{K}$  la matrice di rigidezza elastica del sistema allo studio, e  $\mathbf{K}_G$  la sua matrice di rigidezza geometrica associata ad una certa combinazione (lineare) di carico. Si deve risolvere il problema agli autovalori

$$(\mathbf{K} + \alpha \mathbf{K}_G) \Psi = 0$$

dove  $\alpha$  è un opportuno moltiplicatore (incognito) e  $\Psi$  è la deformata critica ad esso associata. Si noti che siccome  $\mathbf{K}_G$  dipende dallo stato di sforzo membranale (in particolare dalle azioni assiali, positive di trazione e negative di compressione) si danno casi in cui il problema non è fisicamente significativo:

1. Quando non ci sono azioni assiali come in un problema in cui tutti gli elementi abbiano azioni assiali nulle (ad esempio un graticcio).
2. Quando queste sono tutte positive in modo che non esiste alcun  $\alpha$  positivo. In tal caso si dovrebbe invertire il segno delle azioni cosa che fisicamente di solito non ha senso (dato che le combinazioni includono l'effetto della gravità che è irreversibile).

Nel primo caso il programma dà un messaggio di avviso e si arresta: basterà deselectare la combinazione corrispondente e rilanciare l'analisi. Nel secondo caso il programma trova un moltiplicatore negativo.

E' possibile che venga trovato un moltiplicatore negativo anche quando una parte della struttura è tesa ed un'altra compressa, in modo che invertendo il segno delle azioni si trovi un moltiplicatore (negativo) il cui valore assoluto è minore del primo moltiplicatore positivo. In questo caso il programma troverà prima il moltiplicatore negativo di quello positivo. In generale può accadere che tutti i moltiplicatori trovati siano negativi e che quindi non sia stato reperito tra quelli indagati alcun moltiplicatore positivo. Se tale circostanza si verifica si può provare ad aumentare l'ordine del sottospazio (ovvero il numero degli autovalori



effettivamente cercati), in modo che oltre ai (primi in modulo) moltiplicatori negativi, vengano anche inclusi uno o più moltiplicatori positivi. Se ad esempio si chiede un solo modo e si dà un ordine del sottospazio pari a 10, nel caso in cui il modo trovato sia negativo, ciò implica che i primi 10 modi sono tutti con moltiplicatori negativi. Allora si potrà portare a 20 il numero dei modi cercati (ordine del sottospazio) in modo che tra i primi 20 modi (in modulo) ve ne sia almeno uno con moltiplicatore positivo: tale modo positivo sarà quello memorizzato essendosi chiesto un solo modo. Per la ragioni dette in certi casi può avvenire che ciò non si verifichi mai.

Dato che il solutore è di tipo iterativo, si deve specificare il massimo numero di iterazioni, la tolleranza sul moltiplicatore, l'ordine del sottospazio ed il numero di modi richiesto. Il metodo di soluzione è lo stesso del solutore LEDA, ovvero la *Subspace Iteration*. Di solito ciò che interessa è il primo modo o al più due o tre primi modi. Il valore di default proposto dal programma è 1 per il numero dei modi richiesto e 3 per l'ordine del sottospazio.

Non ha ovviamente senso eseguire una analisi di buckling se:

1. Non è già stata eseguita preventivamente una analisi statica che sia andata a buon fine (il che esclude la presenza di modelli ipostatici o labili).
2. Non sono state definite o non sono selezionate combinazioni.
3. Nessun elemento risulti mai teso o compresso.

Nella versione LIGHT del programma la matrice di rigidezza geometrica è assemblata unicamente per:

1. Elementi biella.
2. Elementi trave con o senza svincoli e con o senza nodi semirigidi.

Nella versione LIGHT non sono assemblate le matrici di rigidezza geometrica degli elementi:

- Piastra
- Membrana
- Solidi
- Trave su suolo elastico

- Molle

Questo vuol dire che l'analisi di buckling con il solutore WBUCKL-LIGHT ha senso solo per sistemi di travi e bielle nei quali la parte modellata con altri elementi non sia soggetta a fenomeni di instabilità. Non avrebbe ovviamente senso fare una analisi di buckling di un serbatoio modellato con elementi plate shell, usando la versione LIGHT del programma.

**La versione FULL del programma, invece, disponibile come modulo a parte, assembla la matrice di rigidezza geometrica dei seguenti elementi finiti:**

- Biella
- Trave
- Piastra sottile e spessa
- Membrana
- Solidi

ed è quindi adatta a eseguire analisi di buckling su modelli molto generali.

Una volta eseguita l'analisi i risultati sono accessibili dai comandi che si trovano sotto il menu **Post-Buckling**.

E' possibile [vedere le deformate critiche](#)<sup>[1196]</sup>, avere una [tabella con i moltiplicatori critici](#)<sup>[1197]</sup>, e [studiare il problema delle verifiche](#)<sup>[1198]</sup> mediante il cosiddetto [metodo generale](#)<sup>[368]</sup> che usa i moltiplicatori critici ( $\alpha_{cr}$ ) e quelli limite ( $\alpha_u$ ).

Il solutore usa una tecnologia sparse matrix e triangolarizza la matrice di rigidezza una volta sola, mentre la matrice di rigidezza geometrica dipende dalla combinazione allo studio. Ciò consente una analisi molto rapida anche per numerose combinazioni di carico.

Da un punto vista operativo l'analisi di buckling viene lanciata, esattamente come l'analisi statica, con il comando [Analizza](#)<sup>[617]</sup>.

## 2.16.6 Analisi non lineari con il solutore CURAN

### COME ESEGUIRE ANALISI NON LINEARI CON IL SOLUTORE CURAN (CURved ANalysis)

#### 1 Generalità.

A partire dalla versione 9.60 tra i solutori di Sargon è disponibile anche il solutore denominato CURAN (CURved ANalysis). Questo solutore è in fase di sviluppo e sarà il solutore di Sargon per i problemi nonlineari, rimpiazzando gradualmente il solutore SOCLEVER. CURAN è capace di gestire sia la nonlinearietà di materiale che quella geometrica (effetti del secondo ordine), che quella di contatto.

**La versione LIGHT di CURAN è eseguibile senza costi aggiuntivi per chiunque disponga del solutore statico CLEVER.** Questa versione **include i soli elementi truss e molla come elementi non lineari**, mentre tutti gli altri elementi sono trattati come elementi elastici lineari.

**La versione FULL di CURAN, invece, come elementi nonlineari include bielle, travi (a fibre), membrane, piastre, solidi, molle e nodi semirigidi.**

CURAN LIGHT	CURAN FULL
bielle	bielle
	travi
	membrane
	piastre
	solidi
molle	molle
	nodi semirigidi

CURAN dispone di un solutore interno sparse matrix, lo stesso già ampiamente testato all'interno di CLEVER. Ciò rende la soluzione dei problemi non lineari rapida ed efficiente. CURAN supporta sia il metodo di Newton completo (riassemblaggio ad ogni iterazione) sia il metodo di Newton modificato (assemblaggio all'inizio di ogni step di carico).

#### 2 Le nonlinearietà gestite da CURAN

## 2.1 Generalità

CURAN può gestire indipendentemente o contemporaneamente tre tipi di nonlinearità: la nonlinearità di materiale, la nonlinearità geometrica, e la nonlinearità di contatto.

La nonlinearità di materiale serve a trattare elementi che abbiano una legge costitutiva in cui non vi è un legame lineare tra sforzi e deformazioni, o che presentano, nel monoassiale, dissimmetria di comportamento (no-tension e no-compression). Dato che CURAN dispone anche del controllo della soluzione per mezzo di arc-length, è anche possibile seguire il ramo di softening, ovvero il ramo a pendenza negativa del legame costitutivo. CURAN può seguire i cicli di carico e scarico ed il comportamento incrudente per quei materiali per i quali sia disponibile. In particolare, per i metalli CURAN dispone di leggi di incrudimento isotropo, cinematico e misto ed è in grado di seguire il comportamento ciclico. Per il calcestruzzo al momento attuale le due leggi disponibili (parabola-rettangolo e Kent e Park modificata) non includono ancora il comportamento ciclico, ma solo quello monotono, che però è sufficiente per la gran parte delle applicazioni pratiche. La nonlinearità di materiale, se applicata per mezzo di leggi costitutive che presentano un *plateau*, dà luogo, al crescere del carico, a situazioni in cui si formano dei meccanismi. CURAN è in grado di prevedere il valore del parametro di carico adimensionale  $\lambda$  che corrisponde alla formazione di tali meccanismi. Il numero delle leggi costitutive disponibili sarà via via ampliato.

La nonlinearità geometrica serve a studiare gli effetti del secondo ordine. Tutti gli elementi finiti ad eccezione della molla dispongono della loro matrice di rigidezza geometrica, i cui valori dipendono dalle sollecitazioni che via via si sviluppano negli elementi. Al crescere degli sforzi di compressione si ha un progressivo indebolimento e la matrice di rigidezza geometrica tende a diventare negativa. La somma della matrice di rigidezza del materiale (eventualmente anch'essa non lineare) e della matrice di rigidezza geometrica, costituisce la matrice di rigidezza complessiva. Se si lavora in controllo di forza, CURAN segnala il livello del carico a cui corrisponde la perdita della condizione di definizione positiva della matrice complessiva. Una tale condizione segnala il raggiungimento di un punto singolare, che può

essere un punto limite o un punto critico. In altre parole, CURAN è in grado di valutare il livello del carico che corrisponde a un certo *carico critico*.

La nonlinearità di contatto è legata allo svilupparsi o allo svanire di forze reattive legate al contatto tra superfici che non si devono compenetrare. Questo tipo di nonlinearità è molto utile per studiare problemi di contatto monolatero tra superfici deformabili, per le quali la superficie di contatto finale sia incognita. Un importante campo di applicazione riguarda lo studio dei collegamenti delle strutture in acciaio (piastre di base, collegamenti flangiati). La nonlinearità di contatto comporta la "comparsa" e la "sparizione" di opportuni "elementi di contatto" che connettono i nodi di una superficie detta "contactor" (contatto), con gli elementi di un'altra superficie detta "target" (obiettivo). Da un punto di vista pratico la nonlinearità di contatto viene definita assegnando ad opportuni elementi piastra (a tre o quattro nodi e di tutti i tipi disponibili) un numero di "superficie contatto" o un "numero di superficie target".

Le tre nonlinearità possono essere attivate indipendentemente e quindi si possono avere questi tipi di analisi:

1. Nessuna nonlinearità
2. Solo NL di materiale.
3. Solo NL geometrica.
4. Solo NL di contatto.
5. NL di materiale e geometrica.
6. NL di materiale e di contatto.
7. NL geometrica e di contatto.
8. NL di materiale, geometrica e di contatto.

L'onere computazionale cresce al crescere del numero di nonlinearità attivate. L'analisi nonlineare è un calcolo specialistico e deve sempre essere condotta con attento giudizio esperto.

## 2.2 Nonlinearità di materiale

La nonlinearity di materiale è attivata assegnando agli elementi un materiale che presenti una qualche forma di nonlinearity, ovvero, che non sia indefinitamente elastico lineare. Se un elemento non riceve un materiale nonlineare, ma un materiale lineare, esso sarà trattato come elemento lineare per ciò che attiene alla nonlinearity di materiale.

Le leggi costitutive disponibili sono le seguenti:

- Indefinitamente elastico
- Elastico fragile
- Elastico non lineare
- Ramberg-Osgood
- Elastico perfettamente plastico
- Rigido plastico
- Elasto-plastico bilineare, trilineare o per punti
- Parabola-rettangolo (carico monotono in controllo di carico o arc-length)
- Kent e Park modificata (carico monotono in controllo di carico o arc-length)

Inoltre, per i nodi semirigidi, è disponibile la legge Li-Shen.

Tutti i precedenti comportamenti possono essere simmetrici, oppure no tension oppure no compression. E' inoltre possibile specificare le deformazioni ultime in trazione e/o compressione che corrispondono alla rottura e studiare le ridistribuzioni susseguenti alle rotture e/o lo svilupparsi di meccanismi (determinando il moltiplicatore limite).

Con CURAN LIGHT è possibile studiare problemi in cui le bielle (ad esempio i controventi) presentano comportamenti di questo tipo.

Gli elementi e le non linearità gestibili da CURAN FULL sono quindi:

- Bielle full reactive, no tension, no compression, con legge elastica lineare, bilineare, trilineare, elastica perfettamente plastica, rigido-plastica, Ramberg Osgood (elasticità non lineare), Parabola rettangolo e Kent e Park, e per le leggi plasticheadatte ai

metalli incrudimento cinematico, isotropo e misto. Criterio di snervamento di Von Mises. Gap. Rottura del materiale per eccesso di deformazione.

- Molle traslazionali e rotazionali con analoga legge costitutiva (stesse tipologie bielle).
- Molle per semirigidità di elementi beam con analoga legge costitutiva (e quindi anche semirigidità bilineari, con gap, elastiche perfettamente plastiche, ecc.).
- Elementi membrana a 3 e 4 nodi con legge costitutiva elasto plastica plane stress e incrudimento cinematico, isotropo e misto. Vari tipi di ritorno su luogo plastico.
- Elementi piastra a 3 e 4 nodi (integrazione di Lobatto). Legge costitutiva elasto plastica e incrudimento cinematico, isotropo e misto.
- Elementi solidi (tetra, brick, penta) in campo elasto plastico (tensore a sei componenti). Incrudimento cinematico, isotropo e misto.
- Elementi beam non lineari con non linearità concentrata nelle molle semirigide (tutte le leggi costitutive valide per le molle). Viene gestita la rottura per eccesso di deformazione del giunto.
- Elementi beam non lineari per non linearità di materiale: modello beam a fibre. Viene gestita la rottura della fibra generica per eccesso di deformazione. La generica fibra segue la legge del materiale (tutti i tipi di leggi costitutive menzionate); In seguito saranno probabilmente aggiunte più sezioni (ad esempio le formate a freddo con opportune trattazioni, le sezioni in c.a. o fibro-rinforzate e le composte) e funzionalità.
- Elementi beam aventi sia la non linearità dei nodi semi rigidi sia la non linearità del materiale (per le forme sezionali gestire dai modelli a fibre).

## 2.2 Nonlinearità geometrica

La nonlinearità geometrica è studiata per mezzo dell'assemblaggio di opportune matrici di rigidità geometrica per gli elementi. Gli elementi dotati di matrice di rigidità geometrica sono:

1. Gli elementi biella.
2. Gli elementi trave.
3. Gli elementi trave con nodi semirigidi (formulazione particolare).

4. Gli elementi membrana a tre e quattro nodi.
5. Gli elementi piastra sottile e spessa a tre e quattro nodi.
6. Gli elementi solidi a 4, 6 ed 8 nodi.

Detto  $\lambda$  il parametro di carico il problema può essere descritto in generale in questo modo:

$$[\mathbf{K}(\lambda) + \mathbf{K}_G(\lambda)] \mathbf{u} = \lambda \mathbf{p} \quad (1)$$

dove  $\mathbf{K}(\lambda)$  è la parte della matrice di rigidezza associata al materiale ed al possibile contatto, mentre  $\mathbf{K}_G(\lambda)$  è la matrice di rigidezza geometrica. Nel caso di materiale elastico lineare, la parte della matrice associata al materiale è costante

$$\mathbf{K}(\lambda) = \mathbf{K}_E$$

mentre nel caso di non linearità di materiale essa cambia in funzione della rigidezza via via diversa dei punti in cui lo sforzo è campionato. Nel semplice caso uniassiale, al diminuire del modulo elastico  $E$  delle fibre, o al suo modificarsi in seguito ad unloading, la matrice  $\mathbf{K}$  muta. Se si fa l'ipotesi (non sempre verificata) che le azioni interne crescano linearmente col carico, e se il materiale è elastico lineare, allora il problema (1) si semplifica come segue

$$[\mathbf{K} + \lambda \mathbf{K}_G] \mathbf{u} = \lambda \mathbf{p}$$

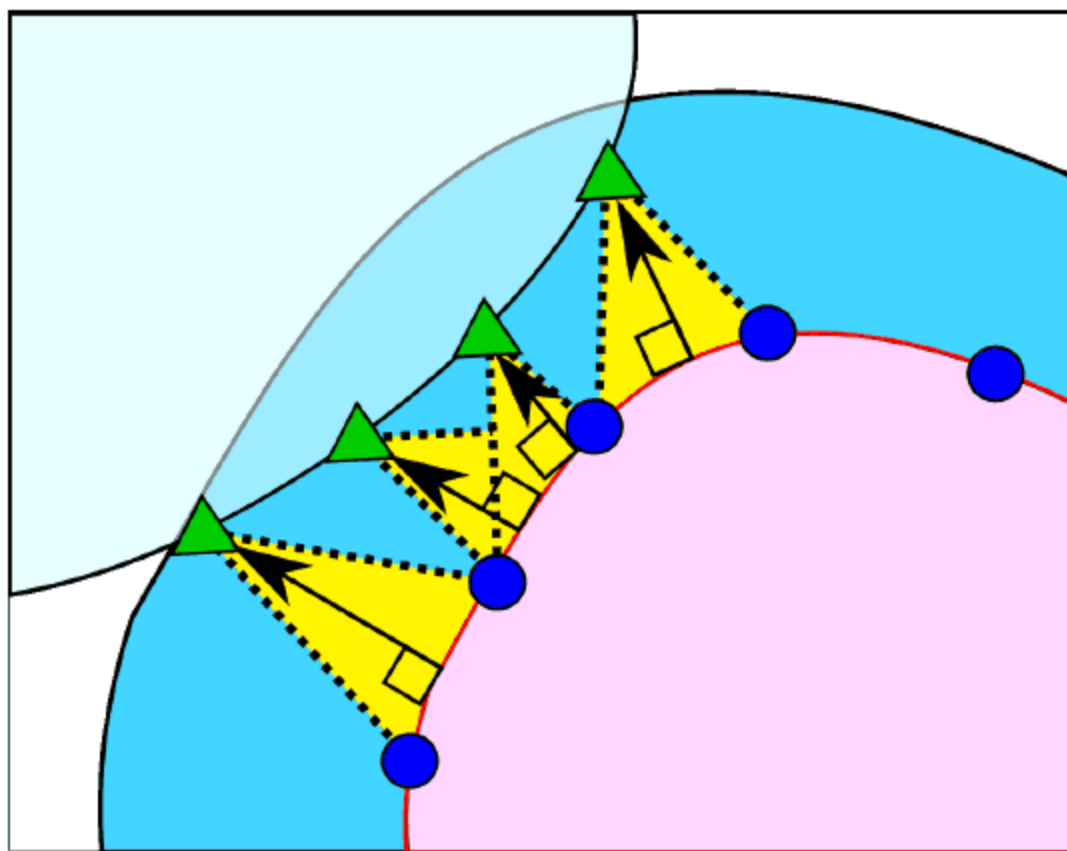
La condizione per cui

$$\det(\mathbf{K} + \lambda \mathbf{K}_G) = 0$$

individua in tal caso i carichi critici (analisi di buckling agli autovalori). E' evidente che il problema non lineare (1) è molto più generale, anche perché consente di studiare la interazione tra plasticità ed instabilità che è alla base degli approcci di legge. La disponibilità di elementi piastra non lineari sia per materiale che per effetti geometrici potrebbe consentire, ad esempio, di determinare il carico ultimo di elementi dei quali non siano disponibili adeguate curve di stabilità. CURAN, in altre parole, mette in condizione di svolgere analisi molto avanzate ed in linea con il corrente stato dell'arte.

### 2.3 Nonlinearità di contatto





(figura tratta da V. A. Yastrebov, *Introduction to Computational Contact Mechanics*, Centre des Matériaux, MINES, Paris Tech)

Date due superfici denominate contatto e obiettivo poste ad una certa distanza iniziale  $d$ , si può definire un tipo di nonlinearità, detta di contatto, nel modo che segue. Si consideri un generico nodo della superficie di contatto (in verde in figura). Se questo nodo dista dalla superficie obiettivo (i cui nodi sono in blu in figura) più di una certa soglia detta gap,  $g$ , il contatto non esiste. Se invece la distanza di questo generico nodo è inferiore a  $g$ , allora il contatto esiste e si sviluppano delle forze reattive, proporzionali a  $|d-g|$  tramite una *costante di penalty*  $K$ , che tendono ad allontanare il nodo della superficie di contatto dai nodi della superficie obiettivo. Non è necessario che i nodi della superficie di contatto corrispondano ai nodi della superficie obiettivo. Il brusco decadere a zero delle forze scambiate può dare luogo ad instabilità numerica. Per questo motivo CURAN implementa il metodo descritto nel testo di Crisfield, che associa una curva esponenziale atta a riscaldare i valori di rigidità (che altrimenti

passerebbero da  $K$  a 0 e da 0 a  $K$ ). Si tratta del metodo descritto nel volume Advanced Topics, e dovuto a Zavarise. In pratica si ha

$$t_N = \hat{t}_N + K(d - g) \quad \text{se } d < g$$

$$t_N = \hat{t}_N e^{\frac{K(d-g)}{\hat{t}_N}} \quad \text{se } d \geq g$$

dove:

- $t_N$  indica la forza normale scambiata tra il nodo della superficie di contatto e i nodi della superficie obiettivo (questa forza si ripartisce sui nodi obiettivo in misura dipendente dalla loro posizione, i nodi obiettivo sono i tre o quattro nodi di un elemento prescelto come target tra quelli della superficie target);
- $d$  è la distanza tra le superfici, che varia nel corso della analisi al progredire della deformazione e della applicazione delle forze;
- $g$  è il gap preimpostato;
- $K$  è una costante di penalty (ha le dimensioni di una rigidità traslazionale, forza diviso spostamento);
- il termine  $t_N$  con soprassegno è una costante negativa che ha la unità di misura di una forza.

Con questa formulazione, che stabilizza di molto il problema da un punto di vista numerico, le superfici si scambiano delle forze anche quando il gap è aperto, anche se tali forze decrescono molto rapidamente (esponenzialmente) a zero.

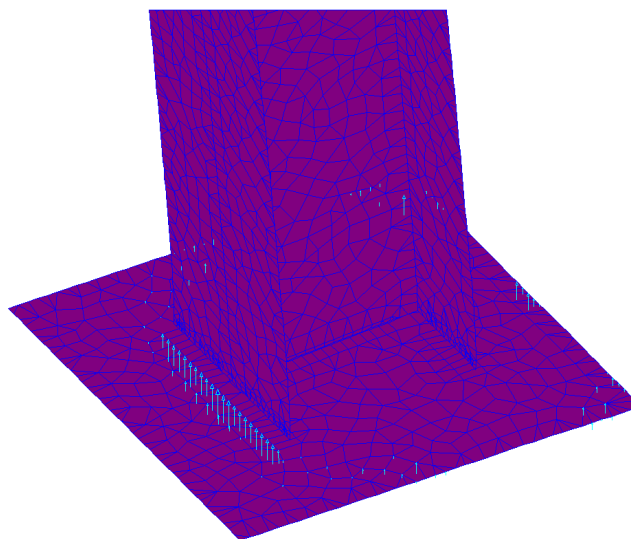
Da un punto di vista sostanziale, la nonlinearità di contatto corrisponde alla generazione automatica di tanti elementi di contatto fittizi (grosso modo in giallo in figura), la cui rigidità cambia in funzione della deformazione, un po' come si fosse una qualche "deformazione" atta a mutare la rigidità.

La nonlinearità di contatto può comportare un onere computazionale molto forte. E' bene adottare strategie di soluzione che comportino incrementi di carico modesti, in specie nella fase iniziale, quando la superficie di contatto è incognita e deve essere determinata con le iterazioni.

I risultati di una analisi di questo tipo possono essere controllati con il comando [Post-Reazioni Vincolari-Mostra](#).<sup>[1183]</sup> Infatti, le reazioni scambiate tra i nodi vengono salvate dal solutore sotto

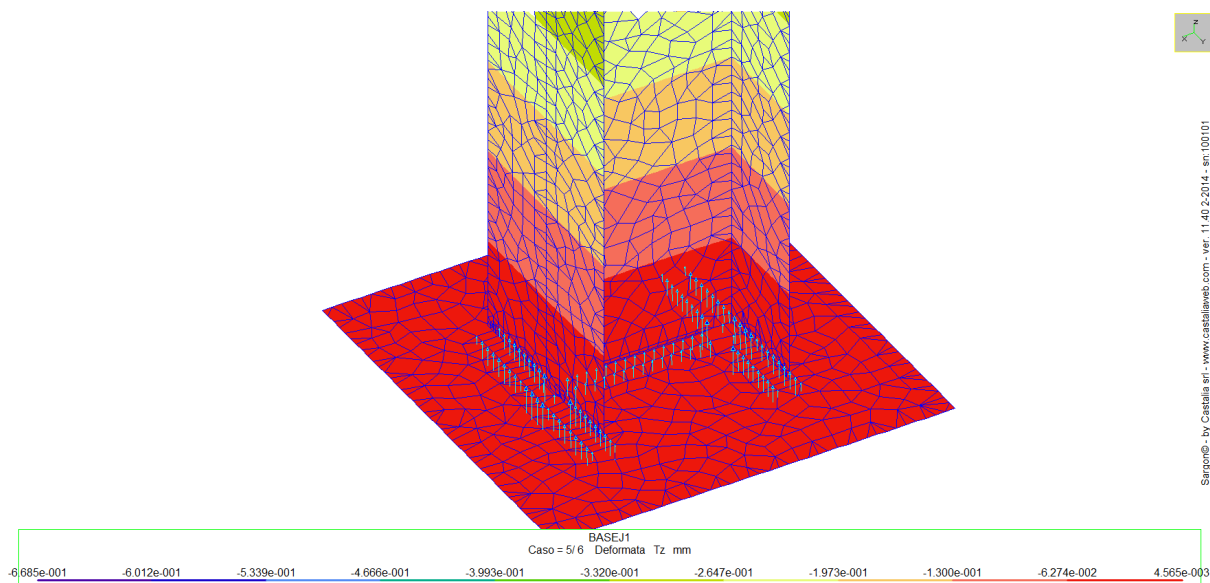
forma di residui e quindi possono essere visualizzate come reazioni vincolari. A causa della adozione del metodo di Zavarise, è possibile che forze di trazione molto piccole siano presenti nella soluzione finale. La loro presenza, se, come dovrebbe data la legge adottata, si tratta di forze molto molto piccole, non inficia la bontà della soluzione.

Nella figura successiva si vede il risultato di una analisi con nonlinearità di contatto relativa a una piastra di base.



Sargon® - by Castalia srl - [www.castaliaweb.com](http://www.castaliaweb.com) - ver. 11.40.2-2014 - sn 100101

L'elemento è inflesso e lungo la flangia compressa si sviluppano forze locali di contatto. Intorno alle zone dove sono presenti dei tirafondi tesi si sviluppano delle forze di contatto (effetto leva) dovute alla controflessione della piastra di base indotta dal tiro dei bulloni. Nel caso di compressione semplice (figura successiva), dato che la piastra è abbastanza sottile, si sviluppano delle forze di contatto in una regione (superficie di contrasto) tutta intorno alla impronta della colonna, che ricalca da vicino quella proposta da Eurocodice 3 parte 1.8.



Sargon® - by Castalia srl - www.castaliaweb.com - ver: 11.40 2-2014 - sn:00101

### 3 File gestiti da CURAN

Curan gestisce i seguenti file:

.CUI	file di input formattato
.COG	file LOG con i messaggi nel corso della esecuzione
.COU	file ASCII di output
.SDB	file binario di output (sforzi)
.DDB	file binario di output (spostamenti)
.RDB	file binario di output (reazioni vincolari)
.FDB	file binario con i risultati delle fibre (elementi beam a fibre)
.PMC	file binario contenente le <a href="#">curve</a> <sup>237</sup> richieste prima dell'analisi
.TEMPX	file temporanei che possono essere eliminati

Tutti questi file sono creati automaticamente. Per le successive operazioni di post processing sono necessari i soli file .SDB, .DDB, .RDB e .PMC.

### 4 Terminologia

Nella descrizione del funzionamento di CURAN si fa uso di una terminologia che deve essere ben compresa. In questa sezione si danno alcune importanti definizioni.

**Caso di carico:** un insieme di forze che vengono applicate contemporaneamente in modo gradualmente crescente da 0 ad 1, e che vengono applicate alla struttura a partire da una situazione di sforzi e spostamenti nulli. La presenza di più casi di carico non costituisce un load path.

**Stazione di carico (load station):** un insieme di forze che vengono applicate contemporaneamente in modo gradualmente crescente con intensità scalata da 0 ad 1, e che vengono applicate sulla struttura a partire da una situazione di spostamenti e sforzi non nulli, ottenuti in generale da una stazione di carico precedente. La successione di più stazioni di carico costituisce un load path.

**Passo di carico (load step):** nella applicazione di un caso di carico o di una stazione di carico un load step costituisce l'applicazione di un incremento di carico di intensità scalata compresa tra 0 ed 1, ed atto ad aggiungersi a precedenti passi di carico, con il fine di raggiungere il pieno completamento del caso di carico o della stazione di carico, ovvero il raggiungimento della intensità completa e scalata di 1.

**Dimensione del passo di carico (step size):** è un numero compreso tra 0 ed 1. Se la dimensione del passo di carico è prefissata essa è eguale a  $1/nstep$ , dove  $nstep$  è il desiderato numero di passi di carico. Se la dimensione del passo di carico è invece determinata automaticamente, allora la dimensione del passo di carico è inizialmente pari a  $1/nstep$  e viene poi adeguata nel corso dell'analisi in funzione del grado di nonlinearietà riscontrata.

**Iterazione:** l'applicazione di uno step di carico avviene mediante un procedimento iterativo. In ogni iterazione vengono calcolate le forze interne e i residui e la norma dell'indice di errore (sia essa la variazione di spostamento o le forze non equilibrate) viene raffrontata con una opportuna misura di errore.

**Norma dell'errore:** dato un vettore indice di errore la sua norma può essere di due tipi. A) La SRSS, radice quadrata della somma dei quadrati. B) Il massimo valore in modulo dei termini del vettore. Come vettore dell'indice di errore si può prendere, in generale: A) il vettore delle forze non equilibrate da applicare alla iterazione successiva; B) il vettore degli spostamenti

aggiuntivi della ultima iterazione; C) il lavoro fatto dal vettore delle forze applicate all'ultima iterazione per la variazione di spostamento della ultima iterazione.

**Punto limite:** se nel corso della applicazione dei carichi la struttura arriva in qualche parte ad essere un meccanismo ciò viene segnalato e la elaborazione si arresta. Il livello del moltiplicatore dei carichi (del caso di carico o della stazione di carico corrente) compreso tra 0 ed 1 a cui corrisponde il punto limite viene stampato. L'elaborazione prosegue con il caso di carico successivo. Nel caso di carico in cui si ha un meccanismo, restano forze non equilibrate dato che viene scritto il quadro di spostamenti, deformazioni e sforzi corrispondente al punto immediatamente precedente il punto limite.

**Moltiplicatore dei carichi:** è un numero adimensionale compreso tra 0 (all'inizio del caso di carico o della stazione di carico) ed 1 (alla fine).

**Strategia di analisi:** CURAN prevede attualmente il metodo di Newton completo ed il metodo di Newton modificato.

**Arc-length:** è un metodo di analisi che consente di seguire il ramo *softening* di una struttura, ovvero incrementi di spostamento a cui corrispondono decrementi di carico. Si può chiedere il passaggio automatico dal controllo di forza al controllo di arc-length una volta che siano verificate certe condizioni.

## 5 Strategie di lavoro con CURAN

CURAN può essere usato in vari modi, al fine di ottenere varie informazioni. Le note seguenti si riferiscono alla versione attualmente rilasciata.

Due sono le possibili strategie di analisi usando CURAN: la prima consiste nell'esaminare tutte le combinazioni di carico come "casi di carico" a sé stanti ripartendo ogni volta da zero; la seconda strategia di analisi consiste nel seguire la struttura lungo un load path, costituito dalla successione di un opportuno numero di stazioni di carico.

Come è noto in ambito non lineare non vale il principio di sovrapposizione degli effetti, quindi la risposta della struttura dipende dalla successione con cui sono applicati i carichi  $A+B$  può dare risultati diversi da  $B+A$ . In teoria se si devono esaminare  $n$  combinazioni di carico bisognerebbe esaminare, per ognuna delle combinazioni, un certo numero di percorsi di carico. Ciò porterebbe a un onere computazione molto forte e quindi di solito non si fa. La

norma stessa consente di applicare tutte le azioni che compongono una certa combinazione, contemporaneamente e scalando l'aggregato da 0 ad 1. Ciò consente di trattare ogni combinazione di carico del modello lineare come un "caso di carico" nel modello non lineare.

E' tuttavia anche possibile esaminare la successione degli effetti che si creano applicando le azioni in modo da assegnare prima i carichi associati a una causa fisica, poi le azioni associate a un'altra causa fisica, e così via.

Per chiarire le idee supponiamo per semplicità di aver esaminato un modello lineare con tre casi di carico G, Q, W e ad esempio solo quattro combinazioni:

$$1,4G+1,5Q+1,05W$$

$$1,4G+1,05Q+1,5W$$

$$1G+1,5W$$

$$G+1,5Q$$

Fatta l'analisi lineare (che sfrutta il principio di sovrapposizione degli effetti) potremo desiderare di fare un'analisi non lineare. Se decidiamo di avvalerci della possibilità di normativa di aggregare G,Q e W e farli crescere assieme, potremo operare nel seguente modo:

- a) Salviamo il modello lineare con un altro nome
- b) Con il comando Edit-Casi-Combina generiamo una situazione in cui ci sono 4 casi di carico già con le azioni G, Q, W combinate in modo giusto.
- c) Eseguiamo un'analisi non lineare con CURAN sui quattro "casi di carico" combinati (essi corrispondono in realtà alle combinazioni del modello lineare).

Se invece vogliamo studiare il problema della successione dei carichi seguendo il load path relativo alla combinazione 2, allora possiamo fare così:

- a) Salviamo il modello lineare con un altro nome
- b) Cancelliamo tutte le combinazioni
- c) Aggiungiamo tre nuove combinazioni così fatte:
  1. 1,4G
  2. 1,05Q
  3. 1,5W
- d) Con il comando Edit-Casi-Combina generiamo automaticamente a partire dalle combinazioni una situazione in cui il load path della combinazione 2 è schematizzato con tre load station: nella prima si mette il permanente per 1,4; nella seconda il variabile per 1,05; nella terza il vento per 1,5.

e) Eseguiamo CURAN chiedendo che venga eseguito un load path.

E' da notare che i load path possibili per la combinazione 2 sono in teoria infiniti: nessuno sa in che modo i carichi si succederanno sulla struttura. Un' ipotesi che di solito si fa è quella di applicare prima i permanenti, poi i variabili di lunga durata ed infine i variabili di breve durata, come abbiamo fatto.

### Comandi utili all'uso di CURAN

I comandi utili all'uso di CURAN sono i seguenti:

#### [Edit-Proprietà-Materiali](#)<sup>[999]</sup>

Questo comando consente di aggiungere un materiale specificandone anche le proprietà non lineari. Tra i materiali di archivio sono stati aggiunti materiali PP (perfettamente plastici), EP2 (elasto plastici bilineari), NC (no compression) e NT (no tension). Se il materiale non è presente in archivio (come è probabile dato che ad un materiale lineare corrispondono decine di possibili modelli costitutivi non lineari) è possibile aggiungerlo ex novo, avendo cura di usare un nome univoco.

#### [Edit-Proprietà-Modifica materiale](#)<sup>[1012]</sup>

Si può usare questo comando per modificare le proprietà di un materiale non lineare precedentemente introdotto, così sperimentando varie possibilità.

#### [Edit-Vincoli-Svincoli delle travi](#)<sup>[1024]</sup>

Questo comando consente di assegnare nodi semirigidi nonlineare agli estremi degli elementi beam.

#### [Edit-Proprietà-Aggiungi semirigidezza](#)<sup>[1014]</sup>

Questo comando consente di aggiungere una semirigidezza che potrà essere assegnata ai nodi semirigidi.

#### [Edit-Proprietà-Modifica semirigidezza](#)<sup>[1015]</sup>



Questo comando consente di modificare una semirigidezza tra quelle definite nel modello.

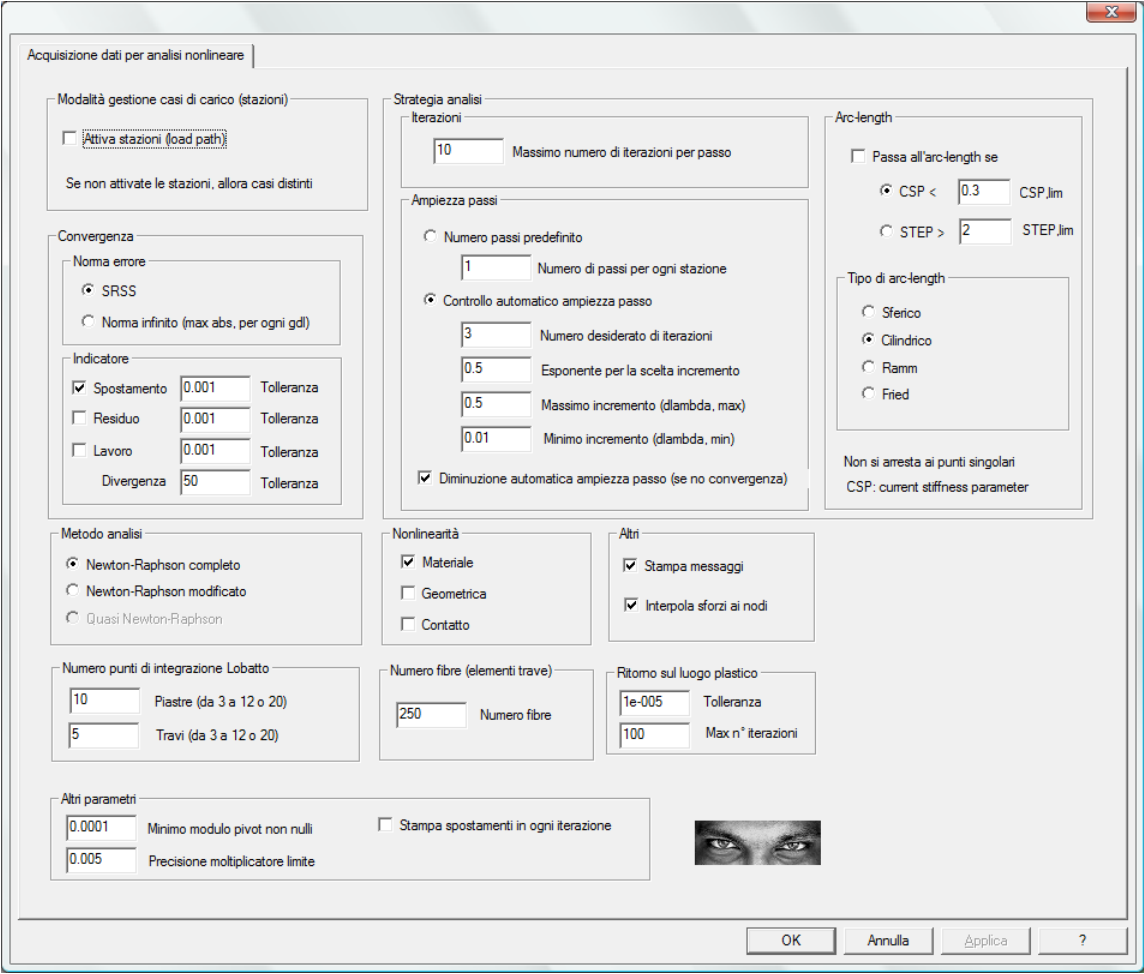
### Edit-Casi-Combina

Questo comando serve a bypassare il problema della mancata validità del principio di sovrapposizione degli effetti. Nei paragrafi precedenti abbiamo visto due esempi di uso di questo comando.

### File-Analizza

Con questo comando si imposta il funzionamento di CURAN e lo si lancia.

## 6 Le impostazioni di funzionamento di CURAN



Acquisizione dati per analisi nonlineare

**Modalità gestione casi di carico (stazioni)**

☐ Attiva stazioni (load path)

Se non attivate le stazioni, allora casi distinti

**Convergenza**

**Norma errore**

☒ SRSS

☐ Norma infinito (max abs, per ogni gdl)

**Indicatore**

<input checked="" type="checkbox"/> Spostamento	0.001	Tolleranza
<input type="checkbox"/> Residuo	0.001	Tolleranza
<input type="checkbox"/> Lavoro	0.001	Tolleranza
Divergenza	50	Tolleranza

**Metodo analisi**

☒ Newton-Raphson completo

☐ Newton-Raphson modificato

☐ Quasi Newton-Raphson

**Numero punti di integrazione Lobatto**

10	Piastre (da 3 a 12 o 20)
5	Travi (da 3 a 12 o 20)

**Strategia analisi**

**Iterazioni**

10 Massimo numero di iterazioni per passo

**Ampiezza passi**

☐ Numero passi predefinito

1 Numero di passi per ogni stazione

☒ Controllo automatico ampiezza passo

3 Numero desiderato di iterazioni

0.5 Esponente per la scelta incremento

0.5 Massimo incremento (dlambda, max)

0.01 Minimo incremento (dlambda, min)

☒ Diminuzione automatica ampiezza passo (se no convergenza)

**Arc-length**

☐ Passa all'arc-length se

☒ CSP < 0.3 CSP.lim

☐ STEP > 2 STEP.lim

**Tipo di arc-length**

☐ Sferico

☒ Cilindrico

☐ Ramm

☐ Fried

Non si arresta ai punti singolari  
CSP: current stiffness parameter

**Nonlinearità**

☒ Materiale

☐ Geometrica

☐ Contatto

**Altri**

☒ Stampa messaggi

☒ Interpolazione sforzi ai nodi

**Numero fibre (elementi trave)**

250 Numero fibre

**Ritorno sul luogo plastico**

1e-005	Tolleranza
100	Max n° iterazioni

**Altri parametri**

0.0001	Minimo modulo pivot non nulli
0.005	Precisione moltiplicatore limite

☐ Stampa spostamenti in ogni iterazione

OK Annulla Applica ?

Informazioni dettagliate saranno date nella spiegazione del [dialogo](#)<sup>621</sup> per la impostazione dell'analisi non lineare.

Il flag **Attiva stazioni** decide che tipo di funzionamento dare al solutore, ovvero se farlo funzionare a casi di carico o a stazioni. I risultati ottenuti saranno ovviamente completamente diversi.

Degli altri parametri si è accennato brevemente. Qui si vuole dare qualche ulteriore ragguaglio su alcuni di essi.

Nel controllo automatizzato della ampiezza del passo, si usa un esponente compreso tra 0,5 ed 1. La formula (si veda il Crisfield, *Nonlinear Finite Element Analysis for Solid and Structures*, Wiley) è la seguente:

$$\Delta\lambda_n = \Delta\lambda_{n-1} \left( \frac{I_d}{I_{n-1}} \right)^\alpha$$

dove  $I_d$  è il numero desiderato di iterazioni,  $I_{n-1}$  è il numero di iterazioni al passo precedente,

$\alpha$  è l'esponente di cui si sta parlando e  $\Delta\lambda$  è l'incremento di carico adimensionale.

Il valore così calcolato di incremento ha poi un massimo e un minimo che non possono essere superati, dati dai valori **Massimo incremento** e **Minimo incremento**.

Se non si ha la certezza che venga attivata una significativa non linearità si può lasciare come numero di passi di carico per ogni stazione il numero 1. Semmai tale numero potrà essere ridotto ove si verifichi una certa difficoltà di convergenza. Analogamente l'entità della norma dell'errore ed il numero di tali norme, dovrebbe essere deciso in funzione della severità del problema allo studio.

## 7 Le leggi costitutive supportate da CURAN.

### **Deformazioni ultime**

Tutte le leggi costitutive utilizzano le deformazioni ultime positiva *epsup* e negativa *epsum*. Nel caso in cui il materiale sia elastico lineare, esso trova comunque un limite nel raggiungimento delle deformazioni ultime: se queste vengono raggiunte il materiale “si rompe” la tensione precipita a zero e l'elemento non reagisce più (se si tratta del punto di Gauss di un elemento, è questo ad essere inattivato). Pertanto la simulazione di un materiale elastico indefinitamente elastico deve essere ottenuta mediante la impostazione di elevate deformazioni di rottura. Il valore proposto è 0,02, corrispondente a

$210000 \times 0,02 = 4200 \text{ MPa}$  per un acciaio normale. Se il materiale è plastico, il flusso plastico viene interrotto al raggiungimento della deformazione limite, innescando la rottura.

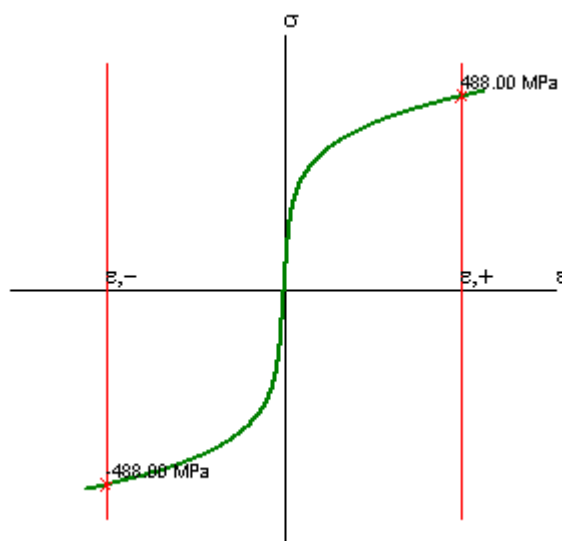
### ***No tension- no compression***

Tutte le leggi costitutive possono essere opzionalmente rese no tension o no compression. Se non viene raggiunta la deformazione ultima in caso di inversione del carico il materiale può ricominciare a reagire ove il segno della deformazione si inverte. Se invece viene raggiunta la deformazione ultima, allora anche un'eventuale inversione di segno lascia inalterato lo stato di rottura.

### ***Indefinitamente elastica***

L'indefinitamente è legato alla ampiezza delle deformazioni ultime.

### ***Ramberg-Osgood***



$$E=210000; K = 1000; n = 0.2; \epsilon_{su} = +/-0.03$$

La legge di Ramberg-Osgood è una legge di tipo elastico non lineare, quindi il materiale non dissipa. Essa è descritta dalla seguente equazione:

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} + \left( \frac{\sigma}{K} \right)^{\frac{1}{n}}$$

La formula del lavoro originario è lievemente diversa dalla precedente, anche se a questa si può ricondurre con un' opportuna scelta dei parametri. Nel lavoro originario di Ramberg-Osgood la formula è:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + K' \left( \frac{\sigma}{E} \right)^{n'}$$

Il legame tra i parametri nelle due formulazioni è il seguente:

$$n = \frac{1}{n'}$$

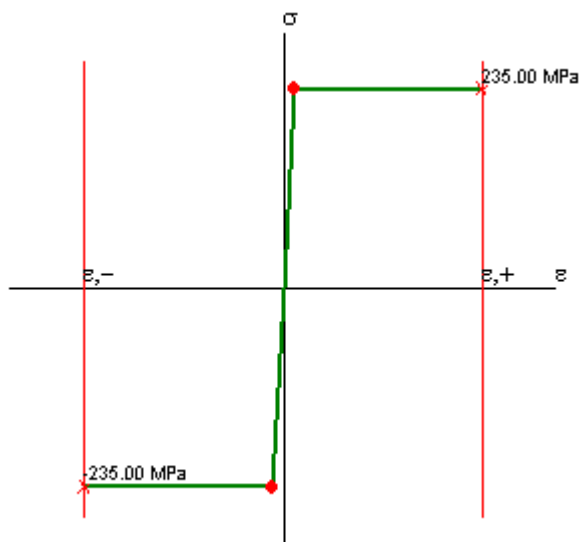
$$\frac{1}{K} = K' \left( \frac{1}{E} \right)^{n'}$$

Dalla seconda delle quali si ottiene, elevando ambo i membri alla  $n$ , facendo il reciproco di ambo i membri

$$K = \frac{E}{K'^n}$$

Nel caso in cui vi sia solo loading, la legge di Ramberg-Osgood può anche essere utilizzata per simulare situazioni elasto plastiche, dato che la nonlinearità del suo andamento può simulare leggi elasto plastiche in fase di loading.

### *Elastica-perfettamente plastica*



$$E=210000; \sigma_y=235\text{MPa. } \epsilon_{su} = \pm 0.02.$$

Questa legge è individuata dai seguenti parametri:

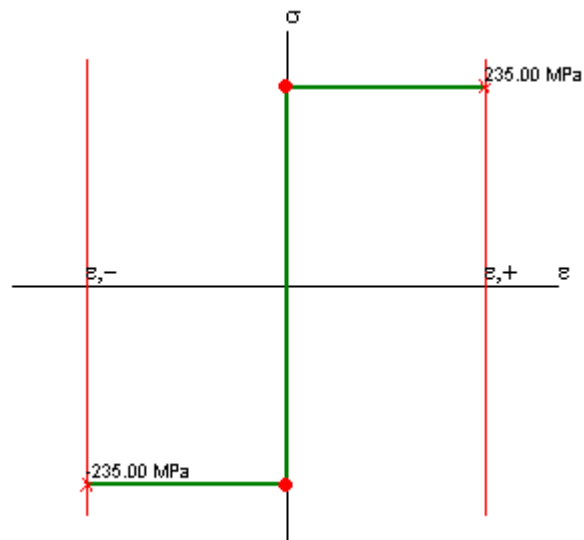
$E$  modulo di elasticità in fase lineare

$\sigma_y$  tensione di snervamento

$\nu$  coefficiente di Poisson

Il flusso plastico avviene senza incrudimento.

### ***Rigida-perfettamente plastica***



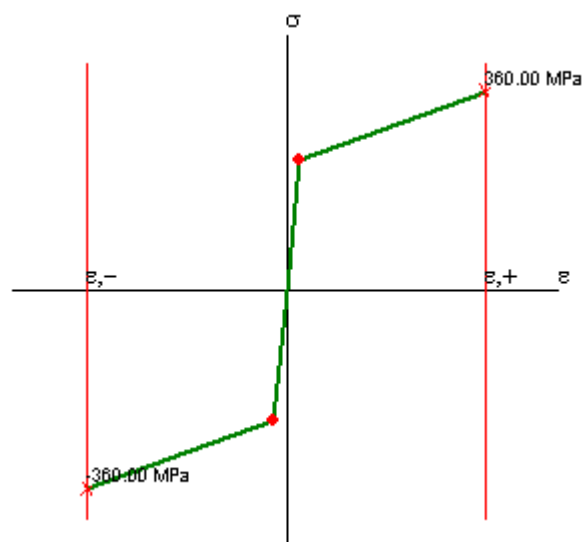
Questa legge è individuata dai seguenti parametri:

$\sigma_y$             tensione di snervamento

$\nu$               coefficiente di Poisson

Numericamente la rigidezza infinita è simulata con  $E = 1.e12$ .

### ***Elasto-plastica bilineare***



$$\varepsilon_1=0.001119047; \sigma_1=235; \varepsilon_2=0.01678; \sigma_2=360;$$

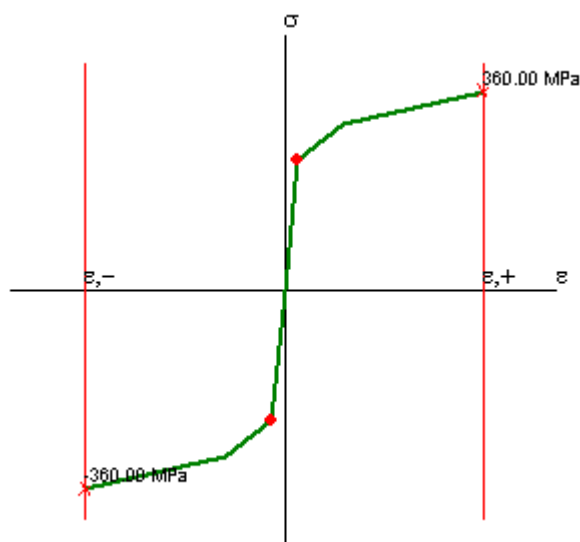
Questa legge è individuata dai seguenti parametri:

$\nu$	coefficiente di Poisson
$\varepsilon_1$	deformazione allo snervamento
$\sigma_1$	tensione allo snervamento
$\varepsilon_2$	deformazione estrema
$\sigma_2$	tensione corrispondente alla deformazione estrema

Non sono ammesse estrapolazioni, quindi è buona cosa far corrispondere la deformazione estrema con la deformazione ultima. Si assume che la legge – se non si è attivata l'opzione no tension o no compression – sia simmetrica.

Il tipo di incrudimento può essere isotropo, cinematico o misto.

### ***Elasto-plastica trilineare***



$$\varepsilon_1=0.001119047; \sigma_1=235; \varepsilon_2=0.005; \sigma_2=300; \varepsilon_3=0.01678; \sigma_3=360;$$

Questa legge è individuata dai seguenti parametri:

$\nu$	coefficiente di Poisson
$\varepsilon_1$	deformazione allo snervamento
$\sigma_1$	tensione allo snervamento
$\varepsilon_2$	deformazione intermedia
$\sigma_2$	tensione corrispondente alla deformazione intermedia
$\varepsilon_3$	deformazione estrema
$\sigma_3$	tensione corrispondente alla deformazione estrema

Non sono ammesse estrapolazioni, quindi è buona cosa far corrispondere la deformazione estrema con la deformazione ultima. Si assume che la legge – se non si è attivata l'opzione no tension o no compression – sia simmetrica.

Il tipo di incrudimento può essere isotropo, cinematico o misto.

### ***Elasto-plastica per punti***

In questo caso, oltre al coefficiente di Poisson, si danno tante coppie di valori ( $\varepsilon$ ,  $\sigma$ ) tanti sono i punti definiti. Deve sempre essere inclusa l'origine. I punti sono ordinati per

deformazioni crescenti (prima le massime deformazioni negative, poi le negative, poi l'origine, poi le deformazioni positive, poi la massima deformazione positiva).

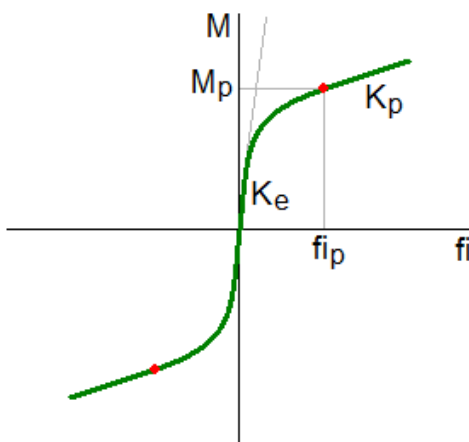
Non sono ammesse estrapolazioni, quindi è buona cosa far corrispondere la deformazione estrema (positiva e negativa) con la deformazione ultima.

Il tipo di incrudimento può essere isotropo, cinematico o misto.

### ***Li-Shen (nodi semirigidi)***

Questa legge costitutiva serve per i nodi semirigidi ed è definita in [1]. Vanno forniti i seguenti parametri:

$K_e$	initial stiffness
$K_p$	hardening stiffness
$f_i^p$	rotazione corrispondente a $M_p$
$M_p$	momento plastico



[1] *Advanced Analysis and Design of Steel Frames*, Guo-Qiang Li and Jin-Jun Li, Wiley, 2007.

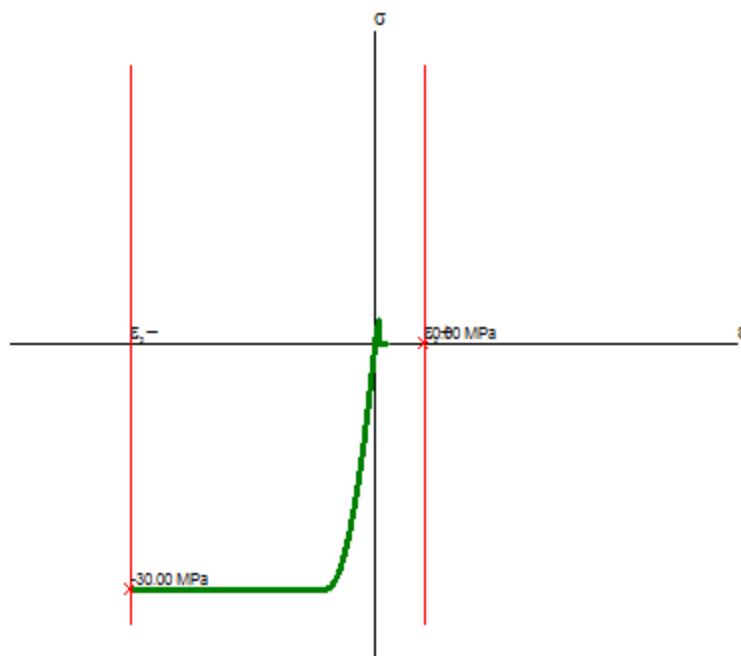
### **• Parabola rettangolo (carico monotono)**

Per la legge costitutiva di tipo parabola-rettangolo vanno forniti i seguenti parametri (tutti positivi, anche se per il programma le compressioni sono negative):

$f_c$	tensione limite di compressione del calcestruzzo
$\varepsilon_{c0}$	deformazione associata alla tensione limite
$E_t$	modulo elastico a trazione



$f_t$             tensione limite a trazione  
 $\nu$              coefficiente di Poisson



$$\sigma = -f_c \left( \frac{2|\varepsilon|}{\varepsilon_{c0}} - \frac{\varepsilon^2}{\varepsilon_{c0}^2} \right) \quad \text{se } -\varepsilon_{c0} \leq \varepsilon < 0$$

$$\sigma = -f_c \quad \text{se } \varepsilon < -\varepsilon_{c0}$$

$$\sigma = \varepsilon E_t \quad \text{se } \varepsilon \leq \frac{f_t}{E_t}$$

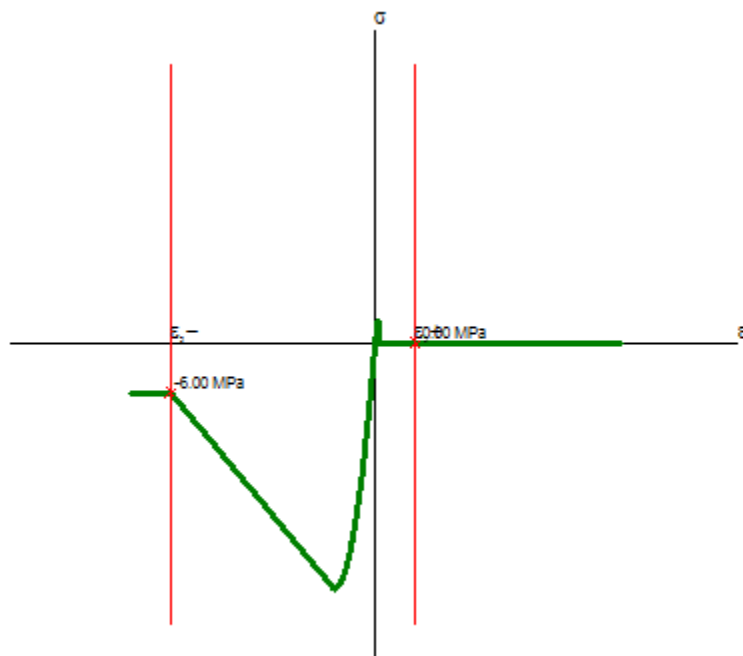
$$\sigma = 0 \quad \text{se } \varepsilon > \frac{f_t}{E_t}$$

• **Kent e Park modificato (carico monotono)**

Per la legge costitutiva di Kent e Park modificata vanno forniti i seguenti parametri (tutti positivi, anche se per il programma le compressioni sono negative):

$f_c$             tensione limite di compressione del calcestruzzo  
 $\varepsilon_{c0}$         deformazione associata alla tensione limite  
 $Z$             pendenza del ramo di softening  
 $E_t$            modulo elastico a trazione  
 $f_t$             tensione limite a trazione

v                      coefficiente di Poisson



La legge di Kent e Park implementata prevede un residuo di resistenza pari a  $-0,2f_c$ .

$$\varepsilon_{c20} = \varepsilon_{c0} + \frac{0,8}{Z} \quad Z \neq 0$$

$$\varepsilon_{c20} = 0,1 \quad Z = 0$$

$$\sigma = -f_c \left( \frac{2|\varepsilon|}{\varepsilon_{c0}} - \frac{\varepsilon^2}{\varepsilon_{c0}^2} \right) \quad \text{se } -\varepsilon_{c0} \leq \varepsilon < 0$$

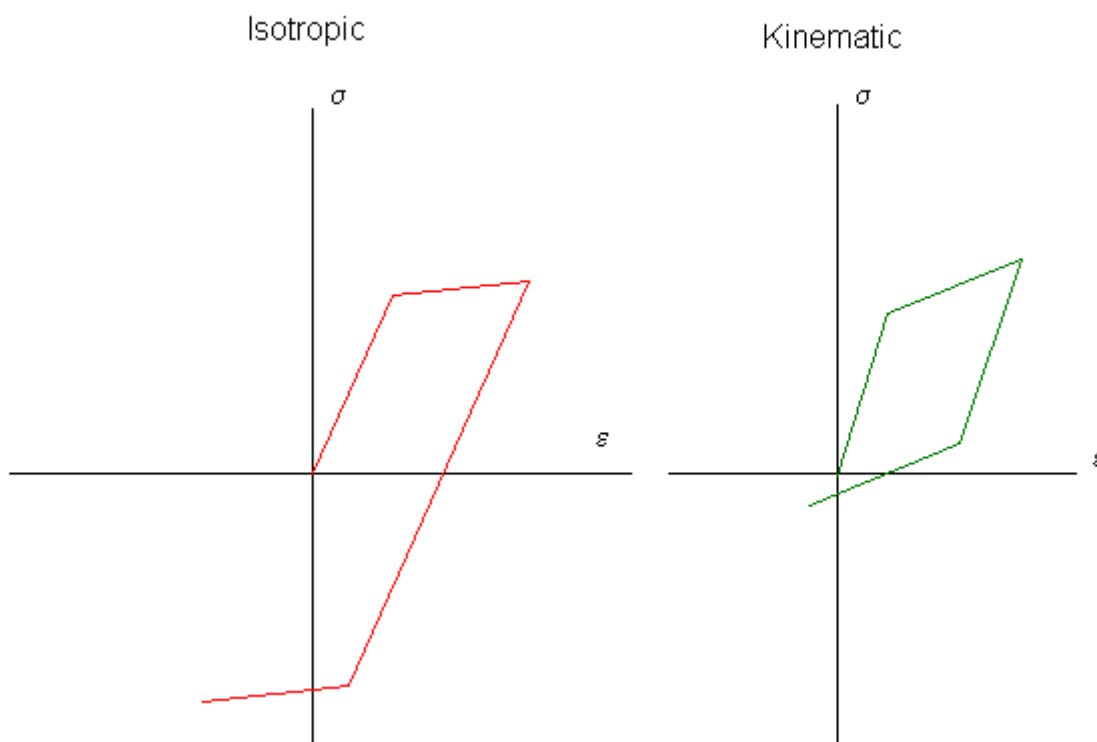
$$\sigma = -f_c [1 - Z(|\varepsilon| - \varepsilon_{c0})] \quad \text{se } -\varepsilon_{c20} \leq \varepsilon < -\varepsilon_{c0}$$

$$\sigma = -0,2f_c \quad \text{se } \varepsilon < -\varepsilon_{c20}$$

$$\sigma = \varepsilon E_t \quad \text{se } \varepsilon \leq \frac{f_t}{E_t}$$

$$\sigma = 0 \quad \text{se } \varepsilon > \frac{f_t}{E_t}$$

### ***Incrudimento***



L'incrudimento è determinato dal parametro  $\beta$  che può assumere valori compresi tra 0 (incrudimento cinematico) ed 1 (incrudimento isotropo).

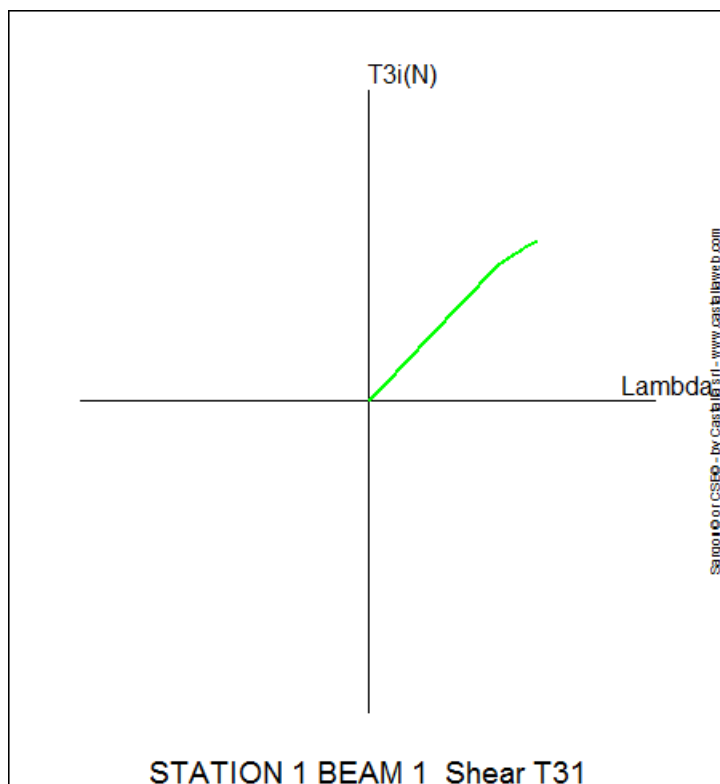
Nell'incrudimento isotropo un incrudimento al positivo comporta un analogo incrudimento al negativo. L'ampiezza della zona elastica va così aumentando man mano che l'incrudimento prosegue.

Nell'incrudimento cinematico l'ampiezza della zona elastica resta costante, ed un incrudimento al positivo implica una analoga riduzione (in valore assoluto) della tensione di snervamento al negativo.

L'incrudimento misto è una via di mezzo tra i due tipi di incrudimento.

## 8 CURVE (RISULTATI)

E' possibile fare in modo che CURAN generi delle curve di tipo  $\lambda$ -spostamento oppure  $\lambda$ -azione interna, dove  $\lambda$  è un opportuno parametro di carico, ovvero è una frazione del carico totale. Per chiarire meglio, si veda l'esempio nella figura seguente, dove è mostrato il taglio T3 nel primo estremo dell'elemento beam numero 1, al crescere del carico.



### Creazione delle curve

Per far creare a Curan le curve desiderate, è **necessario selezionare preventivamente gli elementi opportuni (beam, truss, nodi) PRIMA dell'esecuzione dell'analisi** nonlineare del modello in esame. Tali elementi devono essere **selezionati nel serbatoio 3**. (si veda l'argomento *Come selezionare* - [Serbatoi di selezione](#)<sup>[165]</sup>).

Per ottenere la curva precedente, prima dell'analisi si dovrà dunque selezionare l'elemento beam numero 1 nel serbatoio di selezione 3. Assieme a essa verranno scritte le altre componenti elementari delle azioni interne, a entrambi gli estremi dell'elemento (N1, T21, T31, M11, M21, M31, N2, T22, T32, M12, M22, M32).

Se è selezionato anche un **nodo** prima dell'analisi, per quel nodo verranno scritte tre **curve carico-spostamento** lungo i tre assi di riferimento globali (TX, TY, TZ).

Vengono inoltre create le seguenti curve riferite alla intera struttura (elementi trave e biella):

1. Percentuale di volume plasticizzato della intera struttura in funzione del parametro di carico.

Si ottiene sommando tutti i volumi plasticizzati degli elementi, moltiplicando per 100 e dividendo per il volume totale. E' un indice del danno subito dalla struttura.

2. Percentuale di volume rotto della intera struttura in funzione del parametro di carico.

Il volume plasticizzato di un elemento si ottiene con un integrale (di Lobatto) sull'asse dell'elemento, considerando le sole fibre plasticizzate e scartando le altre. In formula, se "i" è l'indice di integrazione di Lobatto, e "j" l'indice di fibra si ha:

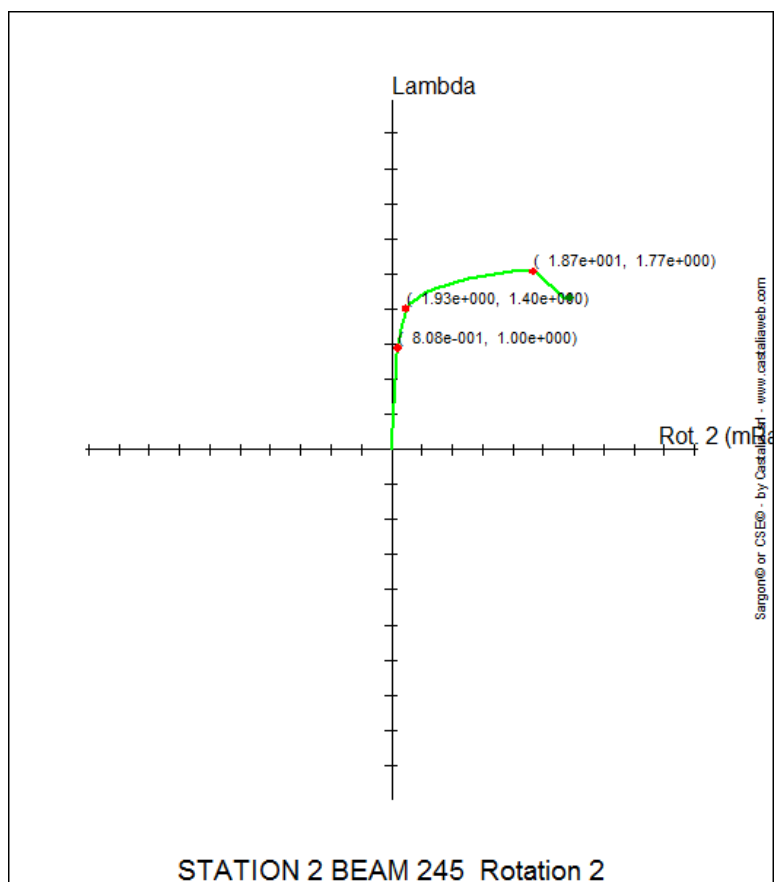
$$V_{pl} = \sum_{i=1}^{n_{lobatto}} \sum_{j=1}^{n_{fibre}} 0.5 \cdot p_{ij} \cdot A_j \cdot W_i \cdot L$$

dove  $A_j$  è l'area della fibra j-esima,  $W_i$  è il peso della integrazione di Lobatto,  $L$  è la lunghezza dell'elemento, e  $p_{ij}$  è un codice che vale 1 se la fibra è plasticizzata e vale 0 se non lo è. Tale codice muta al variare della fibra ed al variare della posizione della sezione lungo l'asse dell'elemento.

Analoga formula consente di ottenere il volume "rotto", dove però a  $p_{ij}$  va sostituito  $r_{ij}$ , che è 0 se la fibra non è rotta e 1 se lo è.

Oltre al volume totale plasticizzato e rotto, per ogni biella selezionata viene data la curva che dà la frazione di volume plasticizzato e rotto e la deformazione  $\varepsilon$  in funzione del parametro di carico. La deformazione  $\varepsilon$  può essere utilizzata (cfr. EC8, parte 3, B.5.2) come indice di danno per gli elementi biella dissipativi.

Per ogni elemento trave selezionato, oltre alle curve che danno le 12 componenti di sollecitazione (6 ad un estremo e 6 all'altro) in funzione del parametro di carico, vengono date le curve che danno la frazione di volume plasticizzato in funzione del parametro di carico, e la frazione di volume rotto in funzione del parametro di carico.

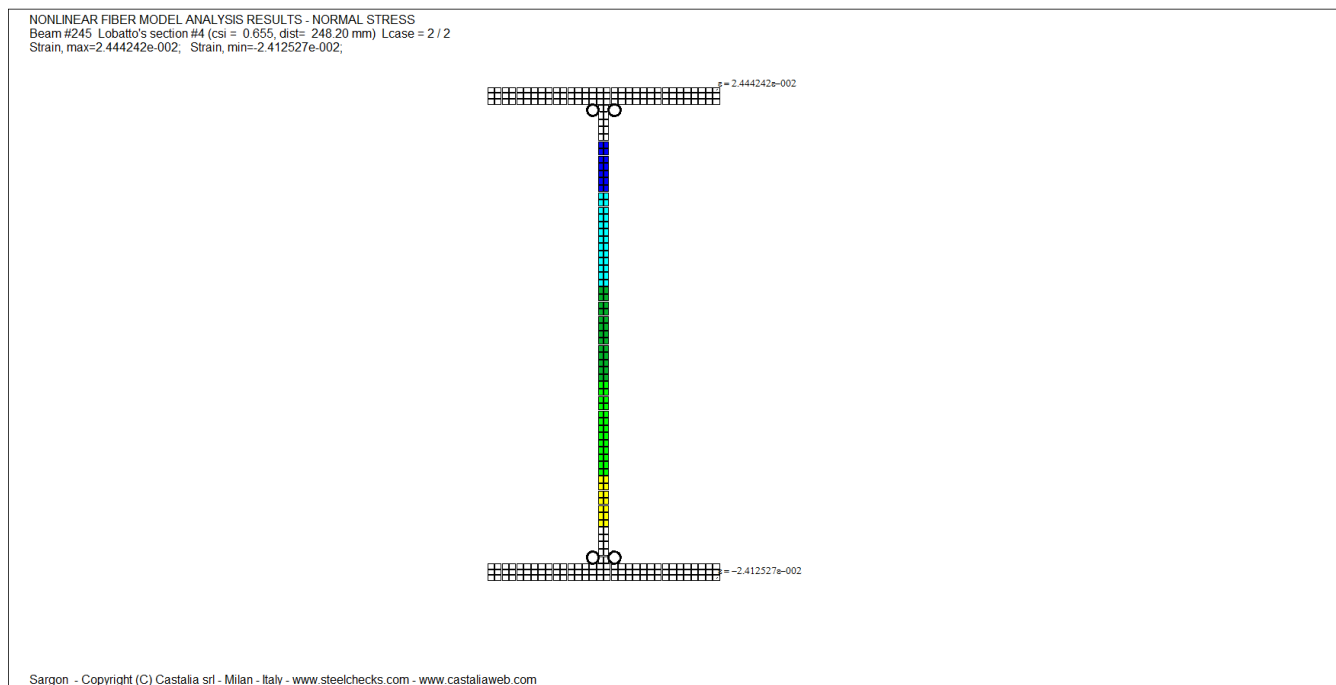


Inoltre viene data la rotazione cumulativa subita dall'elemento (elastica più plastica), in milliradiani, nei due piani principali,  $\theta_{2c}$  e  $\theta_{3c}$ . Queste rotazioni sono calcolate integrando la curvatura lungo l'asse dell'elemento con la formula (che usa la integrazione di Lobatto):

$$\theta_{2c} = \int_0^L \chi_2 dx \cong \sum_{i=1}^{nlobatto} 0.5 \cdot \chi_{2i} W_i L$$

ed analogamente per  $\theta_{3c}$  usando  $\chi_3$ . La rotazione cumulativa tiene conto dello scorrimento plastico e quindi è correlata alla quantità di rotazione plastica delle cerniere plastiche. Si tratta di una misura della deformazione ed è un indice di danno sull'intero elemento. Ad esempio nella figura precedente si vede che la rotazione cumulativa giunge ad un picco di 18.7 mRad, e che l'andamento elastico viene abbandonato (in  $\lambda=1.4$ ,  $\theta_{2c}=1.93\text{mRad}$ ) a causa della plasticizzazione. Al termine della prima stazione ( $\lambda=1$ , carichi non sismici) l'elemento aveva subito una rotazione cumulativa di 0.8mRad. Da quel punto il ramo elastico viene presto abbandonato dando luogo a un vistoso scorrimento plastico, stimabile in circa  $18.7-1.93 \cong 16-17\text{mRad}$ .

Ulteriori informazioni sul tipo di danno subito dalle fibre si possono trarre rappresentando, con il comando [Post-Fibre-Mostra Deformazioni Sezione](#)<sup>[210]</sup>, le deformazioni sulle varie sezioni dell'elemento dissipativo (vedi ad esempio in figura una parte della sezione è rotta).



I set di curve appena descritti **si riferiscono a una singola stazione di carico** (caso o combinazione). Se nel modello ci sono  $n$  stazioni, tutti i set di curve saranno ripetuti  $n$  volte (ad esempio, le tre componenti di spostamento del nodo  $i$  saranno ripetute per le  $n$  stazioni).

Selezionando preventivamente nel serbatoio 3 tutti i nodi e gli elementi (beam, truss) opportuni, durante l'analisi CURAN stamperà tutte le relative curve in uno o più file con estensione .PMC, in base al numero di stazioni di carico presenti. Se c'è una sola stazione, avrò un solo file .PMC, se le stazioni sono 10, i file .PMC saranno altrettanti.

Dato un modello Sargon chiamato *[nome\_modello].wsr*, i file delle curve si troveranno nella stessa cartella e saranno così nominati:

*[nome\_modello].STATION\_0001.PMC*

*[nome\_modello].STATION\_0002.PMC*

*[nome\_modello].STATION\_0003.PMC*

ecc.

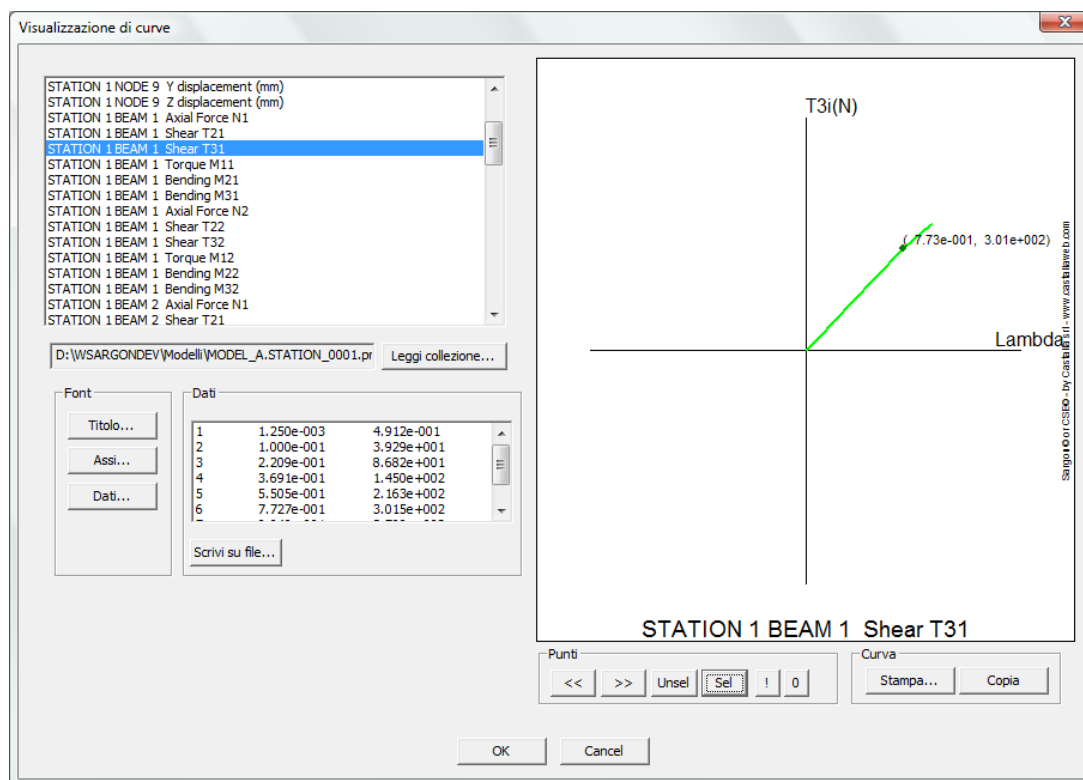
dove il numero progressivo corrisponde al numero di ciascuna stazione. Ogni file è quindi una collezione di curve che si riferiscono a una stessa stazione. Tutte le collezioni conterranno lo stesso numero e lo stesso tipo di curve. Le medesime curve differiranno nelle diverse collezioni per via dei diversi carichi applicati.

### **Visualizzazione delle Curve**

Abbiamo visto come chiedere a Curan le curve che ci interessano e come il solutore le scrive in opportuni file. Veniamo ora alla visualizzazione delle curve contenute nei file .PMC:

Le curve in funzione del parametro di carico  $\lambda$ , scritte su richiesta da Curan durante l'analisi, sono visualizzabili direttamente in Sargon, attraverso il comando [Curve](#)<sup>[1250]</sup> del menu **Post**. Alla sua esecuzione viene proposto un opportuno dialogo, in cui si seleziona il file .PMC desiderato e si possono visualizzare le curve in esso contenute, a una a una. Si possono anche ottenere informazioni sulle curve stesse e le si possono stampare su file di testo. Per la descrizione operativa del [dialogo](#)<sup>[1251]</sup> si rimanda all'argomento dedicato.






## Note

- I punti che descrivono l'andamento delle curve non sono necessariamente equispaziati, ma dipendono dalle impostazioni sul [passo di carico](#)<sup>[223]</sup> e dalle modalità di raggiungimento della convergenza durante il calcolo.
- Se si attiva il load path, le curve non vengono create.

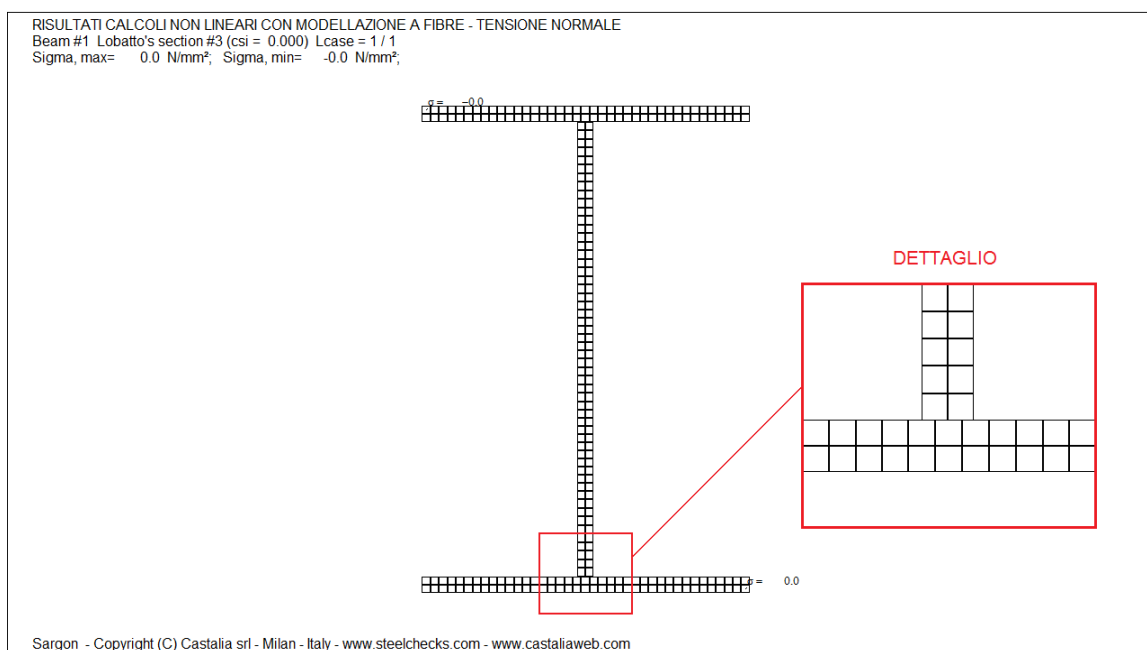
## 9 FIBRE (RISULTATI)

Dopo aver eseguito con Curan un'analisi nonlineare che include la modellazione a fibre di elementi beam, è possibile visualizzarne i risultati in termini di tensioni, elemento per elemento e sezione per sezione, attraverso il comando [Post-Fibre-Mostra sforzi sezione](#)<sup>[1208]</sup> . Esiste un analogo comando per vedere le deformazioni ([Post-Fibre-Mostra deformazioni-sezione](#)<sup>[1210]</sup>). Per poter eseguire il comando è necessario che uno e un solo elemento beam sia selezionato.

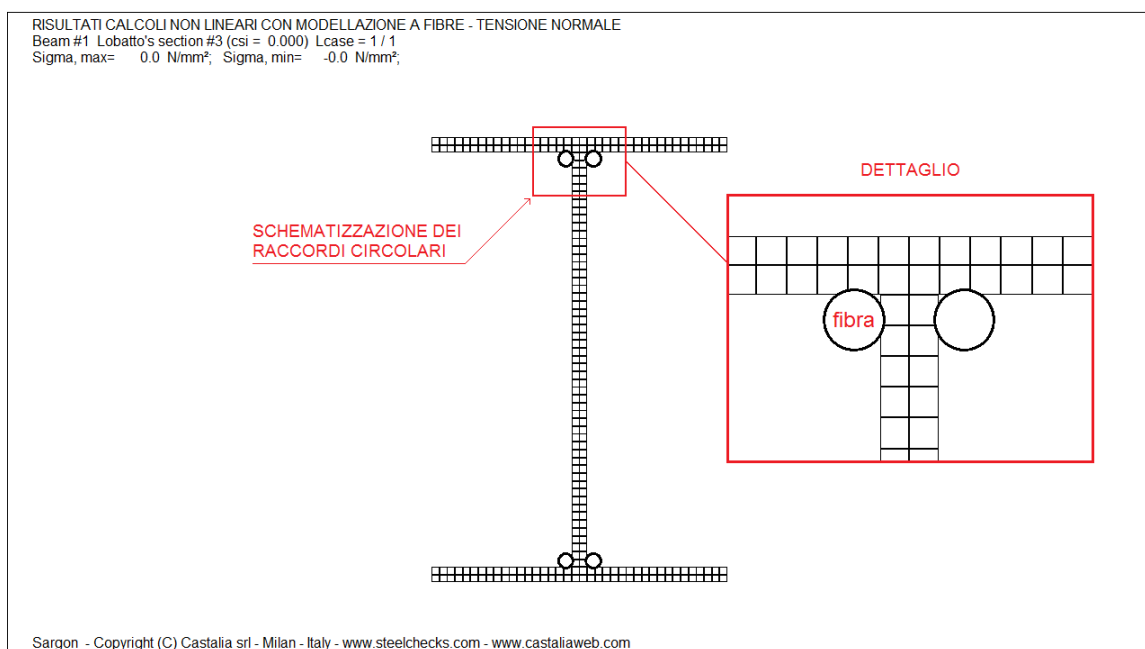
La forma sezionale dell'elemento correntemente selezionato viene visualizzata nella vista di Sargon. La sezione è modellata come un insieme di fibre, la cui forma dipende dal tipo di sezione in esame:

- fibre **rettangolari**, usate per modellare la maggior parte delle sezioni (piatti, angolari, sezioni a T o ad H, sezioni rettangolari cave, ecc.);
- fibre **circolari** in corrispondenza dei raccordi curvilinei (ad esempio quelli di una sezione ad H laminata);
- fibre con forma di **settore di corona circolare**, per modellare sezioni circolari piene o cave. La sezione è suddivisa in un certo numero di corone circolari concentriche, e ciascuna corona è suddivisa in un certo numero di settori. Ogni corona circolare è divisa in un numero generalmente diverso di settori, in base al suo diametro medio; per questo motivo, le fibre delle varie corone non sono necessariamente allineate sugli stessi raggi. **Ciò è necessario per avere fibre di dimensione omogenea in tutte le zone della sezione.**

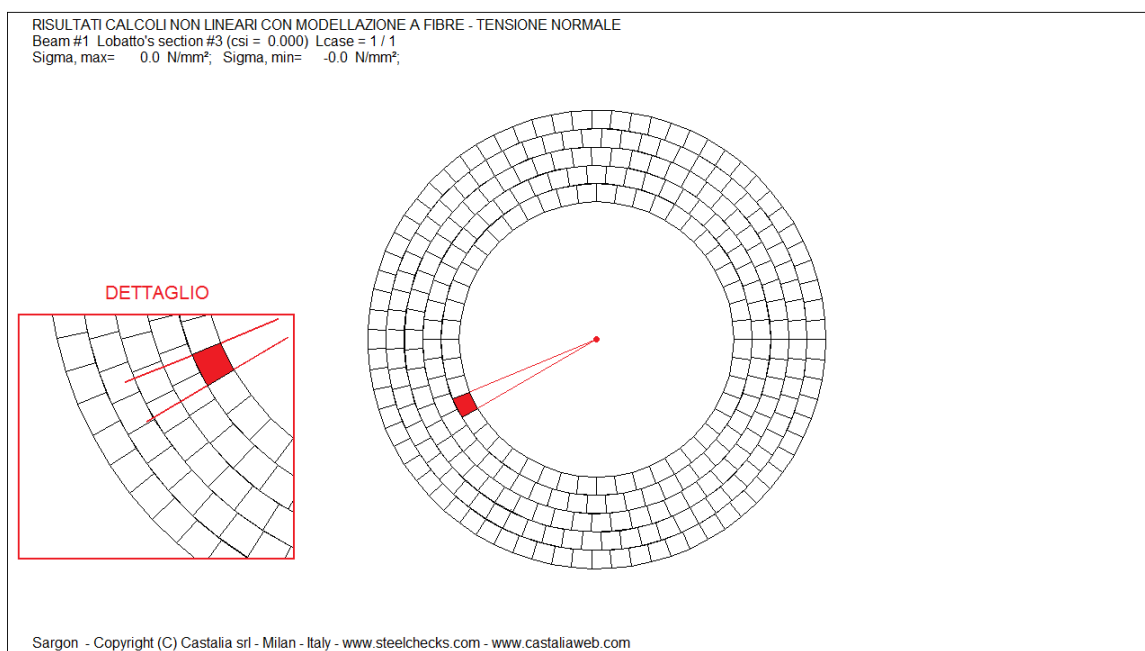
Le immagini seguenti mostrano i vari tipi di fibre; per maggiore chiarezza, gli sforzi nelle sezioni sono nulli.



Sezione ad H saldata modellata con fibre rettangolari



**Raccordi curvilinei di una sezione ad H laminata modellati con fibre circolari**



**Sezione circolare cava modellata con fibre aventi forma di settori di corona circolare**

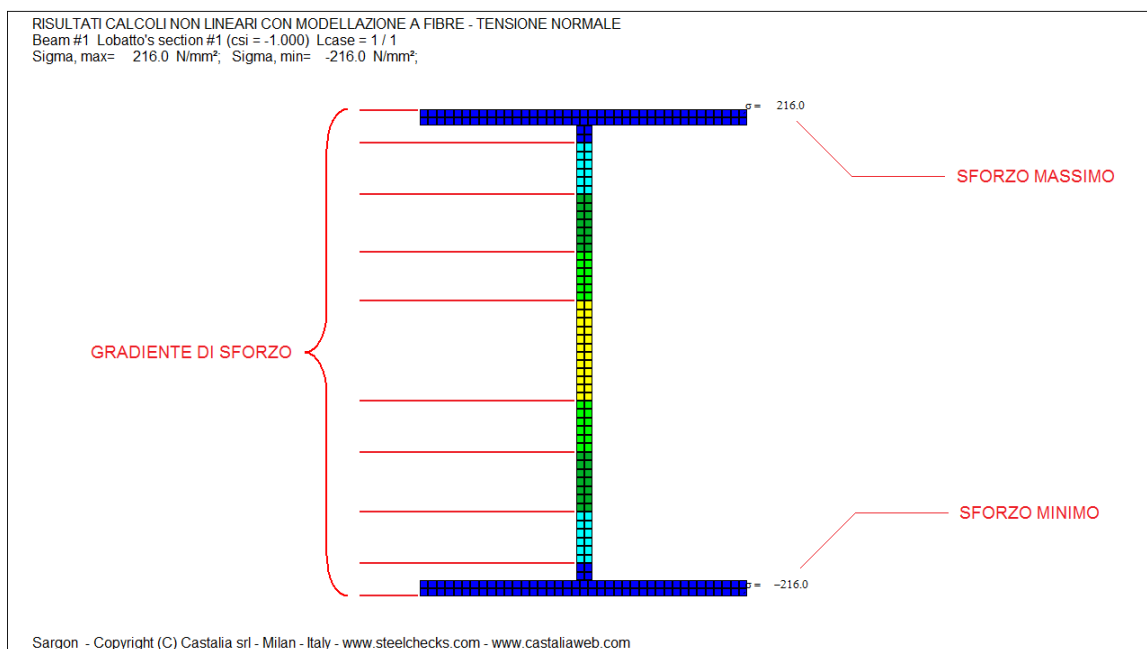
Nella parte in alto a sinistra della vista sono riportate le seguenti informazioni:

- numero dell'**elemento** beam;
- numero della **sezione** (corrispondente al numero del punto di Lobatto);

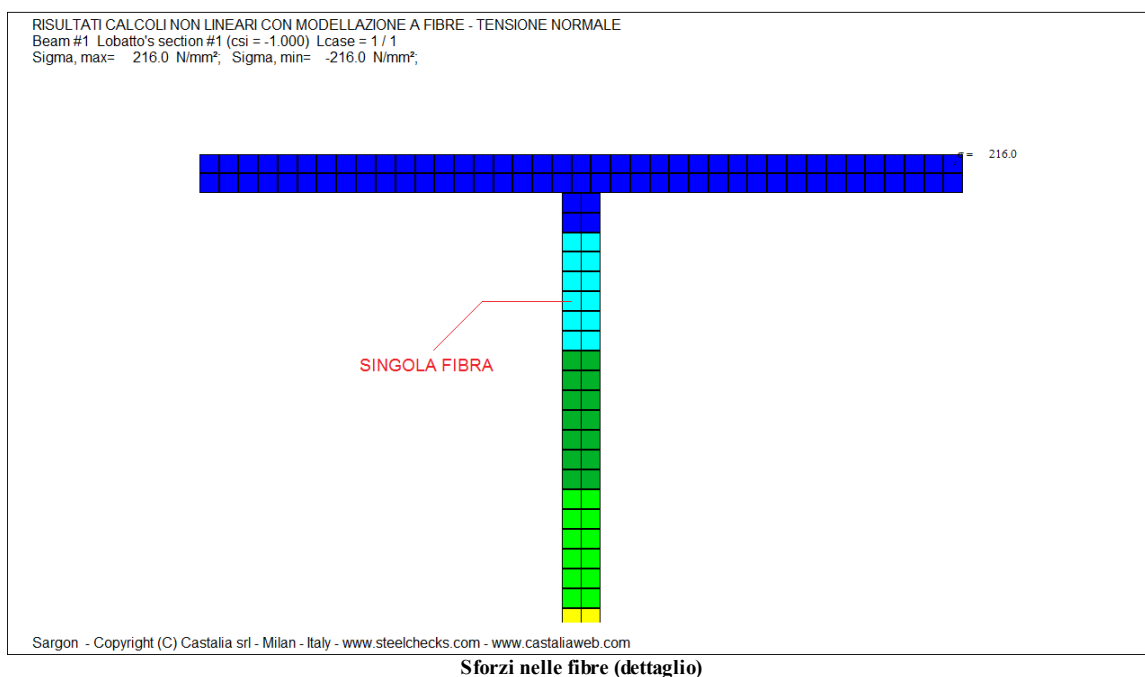
- **ascissa adimensionale** (csi) della posizione del [punto di Lobatto](#)<sup>624</sup> lungo l'asse dell'elemento (+1.0 e -1.0 sono le ascisse adimensionali dei due estremi dell'elemento, 0.0 è il punto in mezzzeria; se i punti sono più di 3, si avranno le ascisse corrispondenti agli ulteriori punti);
- numero del **caso di carico**;
- **tensione normale massima**;
- **tensione normale minima**.

La tensione normale massima e la tensione normale minima sono riportate anche sulla sezione, in corrispondenza dei punti dove si manifestano.

Ogni fibra della sezione è campita con un colore dipendente dal livello di tensione. In questo modo è possibile cogliere l'andamento delle tensioni nella sezione, nonché la posizione dell'asse neutro in caso di flessione (retta o deviata). Se una fibra ha tensione normale nulla, essa risulterà bianca.



Sforzi nelle fibre



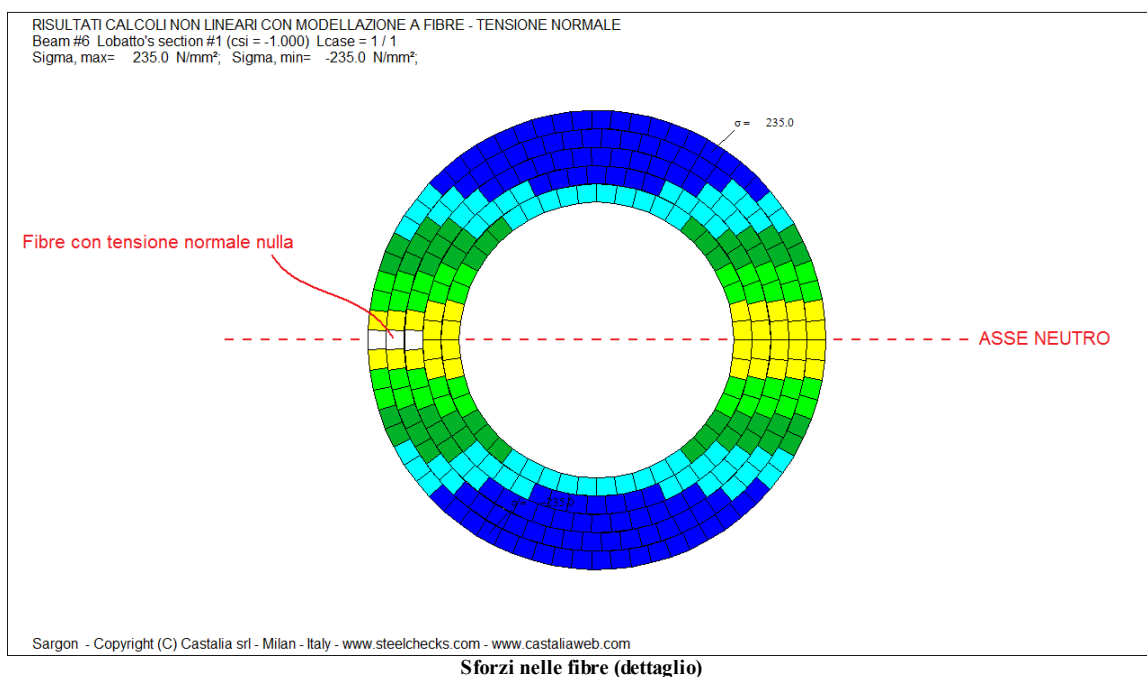
Per ogni elemento beam sono disponibili  $n$  sezioni, dove  $n$  è il numero di [punti di Lobatto](#)<sup>[624]</sup> richiesti nelle impostazioni dell'analisi nonlineare. Per passare da una sezione all'altra si usano i comandi [Sezione successiva](#)<sup>[1207]</sup> e [Sezione precedente](#)<sup>[1207]</sup>, eseguibili anche con i bottoni .

- Per il momento il solutore gestisce le seguenti tipologie di sezione nel caso in cui siano necessarie le fibre:
  - sezioni a I o H laminato;
  - sezioni a I o H saldato;
  - sezioni rettangolari;
  - sezioni circolari cave;
  - sezioni a cassone;
  - sezioni RHS;
  - sezioni a C saldato;
  - sezioni a C laminato e ali parallele (no rastremazione)
  - sezioni a T saldato;
  - sezioni a T ottenute per taglio di sezioni a I o H laminato;
  - sezioni a I o H laminato e ali di larghezza diversa (ASB);

in seguito saranno probabilmente aggiunte più sezioni (ad esempio le formate a freddo con opportune trattazioni, le sezioni in c.a. o fibro-rinforzate e le composte) e funzionalità.

### Nota

Come descritto in precedenza, le sezioni circolari sono modellate con fibre che sono settori di corone circolari, e ciascuna corona è divisa in un numero generalmente diverso di fibre, in base al suo raggio medio. Ciò significa che non sono necessariamente presenti delle simmetrie radiali per le fibre. Nel caso riportato nell'immagine seguente, ad esempio, una sezione circolare cava è sottoposta a flessione. Nella zona a cavallo dell'asse neutro, la discretizzazione delle fibre è diversa tra la parte destra e quella sinistra della corona circolare. In particolare, a sinistra si hanno 3 fibre esattamente **in corrispondenza dell'asse neutro**, aventi quindi **tensione nulla**. Questo non avviene dall'altra parte, dove le fibre sono al di sopra o al di sotto dell'asse neutro, e quindi non possono avere tensione nulla.



Sforzi nelle fibre (dettaglio)

## 10 CRITERI DI USO DI CURAN

CURAN è dato in due versioni. La versione LIGHT e la versione FULL.

La versione LIGHT è data insieme al solutore statico lineare CLEVER e usa come elementi dotati di non linearità unicamente gli elementi biella e molla. I nodi semirigidi sono considerati elastici. Gli elementi trave, membrana, piastra sottile e spessa e solidi sono tutti elastici ed identici a quelli del solutore elastico lineare CLEVER.

La versione FULL viene sempre utilizzata se la chiave la abilita. Il file corrispondente all'eseguibile è lo stesso della versione LIGHT. La versione FULL utilizza i seguenti elementi:

- biella non lineare
- molla non lineare
- nodi semirigidi lineari o non lineari
- elemento beam elastico se il materiale è elastico lineare, altrimenti elemento beam a fibre, eventualmente con nodi semirigidi non lineari.
- elemento membrana elasto-plastico.
- elemento piastra (sottile o spessa) con integrazione di Lobatto nello spessore.
- elementi solidi

Nella analisi di elementi beam converrà partire da materiali elastici lineari. Se si ravvisa che i limiti elastici vengono superati, usando CURAN FULL, si può usare il modello a fibre. In tal caso se il tipo di sezione è gestibile a fibre, allora si può assegnare agli elementi beam un materiale non lineare e CURAN FULL userà la formulazione a FIBRE. Se viene assegnato un materiale non lineare, viene usato il modello a fibre anche se la non linearità non è attivata nel modello.

Dato che il modello a fibre è intrinsecamente meno preciso del modello elastico (poiché gli integrali di sezione sono calcolati come somma dei contributi delle singole fibre), ha senso usarlo solo quando è necessario, vale a dire solo se si supera la tensione di snervamento e si plasticizza almeno in parte la sezione.

## 11 RIFERIMENTI

- [1] M.A. Crisfield, Non-linear Finite Element Analysis of Solids and Structures, Volume 1, Wiley, 2003
- [2] M.A. Crisfield, Non-linear Finite Element Analysis of Solids and Structures, Volume 2 - Advanced Topics, Wiley, 1997

[3] Daniele Ferretti, Ivo Mori, Marco Morini, La stabilità delle strutture, McGraw-Hill, 2002

## 2.16.7 Analisi di frequency response con FREQUENCY

### ANALISI DI FREQUENCY RESPONSE CON FREQUENCY

Per eseguire l'analisi di risposta in frequenza con FREQUENCY è necessario usare il comando [Analizza](#)<sup>[617]</sup> e attivare l'opzione relativa alla analisi corrispondente. La analisi di frequency response deve essere eseguita da sola, non può essere eseguita in cascata con altre.

Per poter eseguire una analisi di frequency response è necessario:

1. che sia preventivamente stata eseguita una analisi modale con LEDA;
2. che sia disponibile almeno un caso di carico con delle forze nodali applicate; se il numero di casi di carico è pari ad  $n$  (con  $n > 2$ ) l'ultima condizione di carico deve essere vuota. Non si possono avere due soli casi di carico, si va da 1 a 3,4,5,...
3. che le azioni applicate nei casi di carico non vuoti siano tutte o forze o coppie nodali.

### GENERALITA'

Quando un insieme di forze armoniche sollecita una struttura la risposta dinamica a regime della struttura, passata la fase iniziale di transitorio- è anch'essa di tipo armonico, e con la stessa frequenza della forzante.

Le ampiezze degli spostamenti e l'intensità degli sforzi a regime dipendono dalla intensità e dalla frequenza della forzante, oltre che dal valore dello smorzamento viscoso equivalente attribuito a ciascuno degli oscillatori semplici associati ai modi.

Se la forzante ha una frequenza prossima ad uno dei modi principali di vibrare della struttura, la risposta della stessa struttura può essere amplificata anche notevolmente, in tal caso come è noto si parla di risonanza.



Con la versione 6.60 Sargon aggiunge alla lista dei propri solutori anche il solutore per la analisi di risposta in frequenza (frequency response). Fanno parte dei dati di input da fornire, oltre alla parte statica delle forze (intensità e direzione, fornite nel solito modo al programma) anche la frequenza della forzante (ogni caso di carico ha una sua frequenza e si suppone che tutte le forze in esso presenti agiscano in fase), la distribuzione dello smorzamento in funzione della frequenza dei modi, l'insieme dei modi da tenere in conto.

Se la struttura è sollecitata da due o più insiemi di forze agenti a frequenze differenti, nell'ultimo caso di carico (vuoto) vengono posizionate le stime degli spostamenti e degli sforzi risultanti dalla contemporanea presenza di tutte le forze con le loro frequenze differenti. In questo ultimo caso, dopo aver calcolato la risposta per ciascuna forzante e collocato tale risposta nel caso di carico corrispondente, il programma valuta l'effetto combinato e lo colloca nell'ultimo caso di carico, vuoto di azioni applicate. Se vi è un solo caso di carico tale operazione non viene compiuta. Il metodo usato per combinare gli effetti delle diverse forzanti è di tipo statistico, poiché una analisi deterministica richiederebbe di conoscere esattamente tutte le varie fasi. Sono disponibili i seguenti metodi di combinazione degli effetti:

- SRSS radice quadrata della somma dei quadrati delle ampiezze;
- Valore efficace (in pratica il precedente diviso per la radice di 2);
- Somma dei valori assoluti.

Vediamo ora nel dettaglio in che modo fornire le varie informazioni, ed il loro esatto significato.

## AZIONI APPLICATE

Le azioni vengono applicate essendo raggruppate in casi di carico così come si fa per le azioni agenti staticamente. Ad ogni caso di carico viene poi associata una certa frequenza (questo si fa quando si impostano i dati per la analisi). Se  $F$  è una forza applicata nel generico caso di carico avente frequenza  $f$  (in hertz), si suppone che sulla struttura agisca la forza agente dinamicamente pari a  $F\sin(2\pi fT)$ , dove "T" è il tempo. Le forze possono essere applicate solo sui nodi. Possono essere applicate sia forze che coppie (si parla di fatto di forze in senso generalizzato).

Se in un caso di carico avente frequenza  $f$  sono presenti due (o più) forze  $S$  e  $T$ , si fa l'ipotesi che le forze agiscano contemporaneamente ed in fase:  $S\sin(2\pi fT) + T\sin(2\pi fT)$ .

## FREQUENZA DELLE AZIONI APPLICATE

La frequenza viene indicata per ciascun caso di carico. Se c'è un unico caso di carico la frequenza è indicata dall'utente per quel caso di carico. Se ci sono tre o più casi di carico la frequenza viene indicata per tutti i casi ad eccezione dell'ultimo, usato per combinare i vari casi tra loro.

La frequenza viene indicata (in hertz) nel [dialogo](#)<sup>634</sup> che consente di impostare i dati dell'analisi, in analogia a quanto già previsto per le altre tipologie di analisi possibili.

## SMORZAMENTO

In assenza di una qualche forma di smorzamento il moto non assumerebbe le caratteristiche di stabilità nel tempo che invece assume. Ovviamente, all'aumentare dello smorzamento il moto e gli sforzi tendono a diminuire di intensità. Lo smorzamento è definito per ogni modo di vibrare per mezzo di una curva, definita per punti, che correla la frequenza dei vari modi allo smorzamento ad essi associato. Per smorzamento si intende "smorzamento relativo al critico", e pertanto numeri ragionevoli vanno dal 3 al 10% (0.03-0.10) per le strutture ordinarie. La possibilità di definire la curva in modo che lo smorzamento vari con la frequenza dei singoli modi consente di associare a modi con frequenza via via crescente smorzamenti via via superiori (o inferiori). In pratica, nota per punti la curva  $\xi = \xi(f) \Rightarrow \xi(1/T)$ , e nota la frequenza  $(1/T)$  di un certo modo, si determina lo smorzamento  $\xi$  ad esso associato.

Dato che il numero di modi può anche essere molto elevato si è preferito definire lo smorzamento come una curva piuttosto che come una tabella di numeri. Lo smorzamento viene definito nel [dialogo](#)<sup>634</sup> usato per impostare l'analisi.

## MODI DA TENERE IN CONTO

Sebbene in linea di principio tutti i modi debbano entrare nella analisi, la presenza di modi spurii o locali può richiedere che parte dei modi non sia tenuta in conto nell'analisi, onde scartare questi effetti locali o parassiti. Il programma, sempre per mezzo dello stesso [dialogo](#)<sup>[634]</sup>, consente, se necessario, di scegliere quali modi devono essere tenuti in conto nella analisi. Il metodo consente anche di valutare indirettamente l'incidenza che ciascun modo o gruppo di modi ha sulla risposta finale, consentendo quindi di affinare gli interventi di progetto volti a modificare la forma o la frequenza del modo o del gruppo di modi rilevante.

## METODO DI COMBINAZIONE DELLE AZIONI

Quando agiscono contemporaneamente più insiemi di azioni a frequenza differenti, la risposta complessiva finale dipende strettamente dalle fasi che, in genere, sono variabili aleatorie. In questo caso è possibile arrivare ad una stima di tipo probabilistico delle ampiezze finali del moto e degli sforzi combinando tra loro le ampiezze delle sinusoidi associate alla risposta a ciascuna forzante presa separatamente. Il ragionamento è simile a quello che si fa combinando gli effetti in una analisi a spettro di risposta (anche se qui le sinusoidi hanno le frequenze delle forzanti e non quelle dei modi).

Il solutore dispone al momento di tre possibili criteri di combinazione: la radice quadrata della somma dei quadrati (SRSS), il valore efficace (ottenibile dividendo il precedente per radice di 2), la somma dei moduli. Ovviamente il più cautelativo dei metodi è l'ultimo, anche se esso porta, in genere, ad una eccessiva sopravvalutazione degli effetti. Se le frequenze delle forzanti, pur non essendo identiche, sono tuttavia vicine, allora è lecito attendersi la somma delle ampiezze e non la SRSS.

### COMBINAZIONE CON CASI STATICI

Se si intende combinare un caso di frequency response con uno o più casi di carico statici occorre seguire questa procedura. Il file "padre" è il file che contiene i casi di carico statici. Uno di questi casi di carico (o più: tanti quanti sono i casi di carico presi dalla analisi di frequency response) viene lasciato vuoto. Il modello viene poi salvato con un altro nome. Questo nuovo modello subisce l'analisi modale e l'analisi di frequency response con il numero di casi di carico dinamici desiderati. A questo punto l'applicazione "mergedbase.exe" eseguibile dalla riga di comando, prende gli spostamenti e le sollecitazioni dei casi di carico dinamici desiderati del modello "figlio" e li pone nelle desiderate posizione dei casi di carico del modello "padre" (quei casi di carico lasciati preventivamente vuoti).

E' da notare che tutti gli sforzi e tutti gli spostamenti di una analisi di risposta in frequenza sono positivi (la risposta è sinusoidale ed oscilla tra il valore positivo indicato ed un identico valore negativo).

## **I FILE DI INPUT E DI OUTPUT DI FREQUENCY**

Il solutore ha un file di input formattato, creato automaticamente da Sargon che ha estensione .fin. Il file di output ha estensione .fou, mentre il file di diagnostica ha estensione .fog. L'output è scritto direttamente sui file binari .sdb e .ddb, ed è quindi necessario che una analisi statica "dummy" venga eseguita preliminarmente alla analisi di frequency response. Per il calcolo il solutore si avvale dei dati scritti dai file binari di output di LEDA, vale a dire il file .msb e .mdb: pertanto l'analisi modale deve essere eseguita prima della frequency.

### **2.16.8 Analisi di Time History Modale**

a cura di Ing. Paolo Rugarli

#### **A cosa serve**

L'analisi di Time History modale (d'ora in poi THM), serve a calcolare la risposta della struttura in funzione del tempo, sotto l'azione di forzanti note. Per fare questo, la THM utilizza i risultati di una precedentemente eseguita [analisi modale](#)<sup>[188]</sup> che abbia estratto un certo numero di modi di vibrare. Dato che l'estrazione dei modi è una procedura lineare, si fa implicitamente l'ipotesi che la struttura resti in campo lineare durante la sua evoluzione nel tempo. Una tale limitazione potrebbe inizialmente sembrare molto forte, ma in realtà la THM conserva una notevole importanza e significatività dato che:

- consente di avere una idea del comportamento dinamico della struttura senza ricorrere alla sovrapposizione dei massimi per mezzo di CQC o SRSS;
- consente di provare se una struttura sia restata in campo elastico con ciò eliminando la necessità di analisi non lineari. Per molte strutture, a dispetto di quanto presunto dalle normative, un tale approccio resta sensato e percorribile. Infatti, appare sempre più chiaro che in ambito sismico la capacità di resistere plasticamente a un primo shock non protegge

dagli shock successivi, che possono ripresentarsi a distanza di giorni o mesi dal primo. Inoltre, l'attingimento di fratture o escursioni plastiche non si presenta sempre evidente, e quindi gli edifici danneggiati possono in effetti non essere stati evacuati. Anche ove lo fossero, la perdita economica della struttura o del contenuto può suggerire, a dispetto degli approcci che fanno uso del danneggiamento controllato, approcci elastici, in specie se mirati sugli elementi effettivamente sovra impegnati; la quantificazione del comportamento non lineare, comunque, è sempre molto delicata e difficile.

- il problema della sovrapposizione dei modi e dei segnali è risolto intrinsecamente, dato che la quantità calcolate ad ogni istante derivano dalla corretta sovrapposizione degli effetti.
- per le strutture isolate sismicamente, assegnando opportuni elevati smorzamenti ai modi a corpo rigido, la THM si presenta perfettamente utile data l'elevata probabilità che la sovrastruttura resti, o debba restare, in campo elastico.
- anche al fine di preparare una vera e propria time history, che non usi l'estrazione dei modi, e che magari sia non lineare (THNL), la THM consente di ottenere informazioni utili al miglioramento del progetto, dato che è abbastanza rapida ed ha un costo computazionale relativamente ridotto.

Al momento, le forzanti previste da Sargon sono di due tipi:

- accelerogrammi;
- generiche funzioni del tempo tra le quali gradino, rampa, impulso, seno e coseno con ampiezza e periodo variabili linearmente col tempo, eccetera.

I primi possono essere utilizzati per simulare l'effetto di terremoti sulla struttura. La disponibilità di segnali costruiti ipotizzando pertinenti terremoti di scenario, e rispettando le proprietà fisico meccaniche degli strati profondi (metodologia NDSHA [www.xeris.it](http://www.xeris.it)), rende oggi possibile l'esame di un gran numero di segnali a costi relativamente contenuti. Contrariamente a quanto si ritiene, non sempre i segnali NDSHA comportano severità maggiori di quelli PSHA, e quindi una tale strategia, specialmente per impianti industriali o strutture che giustificino approfondimenti, può rivelarsi vincente. In generale, appare ormai chiaro - come del resto segnalato dal prof. Wilson - che il metodo dello spettro di risposta è da considerarsi

non ottimale e quasi obsoleto, e che le THM e THNL costituiscono il metodo al quale tendere negli anni a venire. Ciò comporta problemi nella trattazione dei segnali e nella gestione efficiente della enorme mole di dati che si vengono a generare. Castalia ha incominciato a ricercare in questo ambito e con la versione 12.40 del dicembre 2016 si incominciano ad introdurre comandi e funzionalità volte a questo scopo. Si ritiene che nei prossimi mesi e anni la ricerca in questo ambito diventerà centrale. Anche al fine di rendere familiari tali segnali ed il loro utilizzo, nella cartella di installazione di Sargon è presente il file NDSHA.acc che contiene un certo numero di segnali relativi a luoghi colpiti recentemente da sismi di forte intensità.

L'utilizzo di forzanti generiche (etichettando uno o più casi di carico come DINAMICI) consente di studiare la struttura in una grande generalità di casi. In questo caso, la THM terrà conto di tutti i casi di carico etichettati DINAMICI, sovrapponendoli. Ogni caso di carico DINAMICO ha una sua funzione del tempo  $f(t)$  che viene stabilita dall'utente, e che modula, nel tempo, mediante moltiplicazione diretta, i valori delle forze e coppie nodali presenti nel caso di carico stesso. I casi di carico DINAMICI sono usati solo alle THM e dalle THNL, ovvero solo dalle time history. Nelle altre analisi, sono considerati agenti staticamente a valori costanti.

Gli argomenti qui sommariamente trattati sono stati estesamente illustrati nel volume:

**Paolo Rugarli, Analisi Modale Ragionata, EPC Libri 2005 e II Edizione 2015.**

A tale volume si rimanda per tutti i necessari approfondimenti.

## **Time history modale**

### **L'idea**

Una volta che il comportamento dinamico della struttura sia stato decomposto in modi semplici, ciascuno di questi è di fatto un oscillatore semplice la cui risposta può essere calcolata integrando le sue leggi di moto. Così, la storia temporale di ciascun modo può essere ricostruita, e poiché in ambito lineare vale il principio di sovrapposizione degli effetti, dalla

somma istante per istante degli effetti su ciascun modo si può ricostruire il comportamento dinamico complessivo.

Si otterrà quindi che tutte le grandezze tipiche di una analisi statica (spostamenti, reazioni vincolari, azioni interne) sono funzioni del tempo. Per restituire l'informazione, ogni istante della storia temporale vien fatto corrispondere *a un nuovo caso di carico*, che viene opportunamente posizionato in una sequenza di casi che, nel loro complesso, ricostruiscono quanto avviene alla struttura durante la sua risposta.

Inoltre, per nodi o elementi preventivamente selezionati, è possibile ottenere curve del tipo  $V=V(t)$ , dove  $V$  può essere uno spostamento, una reazione vincolare o una azione interna. Tali curve, potranno poi essere utilizzate per valutare l'escursione dei valori nel corso della risposta, la ripetizione di valori alti, il numero di cicli, e così via.

### **Modi da aggiungere**

L'estrazione dei modi deve essere fatta in modo pertinente. Ciò significa da un lato che il numero di modi estratto deve essere sufficientemente alto, dall'altro che eventuali modi spuri o non significativi, devono essere scartati.

Per fare ciò, prima di eseguire l'analisi, l'analista può e deve selezionare quali modi intenda adoperare nella analisi. Una tale scelta ha ovviamente ricadute potenzialmente gravi, dato che l'aver scartato modi importanti può sottostimare la risposta, mentre l'aver incluso modi spuri può falsarla. E' dunque questo un compito delicato che può essere assolto unicamente dall'avveduto analista, che possa giudicare con merito la qualità della risposta ottenuta.

Va osservato che scartare dei modi sicuramente non importanti ha un immediato e benefico effetto sui tempi di calcolo.

### **Smorzamento**

Nella valutazione dello smorzamento modale, Sargon utilizza diversi possibili metodi tra i quali il metodo di Rayleigh, che esprime la matrice di smorzamento  $\mathbf{C}$  come

$$\mathbf{C}=\alpha\mathbf{M}+\beta\mathbf{K}$$

Oltre a tale smorzamento, Sargon per la THM, come già per la [frequency response](#)<sup>[250]</sup>, fa uso di una curva che dà lo smorzamento in funzione del periodo dell'oscillatore  $\nu=\nu(T)$  (nella frequency response la curva è invece definita come funzione della frequenza e non del periodo). Tale approccio alla modellazione dello smorzamento è detto alla Wilson-Penzien o *light damping approximation*.

Lo smorzamento al quale ci si riferisce è lo *smorzamento relativo al critico*, un numero puro che per le strutture è sempre maggiore di zero e minore di uno.

Ogni modo può rappresentare, in specie in strutture ben disaccoppiate, un ben determinato comportamento strutturale, ad esempio la oscillazione incassata da uno smorzatore o isolatore, o dalla fondazione. Quindi, poter associare a ogni modo un suo smorzamento, consente di tarare la risposta in modo molto più efficiente, tenendo conto che certi atti di moto comportano una certa dissipazione, mentre altri atti di moto una dissipazione diversa.

Il modello di smorzamento dipende dal tipo di analisi, e dalla ampiezza attesa delle oscillazioni. Per le analisi sismiche è comune utilizzare  $\nu=0.05$ , ovvero uno smorzamento relativo al critico del 5%. Frequenze di oscillazione elevate (periodi brevissimi) e maggiori ampiezze comportano di solito smorzamenti maggiori.

### **Analisi dinamica generica**

L'analisi dinamica generica considera per definizione tutti i casi di carico etichettati DINAMICI i quali devono contenere solo forze e coppie nodali. Se ci sono più casi di carico, essi si sovrappongono linearmente, ciascuno con le sue forze e coppie, modulate dalla pertinente funzione  $f(t)$  di quel caso di carico.

Si ipotizza che la struttura, inizialmente sotto l'azione delle forze definite da una certa combinazione di riferimento, sperimenti le forze presenti nei casi di carico indicati, così come variano dal tempo  $t=0$ , al tempo  $t=DT$ , dove  $DT$  è la durata della THM. L'analisi prevede una risposta che dipende strattamente dalle  $f(t)$  e dallo smorzamento.



## **Accelerogrammi**

L'analisi sismica viene definita scegliendo da uno a tre accelerogrammi, uno per ogni direzione X, Y, e Z. Si può scegliere di attivare solo alcune direzioni ed altre no. Gli accelerogrammi devono essere disponibili nel modello, essendo stati caricati con [comandi opportuni](#)<sup>465</sup>.

Si ipotizza che la struttura, inizialmente sotto l'azione delle forze definite da una certa combinazione, sperimenti un moto del riferimento "fisso" della durata del segnale indicato (di solito decine di secondi). L'analisi prevede una risposta dinamica che di solito ha un ampio transitorio e poi si smorza a zero, con picchi la cui entità dipende dal contenuto in frequenza del segnale e dalla sua severità (questa è riduttivamente indicata, di solito, tramite la PGA, ovvero il picco di accelerazione). Nei casi di carico della THM è presente il solo effetto del segnale, aggiuntivo rispetto a quanto nella combinazione di riferimento.

## **Ampiezza del passo e durata della analisi**

Una importante decisione da prendere prima di lanciare una THM è l'ampiezza del passo. Di solito, per la corretta valutazione degli integrali di Duhamel, si richiede che il passo sia non più grande di 1/10 del periodo dell'oscillatore. Quindi, in teoria, se il modo "più breve" attivato, ha periodo  $T_n$ , l'ampiezza del passo dovrebbe essere  $T_n/10$ , circa. Una tale scelta però, può comportare un numero di step di carico troppo elevato, e quindi può essere sconsigliabile. Tutto dipende dalla importanza relativa che i modi "brevi" hanno per la struttura in esame. Se questa è modesta, allora una loro integrazione con passi troppo alti potrebbe non essere eccessivamente penalizzante in termini di precisione. Certo, se il passo è 0.05 e tale passo è adeguato per tutti i modi più importanti, non ha molto senso studiare modi con  $T \leq 0.15$ , ad esempio, perché il passo è solo 1/3 del periodo, per questi modi. Quindi, si potranno escludere dalla analisi, a patto che siano effettivamente ininfluenti.

Per quanto riguarda la durata, questa deve essere sufficiente a superare la parte della risposta al segnale che dà luogo ai picchi di interesse strutturale. E' anche possibile eseguire una prima analisi "perlustrativa" e poi ridurre la durata della risposta da indagare a un numero di step sufficiente ad allontanarsi dai picchi, senza con ciò necessariamente arrivare alla quiete.

## Strategie di analisi con Sargon

Per poter utilizzare una analisi di time history in modo efficace e senza dispersioni o confusioni, l'utente deve seguire una strategia di analisi coerente. Si delinea quindi un tipico itinerario di lavoro, espresso in tappe numerate per maggiore semplicità. Sebbene le tappe possano apparire numerose e complesse, in realtà il tempo impiegato a compierle è modesto.

1. Analisi statica e modale e se necessario a spettro di risposta (questa analisi non è necessaria ai fini della THM, non c'entra nulla con essa). Verifiche di stato limite ultimo e di esercizio. Se necessario, verifiche per gli stati limite sismici a spettro di risposta o statica equivalente, in opportuni combi set.
2. Assegnazione ad un combi set libero della etichetta TH1. Aggiunta a tale combi set inizialmente vuoto di una unica combinazione con i carichi permanenti e quasi permanenti. In pratica questa combinazione indica quali azioni siano concomitanti con gli effetti della THM.
3. Se la THM usa accelerogrammi, caricamento degli accelerogrammi nel modello (si veda [gestione di accelerogrammi](#)<sup>[465]</sup>). Se invece la THM è una risposta dinamica generica, allora devono esistere dei casi di carico con etichetta DINAMICO e per i quali [sia compiutamente stata definita la corrispondente  \$f\(t\)\$](#) <sup>[1071]</sup>.
4. Selezione **nel serbatoio 3** dei nodi e degli elementi beam e truss che si ritengono particolarmente significativi, per fare in modo che la successiva THM generi le curve  $V(t)$  e le salvi su disco.
5. Esecuzione della THM ([File-Analizza](#)<sup>[617]</sup>), la quale implica l'aggiunta **automatica** di nstep **casi di carico** ai carichi esistenti e l'aggiunta **automatica** di nstep **combinazioni** al combi set TH1, tutte generate in modo da combinare gli effetti di un particolare step, ovvero gli effetti in un particolare istante di tempo  $t$ , con gli effetti dei casi di carico definiti nella combinazione 1 del combi set TH1. Il numero nstep dipende dalla durata in secondi della analisi e dal passo temporale indicato per l'analisi.
6. Al termine della analisi, sono presenti nel combi set TH1 nstep+1 combinazioni. Inoltre, sono presenti in un file .pcm tutte le curve richieste. Con il comando [Post-Curve](#)<sup>[1250]</sup> si può

aprire il file in questione e vedere le curve, in specie quelle, che anche si possono chiedere, con lo sfruttamento semplificato massimo degli elementi selezionati e massime quella con lo sfruttamento semplificato **della struttura**, in funzione del tempo. Si può fare in modo che solo le combinazioni di TH1 con sfruttamento semplificato della struttura superiore a una certa soglia siano selezionate e quindi pronte per le verifiche. Le verifiche possono essere necessarie o no. Se vengono eseguite e risultano soddisfatte, ***allora si assume che la struttura possa sostenere la forzante dinamica senza problemi.***

7. Esecuzione delle verifiche per tutte queste combinazioni o eventualmente per un sottoinsieme di queste, vale a dire le combinazioni ritenute interessanti ai fini delle verifiche. Tali combinazioni interessanti possono essere determinate nel corso della THM, come già detto, esaminando lo sfruttamento semplificato degli elementi trave e biella oppure possono essere determinate con il comando [Elimina Alcune](#)<sup>[1095]</sup>. Se la verifica riguarda solo poche combinazioni, anche i tempi di calcolo risultano diminuiti. E' compito dell'utente stabilire se e quando certe combinazioni possano essere scartate. Il programma dà degli strumenti (ancora in fase di studio e ricerca) ma non può sostituirsi al progettista.
8. Aggiunta di una nuova time history, per studiare altri segnali. In tal caso si può usare un nuovo combi set TH2, oppure usare lo stesso combi set TH1, accodando **le nuove combinazioni a quelle già esistenti**. I casi di carico nuovi **sono sempre accodati a quelli già esistenti**. Ciò può implicare modelli con migliaia di casi di carico, e file binari di vari Gb. Occorre quindi che tali operazioni siano compiute con consapevolezza ed attenzione verso la mole di dati da scrivere su disco e poi da accedere. Alla versione 12.40 il massimo numero di casi e combinazioni in un unico modello è  $2^{16}-1=65535$ .
9. Riesecuzione della stessa THM, ma con qualche modifica. In tal caso è possibile chiedere di **sovrascrivere** i nuovi casi di carico su quelli precedentemente generati, e **sovrascrivere** le nuove combinazioni su quelle precedentemente generate, specificando **con attenzione** il caso da cui partire e la combinazione da cui partire. In alternativa, è possibile cancellare tutte le combinazioni di TH1, cancellare tutti gli nstep casi di carico generati dalla THM (in un sol colpo) e poi: a) rieseguire l'analisi statica (non la modale); b) Riaggiungere la combinazione 1 al combi set TH1; c) rieseguire la THM.

La strategia delineata consente di eseguire le verifiche in modo intelligente, su un numero *potenzialmente assai ridotto* di combinazioni, pervenendo così a informazioni molto utili per la verifica strutturale. Ovviamente, l'utente è libero di:

- Chiamare il combi set come meglio crede, TH1 è solo un esempio.
- Utilizzare lo stesso combi set impiegato per le verifiche SLU, SLV, SLC eccetera, anziché uno nuovo.
- Salvare il modello con altro nome e utilizzare un file dedicato alle sole THM (anche più d'uno).
- Eseguire le verifiche su tutte le combinazioni per sicurezza.
- Considerare una combinazione di riferimento che abbia anche, al suo interno, casi non di tipo permanente o quasi permanente.
- Trattare le combinazioni e i casi di carico THM come tutte le altre, con la differenza che nei casi di carico THM, generati automaticamente, non ci saranno forze applicate. Le reazioni vincolari dei nodi liberi, ovvero i residui, **prendono il significato fisico di forze apparenti nell'istante considerato**. Quindi non ha senso in quei casi o combinazioni fare la somma delle "reazioni vincolari". E' da notare che con il comando [Edit-Azioni-Da reazioni](#)<sup>[1068]</sup> tali forze apparenti *potrebbero essere riaggunte e rese esplicite*, caso per caso (e rieseguendo una *mera analisi statica* si riottenrebbero le stesse azioni interne e spostamenti).

## **Strumenti ausiliari**

### **Sfruttamento semplificato**

Per sfruttamento semplificato si intende un indicatore di rapida valutazione che possa dare una indicazione del livello di sfruttamento di un elemento. Naturalmente, solo verifiche esaustive possono definitivamente stabilire che un elemento sia verificato o no. Tuttavia, se lo sfruttamento semplificato è significativamente basso, si può ingegneristicamente inferire che l'elemento non sia a rischio. Una tale valutazione ha una significatività che dipende dal problema in esame.

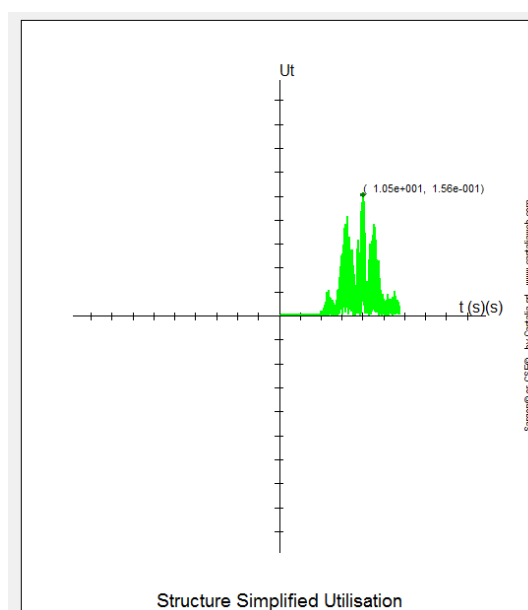
Nell'ambito della THM, Sargon consente la valutazione e la diagrammazione dello sfruttamento semplificato, qui inteso come somma dei moduli delle tensioni dovute alla azione assiale, al momento flettente secondo l'asse forte  $M_2$ , ed al momento flettente secondo l'asse debole  $M_3$ , divise per la tensione di snervamento non fattorizzata,  $f_y$ . Quindi:

$$ut = \left| \frac{N}{Af_y} \right| + \left| \frac{M_2}{W_2 f_y} \right| + \left| \frac{M_3}{W_3 f_y} \right|$$

I valori di  $N$ ,  $M_2$  ed  $M_3$  si ottengono sommando, coi segni, gli effetti della combinazione di riferimento agli effetti della mera THM.

Tale indicatore non considera il taglio e la torsione, ed inoltre non esegue, nella corrente versione in rilascio del programma, alcuna verifica di stabilità. Quindi va usato consapevolmente. Sono allo studio soluzioni più elaborate che tengano conto anche delle verifiche a taglio e torsione e della instabilità. Tali soluzioni saranno verosimilmente aggiunte alle successive versioni del programma.

L'idea comunque è che la valutazione dello sfruttamento semplificato sia rapida e semplice, tanto da poter essere molto vantaggiosa rispetto alla vera e propria esecuzione delle verifiche, le quali comunque sono sempre possibili.



Sfruttamento semplificato della struttura nel corso di una THM sismica

Al momento, si può chiedere al programma di *deselezionare* (in modo da non doverle poi verificare) le combinazioni aggiunte automaticamente, riferentesi a istanti nei quali per tutti gli elementi, selezionati o meno, e tenendo conto anche dei casi di carico referenziati dalla combinazione di riferimento (permanenti e quasi permanenti), risulti

$$u_t < S$$

dove S è una soglia stabilita dall'utente (e che per default ha il valore del tutto indicativo di 0.4).

Se ad esempio si fa andare una THM con 800 step, e si fissa 0.4 come soglia, potrà avvenire che in solo 40 delle 800 combinazioni un qualche elemento abbia  $u_t > 0.4$ . Quelle 40 combinazioni (1/20 delle 800 iniziali) saranno alla fine selezionate, e quindi pronte ad essere sottoposte a verifica. Ciò abbatta i tempi di calcolo in modo molto considerevole.

### **Oscillatore semplice**

Ai fini dello studio della risposta dei singoli modi di una struttura può essere utile avere un ambiente di lavoro che consenta di ottenere la risposta  $u=u(t)$  di un oscillatore semplice a forzanti tipiche. Tale attività è condotta con il comando [Struttura-Oscillatore](#)<sup>[1314]</sup>, il quale consente di studiare la  $u(t)$  di un oscillatore semplice soggetto a forzanti:

1. Impulsive
2. A gradino
3. Sinusoidali
4. Cosinusoidali
5. Accelerogramma sismico.

Il comando è molto utile anche per stabilire la sensitività della risposta alla ampiezza del passo, in specie quando si analizzano oscillatori sismici.

## **Aspetti operativi**

Operativamente, una THM viene eseguita selezionando Time History Modale nel comando [File-Analizza](#)<sup>[617]</sup>. Alla uscita dal dialogo compare un [dialogo dedicato](#)<sup>[635]</sup> che consente di fare tutte le scelte necessarie al funzionamento della THM.

Una THM deve essere eseguita a valle di una analisi statica e di una analisi modale. Una THM incrementa o sovrascrive nstep casi di carico, che risulteranno vuoti di azioni. I file binari su disco, .RDB, .DDB, .SDB, coerenti con il numero di casi originario N, vengono manipolati dal comando in modo da accogliere, alla fine della analisi, N+nstep casi di carico. I risultati degli N casi di carico originari non vengono persi.

E' buona norma che la THM sia associata a un combi set dedicato. Un combi set può anche essere usato per più THM, dato che le combinazioni generate automaticamente referenziano solo i casi della "propria" THM.

Assumendo che ogni THM abbia intorno ai 1000 step, in teoria un combi set potrebbe contenere 64 THM, circa.

## **Segnali sismici NDSHA**

Come messo in evidenza dagli ultimi terremoti (L'Aquila, Emilia, Amatrice-Norcia) e con chiarezza dai testi:

**Giuliano F. Panza e Antonella Peresan, Difendersi dal Terremoto Si Può, EPC, 2016**

**Paolo Rugarli, Validazione Strutturale, EPC, 2014**

il metodo PSHA per la valutazione della pericolosità sismica non è attendibile. Quindi, i segnali ottenuti mediante metodologie di quel tipo sono potenzialmente pericolosi e non adeguati allo scopo di studiare il comportamento sismico delle strutture. Analogamente, l'idea di "fare shopping" di terremoti registrati in altre aree del globo fidando sulla mera simiglianza delle magnitudo e delle profondità, non ha alcuna base fisica, meccanica e geofisica, ed è quindi da considerare non attendibile.

Ben diversi sono i segnali ottenuti mediante simulazione del meccanismo di rottura delle faglie limitrofe al luogo in esame, ottenuti mediante la corretta messa in conto dell'effetto filtrante

degli strati profondi associati al sito in esame, a loro volta tarati a seguito della analisi di veri segnali e di vere risposte registrate (si veda anche *Difendersi dal Terremoto Si Può*, citato). Tali segnali sono quelli ottenibili con il metodo detto NDSHA (Neo Deterministic Seismic Hazard Assessment).

Un certo numero di questi segnali, a mo' di campione, è contenuto nel file NDSHA.acc presente nella cartella di installazione del programma. Tali segnali sono stati ottenuti da simulazioni riguardanti i luoghi degli ultimi terremoti italiani importanti: L'Aquila, Emilia, Amatrice e Norcia.

E' possibile ottenere, se il lavoro richiede delle valutazioni più solide e realistiche, segnali NDSHA dal sito [www.xeris.it](http://www.xeris.it). Quivi, per compensi abbordabili nell'ambito di lavori di importanza superiore alla minima, è possibile ottenere segnali (ovvero accelerogrammi) associati a terremoti di scenario. Ogni scenario, per ragioni intrinsecamente legate alle incertezze dei meccanismi di rottura di faglia, può generare un certo numero di *realizzazioni*, ovvero di diversi segnali.

Tali segnali possono poi essere impiegati come accelerogrammi utili al fine di simulare il comportamento della struttura in esame rispetto a terremoti realisticamente legati alla situazione del luogo considerato.

E' parere di chi scrive che il futuro della ingegneria sismica e della analisi strutturale sismica consista nella capacità di trattare un gran numero di tali segnali (l'ordine di grandezza è 100), per ogni struttura da calcolare in zona sismica. I numeri della normativa (3 per le NTC 2008/2018 o 7 per EC8) appaiono del tutto inadeguati. Nè d'altro canto appaiono sempre del tutto convincenti procedure atte a selezionare alcuni segnali solo sulla base dei loro spettri di risposta, quando raffrontati allo spettro di frequenze proprie della struttura in esame.

Ulteriori studi e ricerche, e quindi comandi in Sargon, sono previsti per il 2017.

Sebbene al momento una tale mole di calcoli appaia impossibile, 100 (terne di) accelerogrammi, si ritiene che la messa in campo di strategie intelligenti per la selezione degli step significativi, ed il massiccio uso di THM almeno come strumento di prima analisi, possa portare, in tempi ragionevoli, alla disponibilità di strumenti specificamente atti ad eseguire un tale compito in modo sostanzialmente accettabile. Peraltro, anche se ancora dominante, appare



meno seducente che in passato l'approccio a danneggiamento controllato che ha caratterizzato le normative degli ultimi anni. E ciò per le seguenti ragioni sostanziali:

1. La difficoltà di valutare in modo attendibile il fattore di struttura, e la incertezza sostanziale che deriva dal suo utilizzo generalizzato.
2. L'inadeguatezza dei metodi pushover, del tutto incapaci di fare i conti con strutture anche solo modestamente irregolari.
3. L'insufficienza di prestazioni intese meramente a salvaguardare la vita degli occupanti, rendendo la struttura ed il suo contenuto da buttare. Un tale risultato appare sempre meno accettabile in un Paese dove i terremoti sono la regola e non l'eccezione.
4. La difficoltà della analisi del danno a seguito di sismi di media entità e la possibilità che il danno resti occulto così mantenendo in vita strutture fortemente indebolite e pronte a crollare al sisma successivo.
5. L'elevato costo di riparazione e la "scoperta" che i sismi (come a Norcia) possono ripetersi dopo un numero di anni basso e comunque del tutto incompatibile con il mito del "periodo di ritorno".

### 2.16.9 Analisi di Time History Non Lineare

Si veda: [Come fare analisi dinamiche non lineari](#)<sup>[553]</sup>.

### 2.16.10 Aree di taglio

#### AREE DI TAGLIO

Per tener conto della energia di deformazione connessa con il taglio è possibile aggiungere le aree di taglio degli elementi trave all'interno del file di input per i solutori.

Se si esegue il solving con uno dei solutori interni di Sargon la scelta verrà fatta al momento del lancio dei solutori stessi ([Analizza](#)<sup>[617]</sup>).

Se invece si esegue il solving con uno dei solutori esterni occorre prima aver fatto la scelta mediante il dialogo usato per lanciare i solutori interni, uscendo con "OK" ([Analizza](#)<sup>617</sup>).

La definizione delle aree di taglio fa capo ad una teoria semplificata che non trova applicazione per tutte le possibili forme sezionali. Normalmente trascurare le aree di taglio su elementi snelli porta a modeste variazioni nella soluzione. La soluzione senza le aree di taglio sarà tanto più precisa quanto più snelli sono gli elementi. Per elementi molto tozzi (rapporto luce altezza minore di 8) l'effetto delle aree di taglio può invece essere sensibile.

Se si è in dubbio si provi ad eseguire una analisi di sensibilità della soluzione al variare della scelta fatta.

### 2.16.11 Tension stiffening

#### TENSION STIFFENING

Sotto il nome di tension stiffening va quel fenomeno fisico in base al quale la rigidezza di un elemento dipende dal suo stato di trazione o di compressione. Il classico esempio è quello della corda vibrante: lo stato di tensione della corda influenza direttamente la frequenza di vibrazione. Un altro esempio è quello dei cavi pretesi, i quali offrono una rigidezza ben diversa da quella dei cavi laschi.

Sargon consente di definire, per ogni elemento trave e biella, lo stato di tensione iniziale. Tale tensione verrà usata dai solutori per assemblare la matrice di rigidezza geometrica. I solutori che fanno uso della tensione iniziale sono: LEDA (analisi modali) e SOCLEVER (analisi statiche nonlineari). Il comando per assegnare la pretensione (o precompressione) è [N Iniziale](#)<sup>814</sup>.

### 2.16.12 Memoria

#### MEMORIA

I sistemi operativi Microsoft a 32 bit non consentono la piena gestione della memoria fisica (RAM) da parte dei processi in atto sul computer. Invece, il sistema operativo riserva a ciascuno una parte di memoria RAM che dipende da molti fattori: la memoria fisica totale disponibile; il numero ed il tipo dei processi in atto al momento della esecuzione del nuovo processo; le richieste in termini di memoria RAM del nuovo processo; il sistema operativo (W95, W98, WNT, W2000); il tipo e la natura delle operazioni richieste, la priorità assegnata al processo, eccetera, eccetera.

Non è possibile fornire una descrizione esatta di come il s.o. si comporti nelle varie situazioni, mentre è possibile indicare delle linee guida.

In generale, i solutori hanno tutti bisogno di molta memoria RAM fresca e disponibile. Scopo del solutore è quello di tenere in memoria la maggior parte possibile della matrice di rigidità ( o più in generale delle matrici di lavoro), senza dover ricorrere al disco rigido (disk swap). Per prima cosa, si può valutare lo spazio in byte occupato dalla intera matrice di rigidità, mediante la seguente operazione:

$$S = \text{ndof} * \text{avb} * 8$$

Dove ndof è il numero di gradi di libertà, avb è la banda media (average bandwidth), 8 è il numero di byte per ogni numero reale (doppia precisione).

L'ideale sarebbe che ci fosse uno spazio di RAM M pari o superiore a S. In tal caso la matrice può non essere divisa in blocchi, e la sua triangolarizzazione può essere eseguita senza swap su disco.

Se il problema è molto grande, è facile che la matrice non stia nella memoria disponibile. In questo caso i solutori la dividono in pezzi, ciascuno dei quali occupa un numero di byte pari a quelli disponibili.

Finchè il numero di blocchi è pari a qualche unità, o una o due decine, il problema è ancora risolto in modo relativamente efficiente (ma 20 blocchi non sono 3), se il numero di blocchi è molto alto (da 20 in su), si è in presenza di un problema di dimensioni molto superiori a quelle normalmente affrontabili con quell'hardware: i tempi di risoluzione crescono a dismisura, e si è di fronte ad una soluzione non ottimale.

Poichè in genere la banda media è al di sotto (spesso molto al di sotto) del 10% dell'ordine del problema, si hanno qui alcuni esempi, che mediamente sovrastimano l'occupazione:

NUMERO DI DOF	MB NECESSARI PER K (avb=5%)	MB NECESSARI PER K (avb=10%)
1000	0.4	0.8
5000	10	20
10000	40	80
50000	1000	2000

E' dunque della fondamentale importanza capire come si può intervenire su S e su M, la quantità di memoria RAM effettivamente allocata e disponibile dal programma.

Per ridurre S è opportuno rinumerare in modo da ridurre al minimo la banda media (average bandwidth).

Per aumentare M si hanno a disposizione varie possibilità.

In primo luogo si tenga presente che, a parità di ogni altra considerazione, W95 e W98 lasciano libera meno memoria di WNT. Si danno casi in cui W98 su computer con 64Mb di RAM e nessun processo apparentemente attivo lasci come memoria libera poche centinaia di KB: assurdo, ma sperimentalmente verificato.

La memoria libera (in specie sotto W95 e W98) è influenzata dalla presenza nella esecuzione automatica di applicazioni tipo Office o la barra di Office. In generale, l'esecuzione automatica dovrebbe includere il solo antivirus. Si consiglia pertanto di rimuovere ogni altra cosa, non strettamente necessaria.

Se si deve eseguire un solving su un modello molto grande converrà chiudere le applicazioni non strettamente indispensabili: garantire il multitasking priva di memoria utile per il solving.

Infine, si potrà agire sul programma in modo da decidere esattamente quanta memoria allocare (ciò si fa con il dialogo [Memoria da allocare](#)<sup>[647]</sup>): prima di eseguire un solving è possibile decidere quanta memoria far allocare al solutore.

## 2.16.13 Rinumerazione

### RINUMERAZIONE

Se un modello ha dimensioni medio grandi rispetto alla RAM disponibile è opportuno rinumerare i nodi in modo da ridurre la banda massima e la banda media.

A partire dalla versione 4.44 Sargon consente di scegliere, prima della esecuzione, quale rinumeratore impiegare tra 4 disponibili. I rinumeratori disponibili sono: RCM, CM, PFM, PRM.

Per RCM si intende il metodo denominato Reverse Cuthill McKee: è un metodo solido e ampiamente usato. Di fatto è ottenuto dal CM invertendo l'ordine della numerazione. Questo metodo è proposto come default.

Per CM si intende il metodo di Cuthill e Mc Kee. Partendo da un ordinamento dei nodi che fa capo alla teoria dei grafi, i nodi vengono rinumerati in modo da trovare una configurazione migliore di quella originaria. Il metodo ha risultati che non dipendono dalla numerazione di partenza. La soluzione non è necessariamente quella ottima, perchè dipende dal nodo di partenza che, in generale, non è unico (se ne può scegliere più d'uno: la soluzione dipende dal nodo di partenza).

Per PFM si intende il metodo Profile Front Minimization, metodo preso da un lavoro del Prof. Wilson. Scopo del metodo è minimizzare il profilo, piuttosto che la banda. Il metodo ha tempi di esecuzione più lunghi e generalmente non comporta miglioramenti rispetto al RCM.

Il metodo PRM deriva dal PFM per una maggior insistenza nella valutazione del grado da assegnare a ciascun nodo. Si possono dire per esso le stesse cose già dette per PFM.

Inoltre, se si ritiene che la numerazione di partenza sia già ottima, si può chiedere di non rinumerare, salvando così il corrispondente tempo nella soluzione.

## 2.16.14 Pseudolabilità

### PSEUDOLABILITA'

Si definisce *pseudolabilità* la situazione tale per cui, nella matrice di rigidezza, una certa riga è identicamente nulla. Ciò avviene perchè gli elementi finiti "prendono" in generale solo alcune delle sei rigidezze teoricamente associate a ciascun nodo. Ad esempio in una struttura piana di bielle, tutte le rotazioni sono pseudolabili, e tutte le traslazioni fuori piano sono, anche, pseudolabili.

In campo statico se si ha

$$0=0$$

la pseudolabilità non è attivata. Se invece

$$0=P$$

la pseudolabilità è attivata dando luogo ad un sistema impossibile (nell'esempio precedente, coppie applicate ai nodi o forze normali al piano delle bielle).

Dalla versione 4.44 Sargon pone - a richiesta -  $K_{ii} \neq 0$  per la pseudolabilità non attivata, mentre non fa nulla in caso di pseudolabilità attivata. Questa scelta compare nel dialogo [Analizza](#)<sup>[617]</sup>. Così facendo se tutte le pseudolabilità non sono attivate, allora l'inversione della matrice è possibile e così il solving. Se invece c'è anche solo una pseudolabilità attivata, allora il programma solutore si fermerà perchè non riuscirà a triangolarizzare la matrice ( $K_{ii}=0$ ).

Naturalmente, in campo statico, la pseudolabilità non è attivata se essa non lo è in alcuno dei casi di carico base.

In campo dinamico (analisi modale), se esistono pseudolabilità esse si dicono attivate se in loro corrispondenza è presente una massa. Inattivate se la massa è nulla. In assenza di correzioni succede quanto segue.

Se  $K_{ii}=0$  e  $M_i=0$ , il programma si blocca in quanto non riesce ad invertire  $K$ . Analogamente se  $K_{ii}=0$  ed  $M_i \neq 0$ . Se  $k_{ii} \neq 0$  il problema non si pone in quanto non esiste pseudolabilità.

Se si ha  $K_{ii}=0$  (pseudolabilità) sono possibili tre approcci.

- 1) **Shift.** Se  $K_{ii}=0$  ed  $M_i \neq 0$  la presenza di uno shift negativo consente la soluzione ( $\omega = \sqrt{k/m} = 0$ ,  $T = \text{infinito}$ ). Se  $K_{ii}=0$  ed  $M_i=0$  la presenza di uno shift  $s$  non risolve il problema in quanto  $k^* = k_{ii} - sM_i = 0 - s \cdot 0 = 0$  e la matrice con lo shift non è invertibile.
- 2) **Correzione su K.** La correzione su  $K_{ii}$  è applicata se e solo se la pseudolabilità non è attivata, ovvero solo se  $K_{ii}=0$  ed  $M_i=0$ . In questo caso lo shift (come abbiamo visto) è irrilevante, mentre forzando  $K_{ii} \neq 0$  si ha la soluzione  $\omega = \sqrt{k/m} = \text{infinito}$ ,  $T=0$ .
- 3) **Contemporanea correzione e shift.** In questo caso, per i gradi di libertà dove  $K=0$  ed  $M=0$  (pseudolabilità non attivate) entra in gioco la correzione, mentre per quelli dove  $K=0$

$M!=0$  (pseudolabilità attivate) è in azione lo shift. Pertanto l'uso contemporaneo di correzione e di shift risolve il problema delle pseudolabilità in campo dinamico.

Si noti che spesso in campo dinamico le masse rotazionali sono nulle, pertanto se esiste almeno un dof rotazionale pseudolabile con  $M=0$  è necessario applicare la correzione.

====

Le tecniche qui descritte consentono di risolvere una certa classe di problemi senza introdurre errori nella soluzione. Naturalmente si consiglia di usare queste opzioni avendo chiara la origine e la collocazione di ogni pseudolabilità: queste vengono segnalate, quando rimosse, nel file *.inf* o *.dog*.

Nel generare pseudolabilità si è visto che è importante vedere quali elementi finiti siano attaccati al dof in questione e che giacitura abbiano. Un classico esempio di pseudolabilità è il cosiddetto *drilling mode* negli elementi piastra. Per fissare le idee, si immagini una piastra definita nel piano xy. Tutti gli elementi piastra non hanno rigidezze associate alla rotazione Z, e pertanto tutte le rotazioni Z sono pseudolabili (si immagina che non vi siano altri elementi connessi). Per evitare questo problema, si usa la tecnica del *drilling factor*. In pratica ad ogni nodo di un elemento piastra, viene aggiunta una piccola rigidezza associata alla rotazione del nodo nel piano della piastra stessa: nel nostro esempio la rotazione Z. Queste piccole rigidezze evitano che  $K_{ii}=0$  e quindi eliminano la pseudolabilità. Tuttavia la presenza di termini molto piccoli (prossimi a zero) sulla diagonale della matrice di rigidezza può causare, in certi casi, problemi di instabilità numerica. Ciò avviene quando il rapporto tra la massima e la minima rigidezza diagonale supera i dieci-dodici ordini di grandezza. In questo caso il drilling factor fa più danno che altro. Siccome le pseudolabilità possono essere eliminate direttamente, sarà conveniente, in questi casi, porre il drilling factor a zero ed attivare la rimozione delle pseudolabilità.

Il drilling factor può essere fissato direttamente nella finestra di dialogo [Analizza](#)<sup>[617]</sup>.

## 2.16.15 Scelta degli elementi finiti

### SCELTA DEGLI ELEMENTI FINITI

A partire dalla versione 6.50 di Sargon è stata aggiunta la possibilità di scegliere tra diversi tipi di elementi finiti per eseguire un'analisi. Questa scelta – senza nulla levare alla possibilità di scegliere gli elementi proposti, e quindi senza obbligare a decidere – consente all'analista di fare una serie di studi e di validazioni altrimenti impossibili.

Grazie a questa nuova funzionalità lo stesso problema può essere fatto calcolare con le diverse formulazioni senza alcuna difficoltà. Lo studio delle differenti risposte, tenute in conto le differenti proprietà degli elementi finiti (alcuni dei quali approssimano “dal basso”, ovvero sovraastimando le rigidezze, mentre altri no), può consentire di capire meglio dove possa trovarsi la soluzione “esatta”. Inoltre l'esecuzione di calcoli con differenti elementi finiti consente di avere un maggior grado di controllo sulla attendibilità della risposta. In quanto segue si darà una guida all'uso dei vari elementi finiti presenti in Sargon.

### **Elementi finiti atti a discretizzare la parte membranale**

Si intendono non solo gli elementi membrana ma anche gli elementi plate-shell nella loro parte membranale. La scelta riguarda sia gli uni che gli altri e non può essere fatta disgiuntamente.

Al momento è possibile scegliere, per gli elementi a 4 nodi, tre diverse possibili formulazioni:

- Elemento isoparametrico bilineare ad integrazione piena (QUAD4).
- Elemento isoparametrico bilineare ad integrazione selettiva (QUAD4SRI)
- Elemento incompatibile con correzione di Wilson-Ibrahimbegovic (QM6WI).

#### **QUAD4**

Si tratta di un elemento classico che possiede la importante proprietà di essere conforme. Questo vuol dire che esso ha la proprietà di essere sempre più rigido del vero, in modo che gli spostamenti ottenuti con questo elemento sono sempre inferiori a quelli esatti. Una serie di mesh via via più fitte, e fatte in modo tale da contenere sempre i nodi delle mesh



precedenti, porta a convergere alla soluzione esatta in modo monotono. Questa importante proprietà consente di studiare la convergenza con una certa confidenza.

Il principale difetto di questo elemento è che tende ad essere eccessivamente rigido quando inflesso (*locking*), con mesh non molto fitte. Se ad esempio si modella un nucleo scale con elementi di questo genere in numero insufficiente (piastre o membrane che siano) le pareti soggette a flessione a mò di mensola tenderanno a spostarsi troppo poco, sottostimando la risposta dell'edificio (per un esempio vedi [1]).

Quando si usa questo tipo di elementi occorre quindi eseguire mesh con una discretizzazione molto fitta, o, per lo meno, studiare il cambiamento della risposta al variare della mesh in modo da quantificare la variazione della risposta. In compenso si ha una chiara informazione circa il posizionamento della risposta rispetto a quella esatta.

### QUAD4SRI

Per ovviare ai fenomeni di locking connessi con l'elemento bilineare sono stati proposti vari sistemi atti a diminuire la rigidità dell'elemento. Il primo metodo fa uso di un'integrazione ridotta, ma esso genera rilevanti problemi in quanto vi sono dei movimenti che possono avvenire a prezzo di un'energia di deformazione nulla (modi spurii). In seguito è stato proposto il metodo della integrazione selettiva (SRI, selective reduced integration), che comporta un differente modo di integrare la parte della matrice di rigidità collegata alla energia di deformazione "estensionale" (2x2 punti di Gauss), rispetto alla parte della matrice di rigidità collegata alla energia di deformazione tagliante (1x1 punto di Gauss). L'elemento QUAD4SRI usa questo tipo di integrazione e quindi migliora sensibilmente le prestazioni dell'elemento QUAD4. In compenso vengono perse le proprietà legate alla convergenza, ragion per cui per questo elemento non si può dire se lo spostamento calcolato sia minore o maggiore di quello esatto. Per una approfondita discussione sulle tecniche di integrazione selettiva si rimanda ad esempio a [3] ed a [4], esponenti a riguardo di correnti di pensiero piuttosto diverse.

### QM6WI

Sempre al fine di migliorare l'elemento a 4 nodi sono stati proposti elementi non compatibili (e quindi privi delle proprietà di convergenza dell'elemento QUAD4) i quali presentano, rispetto al normale QUAD4, 4 ulteriori parametri di interpolazione (2 per u e 2 per v). Questi elementi (elementi Q6) mostravano di comportarsi bene finchè rettangolari, ma non passavano il patch test se distorti. Per risolvere il problema del patch test sono state proposte delle correzioni (da Q6 a QM6) delle quali la migliore e più convincente è quella proposta da Wilson e Ibrahimbegovic [2], qui denominata QM6WI. L'elemento a quattro nodi in questione ha un eccellente comportamento già con mesh non molto fitte, e si pone quindi, nonostante la non-compatibilità, come uno degli elementi di elezione per l'analisi degli stati di sforzo membranali.

A titolo di esempio riportiamo da [1] una serie di risultati comparativi ottenuti su una mensola caricata all'estremo (un classico benchmark reperibile identico in letteratura), rispettivamente con i vari elementi finiti presenti in Sargon ed anche con l'elemento di Taylor-Simo presente in Sap90 ed in Sap2000 (TAYL4, il calcolo è stato fatto usando Sap90). Sono riportati i rapporti tra la soluzione calcolata e quella esatta per la freccia all'estremo e per la tensione normale all'estradosso a distanza H dall'incastro, essendo H l'altezza della mensola. I dati sono i seguenti: L=48cm, H=12cm, t=1cm, E=200kN/mm<sup>2</sup>,  $\nu=0.25$ , P=40kN applicato a mezza altezza.

Mesh	Elementi	Dof	vA	$\sigma_x B$
2x8	16QUAD 4	48	0.890	0.928
4x16	32QUAD 4	160	0.970	0.987
2x8	16QUAD 4SRI	48	0.974	1.022
4x16	32QUAD 4SRI	160	0.995	1.013
2x8	16QM6W I	48	0.990	1.001

4x16	32QM6W I	160	0.999	1.000
2x8	16TAYL4	72	0.984	1.034
4x16	32TAYL4	240	0.997	1.016

## BIBLIOGRAFIA

- [1] P.Rugarli “Calcolo Strutturale con gli Elementi Finiti”, EPC Libri, Roma, Settembre 2003.
- [2] E.L.Wilson, A. Ibrahimbegovic, “Use of incompatible displacement modes for the calculation of element stiffnesses and stresses”, *Finite Elements in Analysis and Design*, 7, 1990, 229-241
- [3] R.H. MacNeal, “Finite Elements: Their Design and Performance”, Marcel Dekker Inc., 1994
- [4] K.J.Bathe, “Finite Element Procedures”, Prentice Hall, 1996

### 2.16.16 Controllo della bontà del calcolo

#### CONTROLLO DELLA BONTA' DEL CALCOLO

Sargon dispone di un sofisticato strumento per il controllo della bontà di ciascuna esecuzione e per il controllo della bontà delle successive versioni del programma. Tale strumento è denominato “checksolvers” ed è un eseguibile rilasciato insieme con il programma.

Checksolvers è un programma indipendente dai solutori poiché utilizza unicamente i dati di output da essi prodotti (spostamenti, azioni interne, reazioni e residui) oltre che, naturalmente, le informazioni sulla geometria e sulle connessioni.

Checksolvers ha un suo manuale d'uso esterno al manuale di Sargon, si tratta del documento (in inglese) “checksolvers.doc” contenuto nella cartella di installazione del programma.

I controlli eseguiti da checksolvers sono controlli di due tipi.

Vi sono i controlli eseguibili senza alcuna specifica informazione da parte dell'utente, ovvero controlli sulla bontà della soluzione, sulla sua coerenza e precisione (controlli standard).

Vi sono invece controlli che il programma esegue paragonando certi risultati ottenuti dai solutori ("computed values") con i risultati attesi ("target values"). I risultati attesi possono essere risultati "teorici" (e in tal caso deriveranno da formulazioni descritte in letteratura) oppure risultati di confronto con altri solutori ("cross checks") o, ancora, risultati reputati accettabili sulla base di altre considerazioni ("accepted values"). Questi controlli sono detti globalmente "controlli incrociati".

### Controlli standard

A partire dalla versione 8.10 del programma, al termine di ogni soluzione statica si viene richiesti di decidere se si vuole ottenere un controllo automatico della bontà della esecuzione. Se si risponde "sì", Sargon creerà in modo automatico un file di input per checksolvers relativo al modello correntemente in analisi, eppoi lancerà, sempre in modo automatico, lo stesso checksolvers.exe, in modo che questo produca poi un file di output che verrà aperto automaticamente usando blocco note.

In pratica se si sceglie di eseguire i controlli si verrà automaticamente portati a un file di output ASCII che conterrà una serie di importanti dati relativi alla bontà della soluzione, e che potranno essere d'aiuto al fine di certificarne la qualità (almeno per le parti relative alla precisione della soluzione: non è infatti detto che il modello sia appropriato, e ciò per numerosi possibili motivi).

Supponendo che il modello si chiami "paperino.wsr", viene creato il file di input per checksolvers "paperino.chk.txt", eppoi il file di output di checksolvers "paperino.chk.txt.out". Si tratta di file ASCII editabili con un qualsiasi editor di testo.

Per una dettagliata descrizione dei controlli standard eseguiti da checksolvers si rimanda al suo manuale d'uso. Qui diamo un esempio di tale tabulato che fa intendere il tipo ed il numero di controlli standard eseguiti. Il modello qui analizzato aveva due soli casi di carico.

*****	
*	*
*	*
*	*
*	*

Sargon - 1991-2026 - Copyright Castalia srl - Milan - Italy - [www.castaliaweb.com](http://www.castaliaweb.com)

```

----- Reaction Z Check passed -----
Load case 1 Work of residual forces and moments TV= 0.000000e+000 CV = 7.588558e-004 DELTA =
7.588558e-004 Err(%) = 0.0759
Load case 2 Work of residual forces and moments TV= 0.000000e+000 CV = -6.211972e-008 DELTA = -
6.211972e-008 Err(%) = -0.0000
Total number of degrees of freedom: 2450
Load case 1 Total Residual Rx = -2.135974e-006 Maximum Residual Rx = 1.162291e-006 on node
862
Total Residual Ry = -1.520588e-006 Maximum Residual Ry = 5.960464e-007 on node
738
Total Residual Rz = -2.467728e-005 Maximum Residual Rz = 5.215406e-006 on node
945
Total Residual Mx = 0.000000e+000 Maximum Residual Mx = 0.000000e+000 on node 0
Total Residual My = 0.000000e+000 Maximum Residual My = 0.000000e+000 on node 0
Total Residual Mz = 0.000000e+000 Maximum Residual Mz = 0.000000e+000 on node 0
Load case 2 Total Residual Rx = 3.376522e-008 Maximum Residual Rx = 9.620999e-008 on node
771
Total Residual Ry = -3.109257e-008 Maximum Residual Ry = 1.909757e-008 on node
947
Total Residual Rz = 5.412877e-008 Maximum Residual Rz = 8.949428e-009 on node
872
Total Residual Mx = 0.000000e+000 Maximum Residual Mx = 0.000000e+000 on node 0
Total Residual My = 0.000000e+000 Maximum Residual My = 0.000000e+000 on node 0
Total Residual Mz = 0.000000e+000 Maximum Residual Mz = 0.000000e+000 on node 0
Load case 1 Point of application of residual + reaction resultant (Or): X= 9.500000e+003 Y=
5.000000e+002 Z= 1.405154e-009
Load case 1 Point of application of applied loads (Op): X= 9.500000e+003 Y=
5.000000e+002 Z= 0.000000e+000
Load case 1 P x (Op-Or): Mx= -2.424940e-003 My= 1.747321e-001 Mz= 0.000000e+000 M = 1.747489e-
001 |M|/|P|= 8.737447e-009
Load case 2 Point of application of residual + reaction resultant (Or): X= 8.140836e-013 Y=
5.000000e+002 Z= 1.000000e+003
Load case 2 Point of application of applied loads (Op): X= -0.000000e+000 Y=
5.000000e+002 Z= 1.000000e+003
Load case 2 P x (Op-Or): Mx= 0.000000e+000 My= -2.501110e-004 Mz= -2.015668e-003 M = 2.031126e-
003 |M|/|P|= 1.015563e-010
Load cases a #1, b #2.Betti's rule (Lab=Lba) VA= -1.337239e-007 VB = -1.238659e-007 DELTA =
9.858013e-009 Err(%) = -7.3719
Load case 1 Average translations: Tx= 4.194072e-015 Ty= -2.462228e-011 Tz= -1.662977e+001 Ttotal=
1.700409e+001
Load case 2 Average translations: Tx= 2.342640e-001 Ty= -7.355153e-013 Tz= 1.126599e-014 Ttotal=
2.347626e-001

```

Nella versione 8.10 i controlli riguardano:

- Le risultanti delle reazioni vincolari paragonate alle risultanti dei carichi applicati
- Il lavoro dei residui
- Il residuo totale e le massime componenti dello stesso residuo
- Il punto di applicazione del vettore delle forze reattive + residui, paragonato al punto di applicazione del risultante dei carichi applicati (controllo distribuzione delle reazioni vincolari)
- Il momento esercitato dal vettore dei residui+ reazioni vincolari rispetto al punto di applicazione del risultante dei carichi applicati

- Il controllo di eguaglianza dei lavori misti secondo il teorema di Betti (quando possibile con sole forze nodali)
- Il valore degli spostamenti medi

Si consiglia di eseguire sempre un controllo sui risultati forniti da checksolvers al fine di verificare la bontà della soluzione ottenuta.

### Controlli incrociati

Dato un certo insieme di modelli test, è opportuno eseguire test di controllo sui risultati delle elaborazioni su ogni successiva versione del programma, al fine di verificare che nulla di scorretto infici i risultati delle analisi. Normalmente tale genere di controlli viene eseguito dalle software house che producono i programmi, ma si è ritenuto che fosse utile e trasparente consentire a ciascun utente non solo di eseguire gli stessi controlli eseguiti dalla Casa Produttrice, bensì anche altri controlli, eventualmente messi a punto da ciascun utente e rieseguiti ad ogni versione.

Con checksolvers versione 2.0 questo è possibile in modo molto semplice, poiché è possibile automatizzare completamente la esecuzione del solving (il nuovo solving ottenuto con la nuova versione da controllare) e la esecuzione dei test eseguiti da checksolvers.

Al fine di illustrare la procedura si parte dalla descrizione della sottocartella \checksolvers alla cartella di installazione del programma.

Tale cartella contiene alcuni file, che sono (rilascio versione 8.10):

#### Directory di C:\WSARGON\CHECKSOLVERS

18/04/2006	19.56	<DIR>	.
18/04/2006	19.56	<DIR>	..
24/03/2006	14.17	<DIR>	CHECKSPARSE_STATICS
18/03/2005	13.06		35 go.bat
06/04/2006	17.58		33 gomodal.bat
03/04/2006	12.37		11.174 modal.txt
03/04/2006	12.56		25.609 modal.txt.out

03/04/2006	14.06	<DIR>	MODALE
06/04/2006	17.57		344 readme.txt
03/04/2006	12.42		7.280 runmodal.bat
05/04/2006	19.48		16.909 runstatics.bat
07/04/2006	17.57	<DIR>	STATICS
05/04/2006	19.57		47.379 statics.txt
07/04/2006	18.46		451.965 statics.txt.out
23/03/2006	19.00	<DIR>	VER700

- La cartella “statics” contiene file di prova per l’analisi statica.
- La cartella “modale” contiene file di prova per la analisi modale
- La cartella “VER700” contiene i risultati di checksolvers ottenuti con la versione 7.00.
- La cartella “checkspare\_statics” contiene modelli fatti girare con il solutore statico sparse matrix e controllano in modo incrociato i risultati ottenuti con il solutore skyline.
- Sono poi contenuti alcuni file:
  - Readme.txt è un piccolo promemoria che spiega cosa fare
  - Runstatics.bat è un file batch che lancia la soluzione con CLEVER di tutti i modelli per le analisi statiche. Naturalmente le analisi vengono eseguite con la versione corrente di sargon.
  - Runmodal.bat è un file batch che lancia la soluzione con LEDA di tutti i modelli per le analisi modali.
  - Statics.txt è il file di input per checksolvers (analisi statiche). Esso dice come eseguire i controlli e cosa controllare.
  - Modal.txt è il file di input per checksolvers (analisi modali). Esso dice come eseguire i controlli e cosa controllare.
  - Statics.txt.out è il file di output di checksolvers rispetto all’input “statics.txt”. Dice cosa checksolvers ha trovato.
  - Modal.txt.out è il file di output di checksolvers rispetto all’input “modal.txt”. Dice cosa checksolvers ha trovato.
  - Go.bat è un file batch che lancia checksolvers dicendogli di aprire il file “statics.txt”
  - Gomodal.bat è un file batch che lancia checksolvers dicendogli di aprire il file “modal.txt”.



Da un punto di vista pratico occorre dapprima eseguire tutti i solving statici e dinamici con la versione in uso, su tutti i file di interesse. Ciò si fa eseguendo dapprima “runstatics.bat” (facendoci doppio click sopra) e poi “runmodal.bat” (sempre facendoci doppio click sopra: bisogna possedere una licenza d’uso di LEDA, ovviamente).

Poi si eseguono i batch file che chiamano checksolvers dicendogli di aprire e leggere i file di input ad esso riservati: checksolvers si aspetta di trovare i file di output e quindi occorre eseguire questo passo dopo il precedente.

Infine si aprono i file “.out” andando a controllare che i risultati siano identici a quelli delle versioni precedenti o comunque attendibili.

Ricapitolando:

- doppio click su “runstatics.bat”
- doppio click su “runmodal.bat”
- attendere la fine di tutti i solving (alcuni sono onerosi !!)
- doppio click su “go.bat”
- doppio click su “gomodal.bat”
- Aprire e controllare “statics.txt.out”
- Aprire e controllare “modal.txt.out”

La procedura indicata esegue test correntemente in uso da parte del produttore. Nulla vieta all’utente di aggiungere suoi propri casi test in modo da avere un ulteriore controllo, indipendente da quello del produttore.

Il tabulato di output di checksolvers per i casi test consegnati dal produttore rappresenta una importante fonte di descrizione della bontà delle elaborazioni del programma.

## 2.17 Preparare ed eseguire le verifiche

### COME PREPARARE ED ESEGUIRE LE VERIFICHE

[Coefficienti di libera inflessione](#)  284

[Riduzione dell'area per i fori](#)  <sup>287</sup>

[Superelementi](#)  <sup>287</sup>

[Scegliere e impostare la normativa](#)  <sup>290</sup>

[Esecuzione delle verifiche](#)  <sup>291</sup>

[Verifiche Libere](#)  <sup>291</sup>


Prima di eseguire le verifiche è in generale necessario fissare il valore di un certo insieme di parametri che influenzano l'esito delle verifiche stesse. Un particolare rilievo per le verifiche a stabilità hanno i coefficienti di libera inflessione, che decide il progettista sulla base del funzionamento strutturale.

La riduzione dell'area per tener conto dei fori va definita sulla base del tipo di collegamento che si intende impiegare: essa influenza le verifiche a trazione.

Molte volte è necessario introdurre un certo numero di superelementi: tutte le volte che esiste una membratura da verificare a stabilità suddivisa in più elementi finiti. E' compito dell'analista aggiungere i superelementi, quando è necessario usarli, e definire i coefficienti di libera inflessione dei superelementi aggiunti.

Le verifiche vengono eseguite solo sulle combinazioni del combiset attivo. Le combinazioni devono essere aggiunte dall'utente, tenendo conto del tipo di norma (tensioni ammissibili, stati limite). Nel caso di norme agli stati limite, le combinazioni vengono normalmente generate automaticamente dal verificatore, e, in un secondo tempo, possono essere eventualmente modificate.

E' possibile lavorare con più combiset (SLU, SLE, ecc.).

Nel caso delle verifiche libere, si rimanda alla [sezione dedicata](#)  <sup>291</sup>.

### 2.17.1 Coefficienti di libera inflessione

#### COEFFICIENTI DI LIBERA INFLESSIONE

Le verifiche a stabilità vengono eseguite sugli elementi trave, sugli elementi biella e sui superelementi. Esse in generale sono verifiche a pressoflessione, a compressione, a svergolamento. Queste verifiche dipendono dalla lunghezza di libera inflessione dell'elemento, la quale è definita come  $\mathbf{bL}$ , ove  $L$  è la lunghezza dell'elemento e  $\mathbf{b}$  il coefficiente di libera inflessione. In Sargon i coefficienti di libera inflessione sono tre:  $\mathbf{b1}$ ,  $\mathbf{b2}$ ,  $\mathbf{b3}$ . Il primo governa lo svergolamento, il secondo ed il terzo governano la pressoflessione e la compressione. Per default se l'utente non fa nulla i coefficienti di libera inflessione sono eguali ad 1, tuttavia è responsabilità dell'analista decidere il corretto valore di tali coefficienti che, come è noto, possono differire anche significativamente da 1.

I coefficienti di libera inflessione delle aste selezionate vengono modificati con il comando [Beta](#)<sup>h017</sup>.

Un'importante decisione che va in genere presa quando si abbiano a stabilire i coefficienti di libera inflessione è la seguente: la struttura è a nodi fissi o a nodi mobili? Di fatto dire che la struttura è a nodi fissi significa dire che gli spostamenti trasversali sono così piccoli che si può ritenere la struttura come se fosse a “nodi fissi”, e pertanto trascurare l'effetto  $P\Delta$ . In tal caso i coefficienti di libera inflessione sono inferiori o eguali ad 1. Dire che la struttura è invece a nodi mobili significa dire che gli spostamenti trasversali (e quindi l'effetto  $P-\Delta$ ) non sono trascurabili. In tal caso i coefficienti di libera inflessione sono sicuramente maggiori di 1 (e possono essere anche molto elevati).

Sia le alignment charts che gli abachi di Wood cambiano considerevolmente a seconda che la struttura sia a nodi fissi o a nodi mobili. Le normative inoltre, in generale, evidenziano formule diverse a seconda che la struttura sia a nodi fissi o a nodi mobili.

Nel caso importante di strutture multipliano, alcune norme forniscono dei criteri quantitativi per valutare se una struttura sia a nodi fissi oppure no. Si definisce *interstorey drift*  $I_d$  lo spostamento relativo tra il nodo superiore ed il nodo inferiore di una colonna di interpiano diviso per la altezza della colonna. Ovvero, se la colonna va dal nodo  $\mathbf{i}$  al nodo  $\mathbf{j}$ , ed  $h$  è l'altezza della colonna

$$I_{dx} = |\mathbf{sx_i} - \mathbf{sx_j}| / h$$

$$Idy = |sy_i - sy_j| / h$$

dove  $sx_i$  è la traslazione del nodo  $i$  in direzione  $x$ ,  $sx_j$  è la traslazione del nodo  $j$  in direzione  $x$ , e così via.

Secondo British Standard (BS5950-1990-5.1.3) l'interstorey drift deve essere inferiore a 1/2000 in un'opportuna condizione di carico (carichi orizzontali pari a una frazione di quelli verticali, ad ogni piano), perchè la struttura sia considerabile a nodi fissi.

Secondo EC3 (5.2.5.2), uno dei criteri da seguire per dimostrare che una struttura è a nodi fissi è dimostrare valida la relazione seguente:

$$Id < 0.1 H / V$$

dove  $V$  è la risultante dei carichi verticali applicati ed  $H$  la risultante dei carichi orizzontali applicati ad un certo livello della costruzione. Anche in questo caso l'interstorey drift gioca un ruolo essenziale per determinare se la struttura sia a nodi fissi oppure no.

Sargon consente di valutare per ogni colonna che soddisfi certi requisiti e per ogni combinazione di carico il valore di  $Idx$  e di  $Idy$ , il comando è [Idrift](#)<sup>[1249]</sup>. Prima di usare questo comando è necessario aver eseguito il solving, definire le quote dei vari piani mediante il comando [Multipiano](#)<sup>[1105]</sup>, ed aver definito almeno una combinazione.

Usando il comando [Idrift](#)<sup>[1249]</sup> l'utente può stabilire se la propria struttura è a nodi fissi oppure no: è sufficiente dimostrare che il massimo interstorey drift soddisfa le condizioni richieste da BS o da EC3 (si rimanda al testo delle norme in questione per approfondimenti).

Il criterio dell'interstorey drift è assai più stringente del criterio che limita il massimo spostamento, perchè l'interstorey drift viene valutato per ogni livello della costruzione, e quindi in modo assai più capillare.

## 2.17.2 Riduzione dell'area per i fori

### RIDUZIONE DELL'AREA PER I FORI

Quasi tutte le norme prevedono, per le verifiche a trazione, l'impiego dell'area netta e non dell'area lorda. Sargon consente di tenere in conto la riduzione dell'area dovuta ai fori attribuendo agli elementi un coefficiente di riduzione dell'area, da usare per valutare l'area netta. Il comando, che agisce su travi e bielle selezionate, è [Ared](#)<sup>[1018]</sup>.

## 2.17.3 Superelementi

### SUPERELEMENTI

I superelementi ([Superelemento](#)<sup>[82]</sup>) sono degli oggetti assai importanti nell'ambito della esecuzione delle verifiche automatiche. Sargon è stato il primo programma dotato di interfaccia grafica ad aggiungere i superelementi agli elementi trave e biella, ed a dotarsi di una serie di strumenti atti a trattarli in modo efficiente.

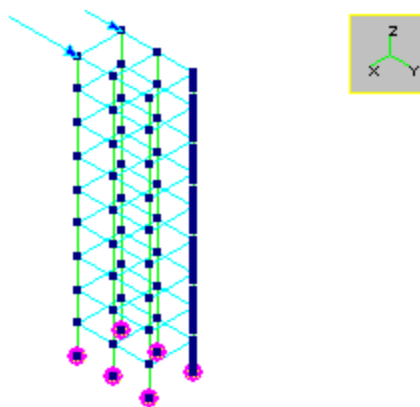
I superelementi possono essere selezionati ([Oggetti](#)<sup>[763]</sup>), e cancellati ([Cancella](#)<sup>[856]</sup>) come gli altri elementi finiti. Esiste un comando di interrogazione a loro dedicato ([Superelementi](#)<sup>[728]</sup>). E' possibile (e in generale necessario) attribuire loro i corretti coefficienti di libera inflessione ([Beta](#)<sup>[1017]</sup>).

Un discorso a sè stante merita il modo in cui i superelementi vengono aggiunti. In linea di principio, i superelementi potrebbero essere aggiunti uno per uno, specificando gli elementi che compongono il superelemento. Gli elementi trave che compongono il superelemento devono essere allineati ed equiorientati. Controlli automatici vengono eseguiti sul fatto che gli elementi siano allineati, non sul fatto che siano equiorientati.

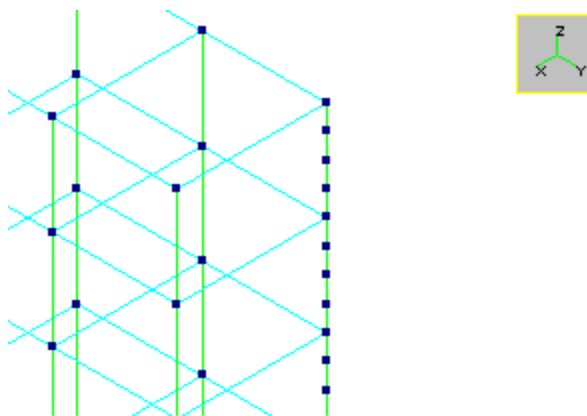
L'aggiunta dei superelementi in questo modo sarebbe però molto lunga e noiosa, soprattutto se questi fossero numerosi. Pertanto Sargon implementa un metodo drasticamente più potente per aggiungere i superelementi, metodo che verrà ora spiegato (il comando è [Cerca](#)<sup>[856]</sup>). Sargon cerca tutti i gruppi di elementi che soddisfano questi requisiti:

- sono composti da travi selezionate;
- sono allineati o quasi (un angolo superiore a  $\arccos(0.98)$  comporta l'interruzione del superelemento);
- lungo la fila di elementi allineati, ovvero nei nodi interni, non interviene alcun altro elemento trave o biella selezionato (piastre e membrane o molle non contano), se non quelli della fila stessa

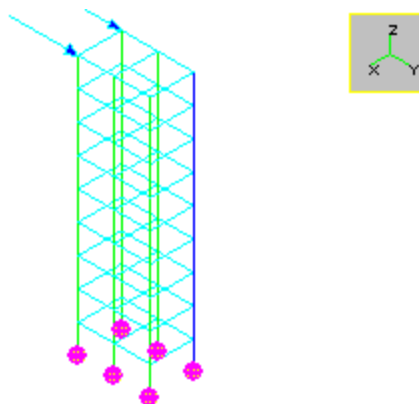
Ogni gruppo di elementi che soddisfa questi requisiti diventa un superelemento e viene aggiunto ai superelementi esistenti. Gli esempi che seguono chiariscono come far funzionare questo comando, che è molto potente.



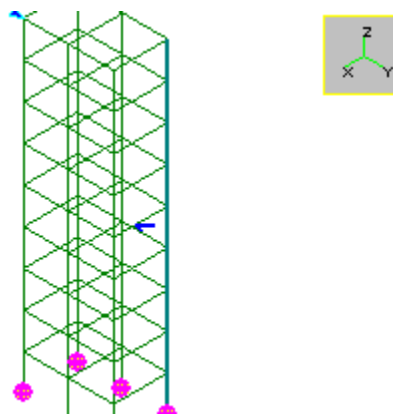
**Un telaio a cui si vogliono aggiungere dei superelementi (le colonne spezzettate)**



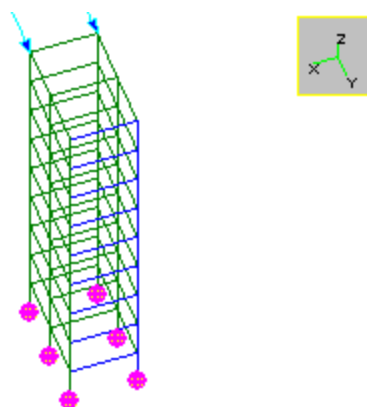
**Dettaglio**



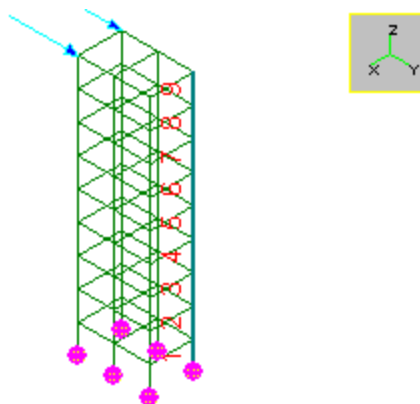
**Primo esempio: si selezionano tutti e soli gli elementi da terra in su**



**Il risultato (errato) è che viene trovato un solo superelemento: infatti tra gli elementi selezionati non ve ne è alcuno che rompittratta la colonna**



**Secondo esempio: si selezionano gli elementi che compongono i nove superelementi e degli elementi ad essi ortogonali, che li rompittrattano in corrispondenza ad ogni piano**



**Il risultato (corretto) è che vengono trovati i nove superelementi che interessavano.**

Da quanto visto sopra è chiaro che la potente routine di ricerca automatica dà un risultato che dipende dagli elementi selezionati prima di eseguire il comando stesso.

#### **2.17.4 Scelta della normativa**

##### **SCELTA DELLA NORMATIVA**

La scelta della normativa di riferimento va fatta con il comando [Edit-Selezione-Norma](#)<sup>767</sup>, che fa accedere a un [dialogo](#)<sup>767</sup> in cui va indicato il codice che si intende utilizzare.

Sono disponibili le seguenti normative per l'acciaio:

- EN1993-1-1 - NTC2008 - NTC2018 (default)
- CNR agli Stati limite
- CNR alle Tensioni Ammissibili
- CNR 10011-10022
- AISC
- BS 5950
- AISC-LRFD



e le seguenti norme per il legno:

- Eurocodice 5
- Documento N.I.CO.LE.
- DM 14/9/2005 NTC
- DM 14/1/2008 NTC
- DM 17/1/2018 NTC

Alcune normative (EC3-NTC2008/2018, [legno](#)<sup>17721</sup>) richiedono delle impostazioni da definire attraverso il dialogo sopracitato.

## 2.17.5 Esecuzione delle verifiche

### ESECUZIONE DELLE VERIFICHE








La *esecuzione* delle verifiche avviene molto semplicemente: occorre selezionare gli elementi che si intende sottoporre a verifica, aver definito almeno una combinazione nel combiset attivo, eppoi aver scelto il verificatore d'interesse. Ciò fatto è sufficiente eseguire il comando [Verifica](#)<sup>1140</sup>.

**Prima di eseguire le verifiche è però bene accertarsi che i coefficienti di libera inflessione ed i superelementi siano correttamente definiti. In caso contrario i risultati ottenuti possono non essere punto significativi per la struttura reale.**

## 2.17.6 Verifiche Libere

### VERIFICHE LIBERE

#### 1. [Introduzione](#)<sup>292</sup>

2. [Variabili e espressioni](#)  292
3. [Le variabili predefinite](#)  296
4. [Le variabili utente delle entità](#)  304
5. [Le variabili aggiuntive](#)  308
6. [Le condizioni](#)  312
7. [La struttura delle verifiche](#)  315
8. [Le informazioni disponibili dopo le verifiche](#)  317

## 1. INTRODUZIONE

A partire dalla versione 15.50, rilasciata nel dicembre 2022, sono possibili le verifiche libere. Si intende, con ciò, la possibilità di far eseguire al programma delle verifiche del tutto particolari, definite e descritte in modo libero dall'utente.

Ciò apre molte possibilità, in quanto con questo sistema è possibile eseguire:

- verifiche non coperte dai verificatori automatici
- verifiche con normative diverse (in teoria è possibile scriversi le verifiche per qualsiasi normativa)
- speciali verifiche problem-dependent

Non servono capacità di programmazione, il programma interpreta formule scritte con le ordinarie regole.

I comandi relativi a questa nuova funzionalità si trovano nel menu Post-Verifiche Libere, o per la interfaccia con Ribbon, il Post-1.

Le verifiche libere sono abilitate per quegli utenti che hanno la abilitazione ad almeno un modulo di verifica. Non sono abolite per gli utenti del solo Sargon Static.

## 2. VARIABILI E ESPRESSIONI

Una variabile ha un nome e una espressione che la definisce che può essere anche solo numerica. Come separatore decimale si usa il punto ".".

Una variabile deve anche avere una dimensione, ovvero occorre specificare la sua dimensione fisica (lunghezza, superficie, volume, forza, coppia, ecc).

In Sargon le **variabili** possono avere qualsiasi nome, ma si consiglia abbiano un nome di questo tipo: GRUPPO.NOME. Dove:

- GRUPPO è un delimitatore che aiuta a capire il senso della variabile.
- NOME è il vero e proprio nome della variabile.

Il gruppo può essere convenientemente espresso come sottogruppi delimitati dal cambio tra maiuscola e minuscola, e lo stesso il nome. Ad esempio: "El.MlimP".

Non possono esistere variabili con nome identico.

Un caso speciale di variabili sono le "variabili con if". Le variabili con if non sono direttamente definite da un nome eguale a una espressione, ma sono definite da una serie di condizioni del tipo:

IF(condizione1)	variabile = ESPRESSIONE1
ELSEIF(condizione 2)	variabile = ESPRESSIONE2
ELSEIF(condizione 3)	variabile = ESPRESSIONE3
ELSEIF(condizione 4)	variabile = ESPRESSIONE4
ELSEIF(condizione 5)	variabile = ESPRESSIONE5
ELSEIF(condizione 6)	variabile = ESPRESSIONE6
ELSEIF(condizione 7)	variabile = ESPRESSIONE7
ELSEIF(condizione 8)	variabile = ESPRESSIONE8
ELSEIF(condizione 9)	variabile = ESPRESSIONE9
ELSE	variabile = ESPRESSIONE10

Il numero degli ELSEIF può variare da zero a un massimo di otto.

Le condizioni sono particolari espressioni, di solito disequazioni, che possono essere vere o false.

Le **espressioni** sono relazioni tra variabili che usano:

- Le parentesi tonde
- Gli operatori  $+-*/^$  con gli ordinari significati di somma, sottrazione, moltiplicazione, divisione, elevazione a potenza.
- Gli operatori  $?, !$  che hanno il seguente significato:
  - $?:$          $a?b$      ritorna 1 se  $a$  è eguale  $ab$  0 in caso contrario.
  - $!:$          $a!b$      ritorna 1 se  $a$  è diverso da  $b$ , 0 in caso contrario
- Funzioni di libreria che qui vengono enumerate:

<code>ornd</code>	<code>(a)</code>	arrotonda $a$ all'intero
<code>opow</code>	<code>(a, b)</code>	$a$ elevato alla $b$
<code>ohyp</code>	<code>(a, b)</code>	radice quadrata di $a^2+b^2$ .
<code>omax</code>	<code>(a, b)</code>	massimo tra $a$ e $b$
<code>omax</code>	<code>(a, b, c, d)</code>	massimo tra $a, b, c, d$
		(numero arbitrario di elementi)
<code>omin</code>	<code>(a, b)</code>	minimo tra $a$ e $b$
<code>omin</code>	<code>(a, b, c, d)</code>	minimo tra $a, b, c, d$
		(numero arbitrario di elementi)
<code>orad</code>	<code>(a)</code>	radianti corrispondenti all'angolo $a$
		in gradi
<code>odeg</code>	<code>(a)</code>	gradi corrispondenti all'angolo $a$ in
		radianti
<code>oflo</code>	<code>(a)</code>	arrotonda verso il basso
<code>ocei</code>	<code>(a)</code>	arrotonda verso l'alto

<code>oabs(a)</code>	valore assoluto di a
<code>otan(a)</code>	tangente di a (a in radianti)
<code>ocos(a)</code>	coseno di a, a in radianti
<code>osin(a)</code>	seno di a, a in radianti
<code>odtan(a)</code>	tangente di a, a in gradi
<code>odcos(a)</code>	coseno di a, a in gradi
<code>odsin(a)</code>	seno di a, a in gradi
<code>ochia(l)</code>	valore di c secondo ec3, curva di stabilità a, per snellezza adimensionale l
<code>ochib(l)</code>	valore di c secondo ec3, curva di stabilità b, per snellezza adimensionale l
<code>ochic(l)</code>	valore di c secondo ec3, curva di stabilità c, per snellezza adimensionale l
<code>ochid(l)</code>	valore di c secondo ec3, curva di stabilità d, per snellezza adimensionale l
<code>ovmis(s, t)</code>	sforzo di Von Mises di sigma s, e $\tau t (\sqrt{s^2+3t^2})$
<code>oflor(a, b)</code>	arrotondamento di a al multiplo di b inferiore
<code>oceil(a, b)</code>	arrotondamento di a al multiplo di b superiore
<code>ocube(a)</code>	cubo di a
<code>osqre(a)</code>	quadrato di a
<code>otanh(a)</code>	tangente iperbolica di a
<code>ocosh(a)</code>	coseno iperbolico di a
<code>osinh(a)</code>	seno iperbolico di a
<code>orad4(a)</code>	radice quartica di a
<code>orad3(a)</code>	radice cubica di a

o rad2(a)	radice quadrata di a
o sqrt(a)	radice quadrata di a
o radq(a)	radice quadrata di a
o loge(a)	logaritmo in base e di a
o atan(a)	arco tangente di a (restituisce radianti)
o acos(a)	arco coseno di a (restituisce radianti)
o asin(a)	arco seno di a (restituisce radianti)

E' quindi possibile ad esempio scrivere:

```
Nd.x = sqre(Pk.r * cos(Pk.a))
```

### 3. LE VARIABILI PREDEFINITE

Per favorire la definizione di nuove variabili, ogni modello Sargon ha al suo interno, definite automaticamente, un certo numero di variabili predefinite, che non possono essere cancellate o modificate.

#### **gl.**

Un primo insieme di variabili predefinite sono dette "globali" e hanno nome che comincia per "gl.". Si tratta di variabili utili come pi-greco, il seno e il coseno di angoli notevoli, le unità di misura o i fattori di sicurezza.

Queste variabili hanno un ben preciso valore numerico che non cambia.

#### **Nd.**

Un secondo insieme è dato da variabili nodali. Esse sono solo 12i e precisamente:

Nd.x	coordinata x
Nd.y	coordinata y
Nd.z	coordinata z
Nd.u	traslazione in direzione x
Nd.v	traslazione in direzione y
Nd.w	traslazione in direzione z
Nd.Rx	reazione vincolare (o residuo) forza in direzione x
Nd.Ry	reazione vincolare (o residuo) forza in direzione y
Nd.Rz	reazione vincolare (o residuo) forza in direzione z
Nd.Mx	reazione vincolare (o residuo) momento asse x
Nd.My	reazione vincolare (o residuo) momento asse y
Nd.Mz	reazione vincolare (o residuo) momento asse z

Si potrebbe credere utile distinguere le variabili da nodo a nodo, definendo ad esempio variabili Nd1., Nd2., Nd3., sino al numero totale di nodi.

In realtà questo approccio:

- Comporta la aggiunta di un enorme numero di variabili che potrebbero non essere necessarie, appesantendo inutilmente il modello.
- Comporta la difficoltà di riferirsi con le verifiche a molti nodi, e non a un solo nodo per volta. In teoria bisognerebbe scrivere tante verifiche quanti i nodi di interesse.

### **Nota bene:**

**Queste considerazioni sono molto importanti e si applicano anche alle variabili associate agli elementi, ai materiali ed alle sezioni trasversali.**

Anziché definire tantissime variabili, nodo per nodo Sargon:

- Aggiunge poche variabili con prefisso Nd. ad indicare che sono variabili nodali, che **assumono valori diversi da nodo a nodo** e, per le reazioni e gli spostamenti, anche **da combinazione a combinazione**.

- ***Nel corso delle verifiche***, considerando ogni nodo di interesse, *prima di eseguire le verifiche su quel nodo, le variabili Nd. saranno attualizzate con il valore pertinente di quel nodo.*

Ciò implica che il valore numerico di queste variabili sia valido nodo per nodo solo nel corso delle verifiche. Al di fuori di esse ci si riferisce genericamente a "un nodo". Al termine delle verifiche i valori impostati restano quelli dell'ultimo nodo considerato.

I valori delle verifiche, però, saranno correttamente valutati considerando il valore delle variabili pertinente a ciascun nodo.

Se ad esempio una verifica di spostamento è scritta

$$\text{sqrt}(\text{Nd.u}^2 + \text{Nd.v}^2) < \text{Nd.z} / 1000$$

e va applicata ai nodi 987 e 1234:

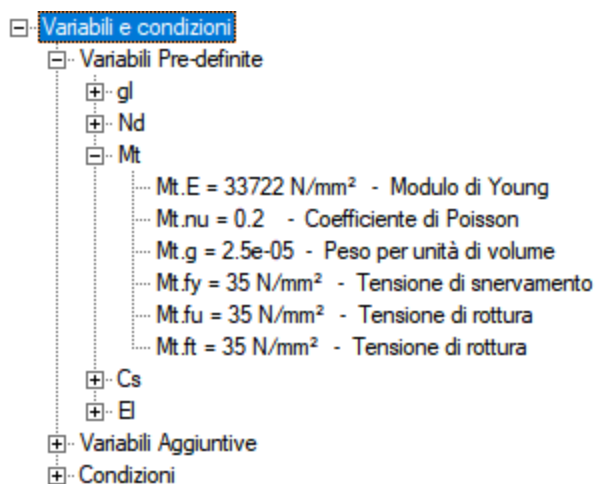
- **Prima** di valutare la verifica per il nodo 987, in una certa combinazione, i valori delle variabili Nd.x, Nd.y, Nd.z, Nd.u, Nd.v, Nd.w, Nd.Rx, Nd.Ry, Nd.Rz, Nd.Mx, Nd.My, Nd.Mz saranno cambiati **da Sargon in modo automatico**, ponendoli eguali ai pertinenti valori del nodo 987 nella combinazione indicata.
- **Poi** sarà eseguita la verifica vera e propria, avendo quindi per la variabili Nd i valori pertinenti.

**Questo meccanismo si applica a tutte le variabili che dipendono dalla entità/combinazione/sezione alla quale si riferiscono.**

**Mt.**

Sono le variabili associate al materiale. Esse sono le seguenti:

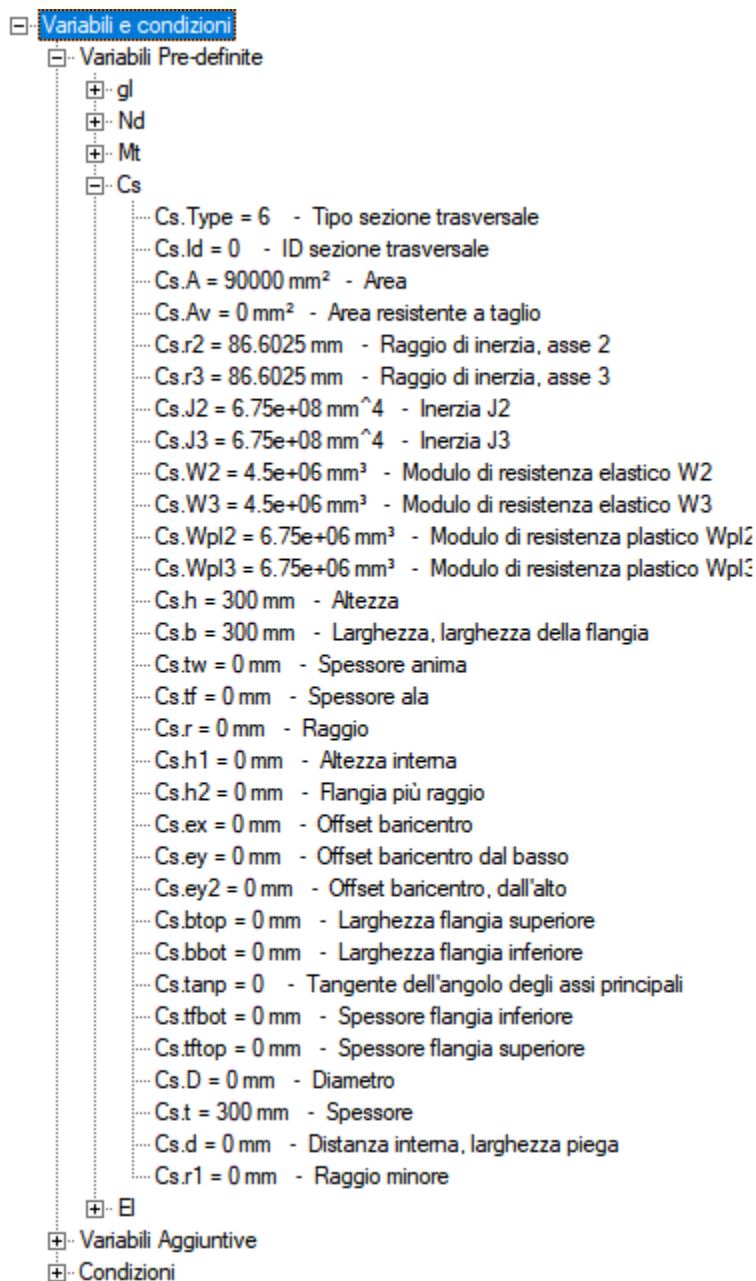




**Tutte queste variabili hanno valori diversi da materiale a materiale.**

**Cs.**

Sono le variabili associate alle sezioni trasversali, esse sono:



**Tutte queste variabili hanno valori diversi da sezione a sezione.**

Il significato di molte variabili è chiaro, per alcune di esse sono necessarie delle spiegazioni:

- Cs.Type: è il tipo della sezione trasversale, di seguito i tipi più frequenti:
  - 1 sezione laminata a I o H
  - 2 Ipn
  - 3 UPN
  - 4 Angolari laminati

- 5 T laminate (lati trastremati)
  - 6 Rettangolari
  - 7 Circolari e circolari cave
  - 9 I o H saldate
  - 10 L a spigoli vivi (saldate)
  - 11 U a spigoli vivi (saldate)
  - 12 T a spigoli vivi (saldate)
  - 13 Cassone
  - 15 [] UPN
  - 16 ][ UPN
  - 22 \_||\_ angolari
  - 23 2 angolari a croce
  - 24 4 angolari a croce
  - 25 totalmente generiche
  - 26 RHS
  - 27 Composte generiche
  - 28 Formate a freddo generiche
  - 29 Formate a freddo a Omega
  - 30 Formate a freddo a U
  - 31 Formate a freddo a Z
  - 32 Formate a freddo a L
  - 33 ][ formate a freddo
  - 34 Formate da poligoni
  - 35 T laminate tagliate da I o H
  - 36 Asb (I o H laminate a flange diseguali)
  - 37 PFC (U laminate con flange parallele)
- Cs.Id: è un identificatore univoco e numerico delle sezioni trasversali. 1xxx IPE, 2xxx HEA, 3xxx HEB, 4xxx HEM.
  - Da Cs.h a Cs.r1: si tratta delle quote delle sezioni trasversali. Per certi tipi certe variabili non hanno senso ad esempio per il tipo 1 (sezioni a I o H), Cs.D.

**El.**

Sono variabili che si riferiscono:

1. A elementi biella (Tr);
2. A elementi trave (Be);
3. A superelementi (Su);

**Tutte queste variabili hanno valori diversi da elemento a elemento.**

Le variabili sono:

El.Type = 0 - Tipo di elemento : 0 biella, 1 trave, 2 superelemento  
 El.CsType = 0 - Tipo di sezione trasversale  
 El.CsId = 0 - ID della sezione trasversale  
 El.J = 0 mm - Lunghezza dell'elemento  
 El.K1 = 1 - Coefficiente di libera torsione  
 El.K2 = 1 - Coefficiente di libera flessione, asse 2  
 El.K3 = 1 - Coefficiente di libera flessione, asse 3  
 El.redA = 1 - Fattore di riduzione dell'area  
 El.Ny = 0 N - Azione assiale limite plastica  
 El.MeI2 = 0 Nmm - Momento flettente 2 limite elastico  
 El.MeI3 = 0 Nmm - Momento flettente 3 limite elastico  
 El.MpI2 = 0 Nmm - Momento flettente 2 limite plastico  
 El.MpI3 = 0 Nmm - Momento flettente 3 limite plastico  
 El.VpI2 = 0 N - Taglio limite plastico 2  
 El.VpI3 = 0 N - Taglio limite plastico 3  
 El.Ns = 0 N - Azione assiale, in una sezione  
 El.T2s = 0 N - Taglio T2, in una sezione  
 El.T3s = 0 N - Taglio T3, in una sezione  
 El.M1s = 0 Nmm - Momento torcente M1, in una sezione  
 El.M2s = 0 Nmm - Momento flettente M2, in una sezione  
 El.M3s = 0 Nmm - Momento flettente M3, in una sezione  
 El.Nmax = 0 N - Massima azione assiale, tutte le sezioni  
 El.Nmin = 0 N - Minima azione assiale, tutte le sezioni  
 El.Nten = 0 N - Trazione (positiva), tutte le sezioni  
 El.Ncom = 0 N - Compressione (positiva), tutte le sezioni  
 El.Nabs = 0 N - Massimo modulo della azione assiale, tutte le sezioni  
 El.T2max = 0 N - Massimo taglio T2, tutte le sezioni  
 El.T2min = 0 N - Minimo taglio T2, tutte le sezioni  
 El.T2abs = 0 N - Massimo modulo taglio T2, tutte le sezioni  
 El.T3max = 0 N - Massimo taglio T3, tutte le sezioni  
 El.T3min = 0 N - Minimo taglio T3, tutte le sezioni  
 El.T3abs = 0 N - Massimo modulo taglio T3, tutte le sezioni  
 El.M1max = 0 Nmm - Massimo momento torcente M1, tutte le sezioni  
 El.M1min = 0 Nmm - Minimo momento torcente M1, tutte le sezioni  
 El.M1abs = 0 Nmm - Massimo modulo momento torcente M1, tutte le sezioni  
 El.IsM2Lin = 0 - M2 è lineare?  
 El.M2i = 0 Nmm - Momento M2, sezione iniziale  
 El.M2j = 0 Nmm - Momento M2, sezione finale  
 El.M2m = 0 Nmm - Momento M2, mezzzeria  
 El.M2max = 0 Nmm - Massimo momento M2, tutte le sezioni  
 El.M2min = 0 Nmm - Minimo momento M2, tutte le sezioni  
 El.M2abs = 0 Nmm - Massimo modulo momento M2, tutte le sezioni  
 El.IsM3Lin = 0 - M3 è lineare?  
 El.M3i = 0 Nmm - Momento M3, sezione iniziale  
 El.M3j = 0 Nmm - Momento M3, sezione finale  
 El.M3m = 0 Nmm - Momento M3, mezzzeria  
 El.M3max = 0 Nmm - Massimo momento M3, tutte le sezioni  
 El.M3min = 0 Nmm - Minimo momento M3, tutte le sezioni  
 El.M3abs = 0 Nmm - Massimo modulo momento M3, tutte le sezioni  
 El.elem = 0 - Numero di elemento  
 El.M2fq = 0 Nmm - Momento M2, a 1/4  
 El.M2tq = 0 Nmm - Momento M2, a 3/4  
 El.M3fq = 0 Nmm - Momento M3, a 1/4  
 El.M3tq = 0 Nmm - Momento M3, a 3/4

⊕ L

Valgono le seguenti osservazioni:

- Risulta per ogni elemento  $El.CsType = Cs.Type$
- Le variabili "el" e "pl" dipendono dall'elemento ma non dalla combinazione.
- Le variabili Ns, T2s, T3s, M1s, M2s, M3s cambiano con il cambiare dell'elemento, della combinazione e della sezione lungo l'elemento. Il numero di sezioni da considerare è quello del comando [Numero Sezioni](#)<sup>[1142]</sup>.
- Nten e Ncom sono numeri positivi e indicano la trazione o la compressione in un certo elemento in una certa combinazione.
- Le variabili Nabs, T2abs, T3abs, M1abs, M2abs, M3abs, sono numeri positivi e indicano il massimo valore assoluto della sollecitazione lungo l'elemento.
- IsM2Lin e IsM3Lin valgono 1 se l'andamento del momento M2 o M3, rispettivamente, è lineare, 0 se è non lineare, da un estremo all'altro dell'elemento.
- Le variabili "max" indicano il massimo in senso algebrico lungo l'elemento, in una certa combinazione
- Le variabili "min" indicano il minimo in senso algebrico lungo l'elemento, in una certa combinazione
- Le variabili M2i, M3i indicano il corrispondente momento all'inizio dell'elemento.
- Le variabili M2j, M3j indicano il corrispondente momento alla fine dell'elemento.
- Le variabili M2m, M3m indicano il corrispondente momento in mezzeria dell'elemento.
- Le variabili M2fq e M3fq indicano il corrispondente momento al primo quarto della lunghezza
- Le variabili M2tq e M3tq indicano il corrispondente momento al terzo quarto della lunghezza
- La variabile elem, indica il numero dell'elemento nel corrispondente vettore (delle bielle, delle travi o dei superelementi)

#### 4. LE VARIABILI UTENTE DELLE ENTITA'

A partire dalla versione 16.40 è possibile aggiungere delle particolari variabili scelte dall'utente, a corredo delle entità. Per entità si intende:

- i nodi
- gli elementi e in particolare
  - le bielle
  - le travi
  - i superelementi

Le variabili aggiuntive assegnate alle entità hanno la forma Nd.NOME per le variabili associate ai nodi, e El.NOME per le variabili associate agli elementi.

L'utente può quindi decidere di aggiungere fino a 255 variabili ai nodi e agli elementi, delle quali deciderà:

1. Il "NOME", che si consiglia dare seguendo le regole generali.
2. La dimensione fisica della variabile (lunghezza, area, eccetera)
3. La descrizione della variabile.

A livello di variabili, il primo passo è dunque definirne il nome, la dimensione e la descrizione. Inizialmente, tutte le entità avranno quella nuova variabile al valore 0. Sarà poi possibile, in un secondo tempo, assegnare valori numerici della variabile a diversi nodi o elementi. In pratica:

- Prima con il comando [Post-Verifiche libere-Variabili Entità](#)<sup>[1176]</sup>, si aggiungono le variabili di interesse. Il comando è anche usato per cancellarle o per modificare nome, dimensione o descrizione.
- Poi con i due comandi [Assegna variabile nodi](#)<sup>[1181]</sup>, [Assegna variabile elementi](#)<sup>[1182]</sup>, che operano rispettivamente sui nodi e sugli elementi selezionati (trave, biella o superelementi), è possibile assegnare un ben preciso e distinto valore numerico per una certa variabile entità, scelta tra quelle disponibili.

Le variabili entità sono definite da un valore numerico diretto, non è possibile dare una formula per descriverle. Tale operazione sarebbe di fatto ridondante dato il fatto che le variabili aggiuntive possono referenziare quelle di entità (vedi sezione successiva).

Una volta definite e assegnate le variabili entità, è possibile utilizzarle all'interno di formule, sia per definire nuove variabili (si veda la sezione successiva, variabili aggiuntive), sia per definire certe condizioni che saranno controllate dalle verifiche.

La possibilità di corredare nodi ed elementi con dati che vanno al di là della base dati normale del programma (sarebbe per esempio possibile associare un colore, o un fornitore, o un'età ai vari elementi), consente una grande flessibilità. La disponibilità di queste variabili allarga enormemente il campo di azione delle verifiche libere.

Le variabili entità sono visibili nella vista alfanumerica in due sedi:

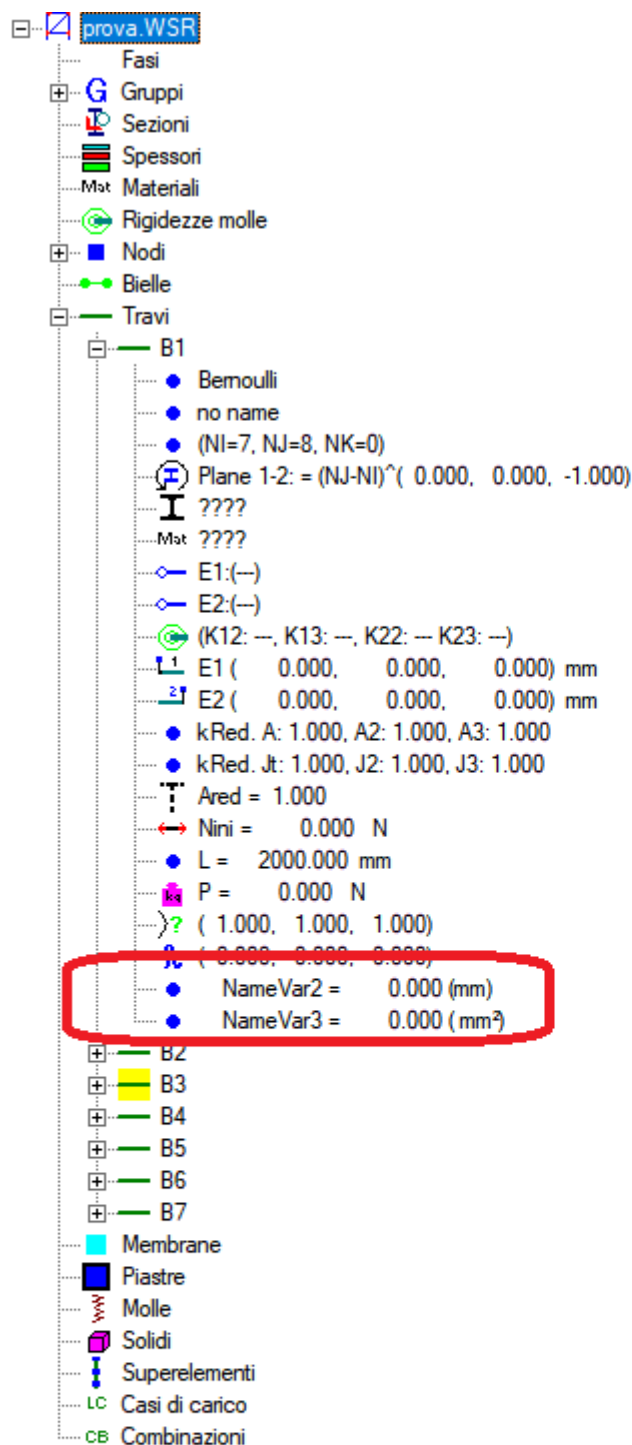
```

..... El.T3min = 0 N - Minimo taglio T3, tutte le sezioni
..... El.T3abs = 0 N - Massimo modulo taglio T3, tutte le sezioni
..... El.M1max = 0 Nmm - Massimo momento torcente M1, tutte le sezioni
..... El.M1min = 0 Nmm - Minimo momento torcente M1, tutte le sezioni
..... El.M1abs = 0 Nmm - Massimo modulo momento torcente M1, tutte le sezioni
..... El.IsM2Lin = 0 - M2 è lineare?
..... El.M2i = 0 Nmm - Momento M2, sezione iniziale
..... El.M2f = 0 Nmm - Momento M2, sezione finale
..... El.M2m = 0 Nmm - Momento M2, mezzzeria
..... El.M2max = 0 Nmm - Massimo momento M2, tutte le sezioni
..... El.M2min = 0 Nmm - Minimo momento M2, tutte le sezioni
..... El.M2abs = 0 Nmm - Massimo modulo momento M2, tutte le sezioni
..... El.IsM3Lin = 0 - M3 è lineare?
..... El.M3i = 0 Nmm - Momento M3, sezione iniziale
..... El.M3f = 0 Nmm - Momento M3, sezione finale
..... El.M3m = 0 Nmm - Momento M3, mezzzeria
..... El.M3max = 0 Nmm - Massimo momento M3, tutte le sezioni
..... El.M3min = 0 Nmm - Minimo momento M3, tutte le sezioni
..... El.M3abs = 0 Nmm - Massimo modulo momento M3, tutte le sezioni
..... El.elem = 0 - Numero di elemento
..... El.M2q = 0 Nmm - Momento M2, a 1/4
..... El.M2q = 0 Nmm - Momento M2, a 3/4
..... El.M3q = 0 Nmm - Momento M3, a 1/4
..... El.M3q = 0 Nmm - Momento M3, a 3/4
..... El.NameVar2 = 0 mm - pippo
..... El.NameVar3 = 0 mm² - Paperino

```

- Là dove sono enumerate le variabili "Nd." e "El.", dandone il nome (El.NOME), la dimensione fisica e la descrizione, nel pannello "Variabili e Condizioni".





- Là dove sono enumerati i valori dei dati relativi ai nodi e agli elementi (nel pannello *Struttura*, e nel pannello *Entità Selezionate*, alle sezioni "Nodi", "Travi", "Bielle", "Superelementi". Nella figura che precede, ad esempio, si vede che la trave B1 ha le due variabili aggiunte entrambe al valore 0.

## 5. LE VARIABILI AGGIUNTIVE

L'utente può definire variabili aggiuntive rispetto a quelle create automaticamente dal programma (ovvero pre-definite) e rispetto a quelle a corredo delle entità (si veda la sezione precedente). Per fare questo sono disponibili i due comandi [Aggiungi Variabile](#)<sup>[1157]</sup> e [Aggiungi Variabile con If](#)<sup>[1162]</sup>. Le variabili aggiunte possono in seguito essere modificate ([Modifica Variabile o Condizione](#)<sup>[1176]</sup>) o eliminate ([Elimina](#)<sup>[1176]</sup>).

Le variabili aggiuntive sono definite da un nome, che dovrebbe avere un formato tipo GRUPPO.NOME. GRUPPO dovrebbe essere una breve sigla alfanumerica, che spiega il senso o lo scopo della variabile.

Si sconsiglia l'uso di nomi del tipo GRUPPO1.GRUPPO2.NOME.

Le variabili non devono avere lo stesso nome di altre variabili esistenti.

La definizione di una variabile può fare uso, nella *espressione* pertinente:

- di tutte le variabili pre-definite;
- di tutte le variabili aggiuntive aggiunte prima di quella corrente.

Si consiglia di usare espressioni non troppo lunghe per non creare problemi di spazio nelle tabelle dei report. Eventualmente usare più variabili.

Una variabile può fare uso nella sua definizione di variabili predefinite o aggiuntive il cui valore cambi da nodo a nodo, e/o da elemento a elemento e/o da combinazione a combinazione e/o da sezione trasversale o materiale a sezione trasversale o materiale. In questo caso, il

valore attuale di quella variabile *sarà aggiornato "a cascata" a valle della ridefinizione dei valori delle variabili delle quali fa uso.*

Nella decodifica dei nomi, e nella resa nei report, si tenga presente che la variabile GRUPPO.NOME viene restituita nei report come  $NOME_{GRUPPO}$ .

Di seguito si dà un esempio: la definizione di variabili aggiuntive per la classificazione di profili di vari tipi a compressione secondo EC3. Si usa il formato con cui si possono esportare file di testo con la definizione delle variabili (comando [Esporta](#)<sup>[171]</sup>).

#### **ADDVARIABLE**

```

; addition of a variable
DIM=NONE  Epsilon
; dimension of the variable,
description
Mt.Eps = sqrt(235. * gl.MPa / Mt.fy)
; namevariable =
expression
```

#### **ADDIFVARIABLE**

```

; addition of a variable
Cs.btw
; namevariable
DIM=NONE  Rapporto larghezza-spessore per anima
; dimension of the variable,
description
if( El.CsType = 1 ) then Cs.btw = (Cs.h1 / Cs.tw)
;
```

```

elseif( El.CsType = 9 ) then Cs.btw = (Cs.h1 /
Cs.tw)          ;
elseif( El.CsType = 11 ) then Cs.btw = (Cs.h -
2*Cs.tf)/Cs.tw          ;
elseif( El.CsType = 12 ) then Cs.btw = (Cs.h -
Cs.tf)/Cs.tw          ;
elseif( El.CsType = 13)  then Cs.btw = max((Cs.h
- 2*Cs.tf)/Cs.tw, (Cs.b - 2*Cs.tw)/Cs.tf)          ;
elseif( El.CsType = 26)  then Cs.btw = (max(Cs.h,
Cs.b) - 2*Cs.t-2*Cs.r)/Cs.t          ;
elseif( El.CsType = 35)  then Cs.btw = (Cs.h -
Cs.tf -Cs.r)/Cs.tw          ;
else                      Cs.btw = 999.          ;
ADDIFVARIABLE
; addition of a variable
Cs.ClNw
; namevariable
DIM=NONE  Classificazione a compressione: anima
; dimension of the variable, description
if( Cs.btw < 33. * Mt.Eps ) then Cs.ClNw = 1
;
elseif( Cs.btw < 38. * Mt.Eps ) then Cs.ClNw = 2
;
elseif( Cs.btw < 42. * Mt.Eps ) then Cs.ClNw = 3
;
else                      Cs.ClNw = 4          ;

```

**ADDIFVARIABLE**

; addition of a variable

Cs.btbf

; namevariable

DIM=NONE Rapporto larghezza-spessore per ala

; dimension of the variable, description

if( El.CsType = 1 ) then Cs.btbf = 0.5 \* (Cs.b-  
2.\*Cs.r-Cs.tw) / Cs.tf ;

elseif( El.CsType = 9 ) then Cs.btbf = max(0.5 \*  
(Cs.btop-Cs.tw)/Cs.tftop, 0.5 \* (Cs.bbot-  
Cs.tw)/Cs.tfbot) ;

elseif( El.CsType = 11 ) then Cs.btbf = (Cs.b -  
Cs.tw)/Cs.tf ;

elseif( El.CsType = 12 ) then Cs.btbf = 0.5\*(Cs.b  
- Cs.tw)/Cs.tf ;

elseif( El.CsType = 13) then Cs.btbf =  
1. ;

elseif( El.CsType = 26) then Cs.btbf = 1 ;

elseif( El.CsType = 35) then Cs.btbf = 0.5 \*  
(Cs.b -2.\*Cs.r - Cs.tw)/Cs.tf ;

else Cs.btbf = 999. ;

**ADDIFVARIABLE**

; addition of a variable

Cs.ClNf

; namevariable

```

    DIM=NONE   Classificazione a compressione: ala
; dimension of the variable, description
    if( Cs.btf < 9. * Mt.Eps ) then Cs.ClNf = 1
;
    elseif( Cs.btf < 10. * Mt.Eps ) then Cs.ClNf = 2
;
    elseif( Cs.btf < 14. * Mt.Eps ) then Cs.ClNf = 3
;
    else
                                Cs.ClNf = 4
;
ADDVARIABLE
; addition of a variable
    DIM=NONE   Classificazione in compressione
; dimension of the variable, description
    Cs.ClN = max(Cs.ClNw, Cs.ClNf)
                                ; namevariable =
expression

```

## 6. LE CONDIZIONI

Le verifiche libere consistono nel controllo di opportune *condizioni*, che normalmente sono delle disequazioni.

Ogni condizione è definita dalle seguenti cose:

1. Una espressione di variabili esistenti L posta a sinistra, il cui valore numerico sia  $v_L$ .
2. Un operatore che può essere: "<", ">", "<=", ">=", "=", "!=" , dove gli ultimi due operatori sono "eguale" o "diverso".
3. Una espressione di variabili esistenti R posta a destra, il cui valore numerico sia  $v_R$ .
4. Una spiegazione di L ed una di R.

5. Una spiegazione della condizione.
6. Una stringa di testo che dice a quali entità la condizione (verifica) deve essere applicata.
7. Un "tipo" che nell'ambito di Sargon può essere al momento solo "Verifica".

L'esito della verifica è positivo, la verifica è soddisfatta, se la condizione è vera (1); l'esito della verifica è negativo, la verifica non è soddisfatta, se la condizione è falsa (0).

E' possibile definire un coefficiente di sfruttamento.

Se la condizione è del tipo

$$v_L < v_R$$

$$v_L \leq v_R$$

lo sfruttamento è definito da

$$e = v_L / v_R$$

Mentre se la condizione è del tipo

$$v_L > v_R$$

$$v_L \geq v_R$$

lo sfruttamento è definito da

$$e = v_R / v_L$$

se il denominatore è nullo, lo sfruttamento è convenzionalmente posto eguale a 99.

Se le condizioni sono "=" o "!=" lo sfruttamento è 0 se la condizione è soddisfatta, 1.00001 se la condizione non è soddisfatta.

Per decidere a quali entità assegnare la verifica, ovvero a quale insieme di entità I, si usa una stringa di testo costituita da più sottostringhe separate da una virgola ",".

Le sottostringhe possono essere quelle della seguente tabella:

Stringa	Esempio	Si applica a
Be#	Be123	Elemento trave numero 123
Tr#	Tr123	Elemento biella 123

Nd#	Nd13	Nodo numero 13
Su#	Su88	Superelemento 88
Gr#	Gr8	Elementi e nodi del gruppo 8 (meglio usare o nodi o elementi*)
Cs#	Cs3	Tutti gli elementi che hanno la sezione numero 3
Ma#	Ma2	Tutti gli elementi che hanno materiale numero 2
Na*	NaBePrimoPiano	Tutti gli elementi il cui nome comincia con "BePrimoPiano"
Alln	Alln	Tutti i nodi
Allt	Allt	Tutti gli elementi biella
Allb	Allb	Tutti gli elementi trave
Allsu	Allsu	Tutti i superelementi

(\*) Una verifica di solito o si applica a un nodo (tipicamente per verifiche di spostamento) o si applica a un elemento. Un gruppo da verificare conterrà quindi solo nodi o solo elementi.

*Ad esempio*, se si vogliono verificare con una certa condizione tutti gli elementi con sezione trasversale numero 2 e 7, la stringa completa sarà "Cs2,Cs7".

Le condizioni sono verificate per tutte le entità indicate dalla stringa e *per tutte le combinazioni di carico*.

Se e solo se nelle espressioni L o R compaiono variabili con nome:

- El.Ns
- El.T2s



- El.T3s
- El.M1s
- El.M2s
- El.M3s

allora la verifica sarà eseguita anche (sugli eventuali elementi beam o superelementi presenti nell'insieme I), per tutte le combinazioni *e per tutte le sezioni* lungo lo sviluppo dell'elemento comprese tra 1 ed NSEZ, dove NSEZ è deciso dal comando [Numero Sezioni](#)<sup>[142]</sup>.

In pratica le verifiche sono normalmente riferite all'elemento nel suo complesso. Verifiche sezionali (a livello di singola sezione) devono usare le azioni interne "di sezione" e non quelle globali dell'elemento.

## 7. LA STRUTTURA DELLE VERIFICHE

Per comprendere come funzionino le verifiche libere è bene avere idea dell'algoritmo che viene eseguito dal programma.

Il primo passo consiste nell'esaminare le condizioni presenti nel modello e capire a quali entità si riferiscono. Per ogni nodo, elemento biella, elemento trave, e superelemento, è così possibile sapere:

1. Se ci siano o no delle verifiche libere da eseguire.
2. Quali esattamente siano le verifiche da eseguire per ciascuna entità.

Stabilito questo il programma parte con le verifiche.

Esegue un ciclo sulle combinazioni e per ogni combinazione:

Esegue un ciclo sui nodi.

Prima di considerare le verifiche eventualmente esistenti su un nodo, fissa le variabili predefinite Nd. per il nodo e la combinazione

Fa un ciclo sulle verifiche associate a quel nodo (se ci sono) e salva i risultati.

Esegue la verifica sul nodo.

Fine del ciclo sulle verifiche.

Fine del ciclo sui nodi

Esegue un ciclo sulle bielle.

Prima di considerare le verifiche eventualmente esistenti su una biella, fissa le variabili predefinite Mt. Cs. ed El. per la biella la combinazione

Fa un ciclo sulle verifiche associate a quella biella (se ci sono) e salva i risultati.

Esegue la verifica sull'elemento.

Fine del ciclo sulle verifiche

Fine del ciclo sulle bielle

Esegue un ciclo sulle travi.

Prima di considerare le verifiche eventualmente esistenti su una trave, fissa le variabili predefinite Mt. Cs. ed El. per la trave la combinazione

Fa un ciclo sulle verifiche associate a quella trave (se ci sono) e salva i risultati

Se la verifica è sezionale

Esegue un ciclo sulle sezioni

Per ogni sezione fissa le variabili El.Ns, El.T2s, El.T3s, El.M1s, El.M2s, El.M3s

Esegue la verifica per quella sezione

Fine del ciclo sulle sezioni

Se la verifica è elementare

Esegue la verifica sull'elemento

Fine del ciclo sulle verifiche

Fine del ciclo sulle travi

Esegue un ciclo sui superelementi.

Prima di considerare le verifiche eventualmente esistenti su un superelemento, fissa le variabili predefinite Mt. Cs. ed El. per il superelemento e la combinazione

Fa un ciclo sulle verifiche associate a quel superelemento (se ci sono) e salva i risultati

Se la verifica è sezionale

Esegue un ciclo sulle sezioni del superelemento

Per ogni sezione fissa le variabili El.Ns, El.T2s, El.T3s,  
El.M1s, El.M2s, El.M3s

Esegue la verifica per quella sezione

Fine del ciclo sulle sezioni

Se la verifica è elementare

Esegue la verifica sull'elemento

Fine del ciclo sulle verifiche

Fine del ciclo sui superelementi

Fine del ciclo sulle combinazioni

Questo schema algoritmico è capace di coprire ogni esigenza di verifica che si possa porre. Al termine della esecuzione, viene salvato un file binario .FCK che contiene i risultati delle verifiche.

Al momento attuale:

- Le verifiche vengono eseguite per il combi set attivo.
- Le verifiche vengono eseguite per tutte le combinazioni non solo per quelle selezionate.
- Per ogni condizione, viene salvato il valore  $v_L$  ed il valore  $v_R$  associato alla entità/combinazione/sezione.

## 8. LE INFORMAZIONI DISPONIBILI DOPO LE VERIFICHE

Dopo aver eseguito le verifiche sono disponibili i seguenti comandi per la restituzione grafica dei risultati, a condizione che sia attiva la norma "FREE" (vedi comando [Norma](#)<sup>[767]</sup>):

- [Inviluppo](#)<sup>[145]</sup>: mappa a colori con gli sfruttamenti di inviluppo *tenendo in conto solo le verifiche libere*.
- [Massimo](#)<sup>[145]</sup>: mappa a colori con i coefficienti di sfruttamento in una certa combinazione, *tenendo in conto solo le verifiche libere*,

- [Interroga](#)<sup>[142]</sup>: interrogazione sui valori esatti dei coefficienti di sfruttamento e su altre informazioni come il numero di condizione di verifica che dà luogo allo sfruttamento, e  $v_L$  e  $v_R$ .

Se un elemento non è stato sottoposto ad alcuna condizione di verifica libera, esso è colorato in grigio.

Non esiste alcun tabulato relativo alle verifiche libere.

Invece, i report creati con il comando [Report](#)<sup>[654]</sup>, considerano anche i risultati delle verifiche libere se al momento della creazione del report è attiva la norma FREE (comando [Seleziona-Norma](#)<sup>[767]</sup>).

## 2.18 Esaminare e trattare i risultati

### COME ESAMINARE E TRATTARE I RISULTATI

[Deformata](#)<sup>[319]</sup>

[Diagrammi](#)<sup>[319]</sup>

[Reazioni Vincolari](#)<sup>[321]</sup>

[Sforzi in piastre membrane e solidi](#)<sup>[321]</sup>



[Verifiche](#)<sup>[332]</sup>

[Tabulato](#)<sup>[334]</sup>


[Stampa](#) [Trasferimento d'immagini](#) [Sforzi in travi e bielle](#) 


## 2.18.1 Deformata

### DEFORMATA

Lo studio della spostata (menu Post-Deformata) fa parte del postprocessing *classico*. Di ogni caso di carico base o combinazione è possibile studiare la deformata. Lo studio della deformata consiste da un lato nell'osservare la sua forma, paragonandola a quella della struttura indeformata, dall'altro nell'ottenere i valori numerici delle traslazioni e delle rotazioni di uno o più nodi ([Interroga](#) ). Sargon consente anche di ottenere il valore delle traslazioni dei punti interni agli elementi trave, là dove non esistono nodi ([Interno](#) ). Il valore dato dal programma è quello stesso che consente di tracciare una deformata nonlineare su ogni elemento finito: deriva dalle funzioni di forma tipiche dell'elemento trave, che sono cubiche per lo spostamento trasversale all'asse. Lo spostamento è *esatto* solo nei limiti in cui è *esatta* la analisi numerica svolta. Tuttavia l'approssimazione fornita è il più delle volte sufficiente.

Lo studio della deformata è essenziale per validare il modello: la forma e l'intensità della deformata non devono dare sorprese, in particolar modo per ciò che attiene alla congruenza.

La deformata può essere vista con una scala automatica o con il fattore di scala deciso dall'utente ([Scala](#) ).

La rappresentazione della deformata è una modalità di disegno paragonabile a quella che fa vedere gli elementi per tipo o per sezione. Una volta attivata questa modalità, essa resta attiva fino al successivo comando [No post](#)  o fino alla scelta di una modalità diversa.

## 2.18.2 Diagrammi

### DIAGRAMMI

Lo studio dei diagrammi delle azioni interne (menu Post-Sforzi BT) fa parte del postprocessing *classico*. E' possibile ottenere i diagrammi di ciascuna delle sei possibili azioni interne in ogni caso di carico o combinazione. Allo stesso modo è possibile ottenere questi diagrammi anche per l'inviluppo delle combinazioni.

I diagrammi delle azioni interne possono essere ottenuti immaginando queste nel sistema di riferimento locale (come di solito) o nel sistema di riferimento globale.

Sono inoltre disponibili due diverse modalità di rappresentazione dei diagrammi (si veda il comando [Post-Sforzi BT-Numero di Sezioni](#)<sup>[1131]</sup>).

La rappresentazione dei diagrammi è una modalità di disegno paragonabile a quella che fa vedere gli elementi per tipo o per sezione. Una volta attivata questa modalità, essa resta attiva fino al successivo comando [No post](#)<sup>[1261]</sup> o fino alla scelta di una modalità diversa.

Scelto uno dei diagrammi con uno dei sei comandi disponibili (da [Azione Assiale-Fx](#)<sup>[1112]</sup>, a [Momento 3-Mz](#)<sup>[1119]</sup> nel menu Post-Sforzi BT), i diagrammi verranno mostrati su tutte le aste o solo su quelle selezionate, a seconda dello stato del flag [Selezionati](#)<sup>[1123]</sup>. Per vedere il diagramma di inviluppo della azione prescelta occorre attivare la opzione [Inviluppo](#)<sup>[1130]</sup>. Questa opzione è disponibile solo se esistono combinazioni nel modello.

I diagrammi si riferiscono al riferimento locale o a quello globale in dipendenza dallo stato del flag attivabile con il comando [Locale](#)<sup>[1120]</sup>, che ha effetto anche sui comandi di interrogazione e sugli inviluppi.

Il comando [Numero Sezioni](#)<sup>[1131]</sup> consente di decidere il grado di raffinatezza della campionatura dei diagrammi.

Il comando [Scala](#)<sup>[1122]</sup> consente di variare la scala se quella automatica non soddisfa.

Il comando [Interroga](#)<sup>[1130]</sup> consente invece di avere informazioni sui valori dei diagrammi (tutte e sei le componenti) non solo all'estremo degli elementi, ma anche all'interno degli elementi stessi. Se è attiva l'opzione [Inviluppo](#)<sup>[1130]</sup> l'interrogazione avverrà sui valori di inviluppo del combiset attivo. In caso contrario avverrà sul caso o sulla combinazione attiva nella vista attiva al momento della esecuzione del comando (sempre del combiset attivo).

### 2.18.3 Reazioni Vincolari

#### REAZIONI VINCOLARI

Per studiare le reazioni vincolari è disponibile il comando [Interroga](#)<sup>[1184]</sup>, che consente di avere informazioni, nel caso o combinazione attivo, sulle reazioni vincolari di un nodo scelto dall'utente. Il programma mostra i valori numerici delle sei componenti di reazione sul nodo usando le unità di misura attive. Se il nodo non è vincolato o se alcuni gradi di libertà del nodo non sono vincolati, il programma dà una misura della precisione del calcolo fornendo i valori numerici delle forze squilibrate agenti sul nodo.

### 2.18.4 Sforzi in piastre membrane e solidi

#### SFORZI IN PIASTRE MEMBRANE E SOLIDI

I comandi da usare per lo studio degli sforzi negli elementi piastra e membrana sono tre: il comando [Sforzi](#)<sup>[1132]</sup> consente di scegliere una componente di sforzo o un invariante ed il modo di rappresentarlo; il comando [Interroga](#)<sup>[1135]</sup> consente di interrogare il programma sul valore ai quattro nodi della quantità visualizzata (con le regole precedentemente scelte con il comando [Sforzi](#)<sup>[1132]</sup>); il comando [Legenda](#)<sup>[1261]</sup> consente di impostare la legenda per la resa grafica degli sforzi.

Nell'esaminare lo stato di sforzo negli elementi bidimensionali è bene tenere presente tutto quanto segue, organizzato nella seguente lista di argomenti:

- A) GENERALITA'
- B) GLI ELEMENTI
- C) IL CALCOLO DEGLI SFORZI AI NODI
- D) RESA DEL CAMPO DI SFORZO SULL'ELEMENTO
- E) VALUTAZIONE DELLA PRECISIONE
- F) ADAPTIVE REFINEMENT
- G) REGOLE GENERALI SUGGERITE

- H) MODALITA' DI VISUALIZZAZIONE
- I) USO DELLA LEGENDA
- L) CONVENZIONI E TERMINOLOGIA
- M) BIBLIOGRAFIA

### A) GENERALITA'

Il calcolo degli sforzi all'interno degli elementi piastra e membrana si presenta intrinsecamente più complesso di quello all'interno dei normali elementi trave o biella di tipo hermitiano. La maggior difficoltà è legata al fatto che gli elementi bidimensionali sono meno precisi degli elementi monodimensionali, per i quali le funzioni di forma rappresentano il campo di spostamenti esatto in assenza di carichi distribuiti. Poichè inoltre il campo degli sforzi è in genere ottenuto tramite il legame costitutivo, che richiede una differenziazione per passare dagli spostamenti alle deformazioni, parte della precisione viene ad essere perduta in quella fase.

Per aumentare la precisione sono sostanzialmente possibili tre approcci: il primo è quello di aumentare la discretizzazione. Questo approccio è oggi maggiormente possibile di quanto non fosse quindici o venti anni fa grazie alle caratteristiche degli odierni microprocessori. Il secondo approccio è quello di usare elementi di ordine superiore (a 8 o a 9 nodi). Questo approccio è tipico dei programmi *general purpose*, dotati di una ampia libreria di elementi finiti. Il terzo approccio, che può coesistere con i primi due, è quello di ottenere una maggior precisione mediante una trattazione numerica degli sforzi effettuata successivamente alla *stress recovery* o variando opportunamente il modo di eseguire la stress recovery stessa: è questo l'ambito tipico delle tecniche di smoothing, delle interpolazioni, delle stime ai minimi quadrati, della integrazione ridotta o selettiva, e così via.

La bibliografia sull'argomento è sterminata. Qui daremo solo brevi cenni rimandando ai testi in bibliografia per una carrellata sulle problematiche connesse alla valutazione degli sforzi.

L'approccio seguito da Sargon fa capo a tecniche ampiamente consolidate ed elementi finiti di sicura affidabilità, pur non essendo così rapidi nel convergere come quelli di ordine superiore. Non essendo (nè volendo essere) un programma *general purpose*, la tecnica tipica



per ottenere una maggior precisione usando Sargon è l'incremento della discretizzazione. Sargon enfatizza la imprecisione del calcolo mettendola chiaramente in evidenza. A differenza di altri programmi, che tendono a regolarizzare la risposta ed a valutarne la precisione con tecniche ingannevoli (cfr. più oltre), Sargon presenta i risultati in modo tale che sia evidente il loro grado di imprecisione. Questa scelta è voluta ed è fatta apposta per consentire all'analista di conoscere la reale situazione del proprio calcolo. Particolarmente utile a questo riguardo è la visualizzazione degli scarti interelementari nella visualizzazione delle isolinee (cfr. l'ottimo [2]: *"We emphasize that the calculation of an error measure and its display is a most important aspect of a finite element solution. The quality of the finite element stress solution should be known"*).

## B) GLI ELEMENTI

Gli elementi finiti usati da Sargon sono tutti classici elementi il cui comportamento, pregi e difetti sono ben noti.

Per la parte membranale Sargon usa elementi CST per i triangoli. L'elemento CST modella linearmente il campo di spostamenti e dà luogo ad una deformazione od uno sforzo costante. Non è un elemento quindi con il quale si possano modellare zone a forte gradiente, a meno di non usarlo con dimensioni sufficientemente piccole rispetto a quelle del gradiente in esame (in tal caso occorrerà aumentare la discretizzazione).

Sempre per la parte membranale, Sargon usa per i quadrangoli l'elemento isoparametrico bilineare QUAD4 o in alternativa l'elemento bilineare con integrazione selettiva QUAD4SRI, o, ancora, l'elemento incompatibile QM6WI (vedi [scelta degli elementi finiti](#)<sup>[273]</sup>).

Il QUAD4 modella il campo di spostamenti con una curva bilineare, mentre il campo di sforzi risultante è lineare sull'elemento. L'integrazione è a quattro punti di Gauss (schema 2x2). Come è noto questo schema può dare un certo aumento di rigidità (shear locking) quando si studino problemi di flessione su travi snelle. La contromisura consiste nella integrazione ridotta o in quella selettiva, anche implementata in Sargon. La integrazione ridotta non è stata implementata in quanto può dare modi spurii (deformazione senza energia di deformazione).

Per quanto riguarda l'integrazione selettiva si tenga anche presente quanto suggerito in [2] ed in [3] (*"We recommend that full numerical integration always be used for a*

*displacement-based or mixed finite element formulation[...]. The reason for recommending the numerical integration orders in table 5.9 is that the reliability of the finite element procedures is of utmost concern and if an integration order lower than the 'full' order is used for a displacement-based or a mixed formulation, the analysis is in general unreliable" [2]).*

Per gli elementi di piastra (immaginata sottile, e cioè aderente alla teoria di Sophie Germaine-Kirchhoff) Sargon usa gli elementi DKT (Discrete Kirchhoff Triangle [7]). Nel caso degli elementi a quattro nodi vengono usati quattro elementi DKT sovrapposti, secondo la tecnica usata da ANSYS per il suo elemento SHELL63 [8]. Ciascun elemento DKT è integrato con tre punti di Gauss.

A partire dalla versione 7.0 si possono usare anche gli elementi di piastra spessa formulati da Hughes e Tezduyar. Si tratta di elementi da impiegare quando lo spessore della piastra da modellare non è "sottile" il che vuol dire compreso diciamo tra 1/50 ed 1/5 della dimensione libera. Per spessori ancora maggiori si è probabilmente nell'ambito di modellazioni solide. Gli elementi a tre nodi sono da usare con parsimonia in quanto hanno la tendenza a comportarsi in modo eccessivamente rigido, ben più che i fratelli a 4 nodi.

### C) IL CALCOLO DEGLI SFORZI AI NODI

E' ben noto che i punti più affidabili ove calcolare il campo di sforzo sono gli stessi punti ove si è integrata la matrice di rigidezza, i punti di Gauss (ad esempio, *"stresses at Gauss points can be interpolated or extrapolated to other points in the element. The result obtained is usually more accurate than the result of evaluating [stresses] directly at the point of interest"* [3]). Questi punti sono dunque i primi ove lo sforzo è valutato. Si pone allora il problema di ottenere lo stato di sforzo ai nodi partendo dallo stato di sforzo nei punti di Gauss. Per ottenere questo risultato si possono impiegare varie tecniche ([2], [3], [5]) alcune delle quali però mostrano di essere potenzialmente pericolose (cfr. [6] a proposito dei risultati ottenuti con il solutore ALGOR).

Per gli elementi CST lo sforzo ai nodi coincide con lo sforzo calcolato nel punto di Gauss. Per gli elementi isoparametrici ad interpolazione bilineare (QUAD4 e QUAD4SRI) lo stato di sforzo nei nodi è ottenuto a partire da quello nei punti di Gauss immaginando che lo

sforzo segua la stessa legge bilineare impiegata per lo spostamento: vengono così identificati gli sforzi nodali che, con quella legge di interpolazione, portano ad avere nei punti di Gauss gli sforzi là calcolati. La tecnica è descritta ad esempio in [3]. Per gli elementi QM6WI la tecnica di calcolo degli sforzi fa uso di considerazioni di equilibrio e si presenta diversamente da quanto viene normalmente fatto (si veda [9]). Questa tecnica consente di avere migliori stime degli sforzi anche in presenza di un campo di spostamenti piuttosto impreciso.

Per i DKT gli sforzi di piastra vengono calcolati direttamente nei nodi, e si vede che ciò è equivalente a calcolarli nei punti di Gauss per poi estrapolarli ai nodi con legge di variazione lineare.

Per gli elementi a quattro nodi gli sforzi vengono calcolati nei nodi di ciascun elemento triangolare e poi il valore finale è ottenuto facendo la media dei valori ottenuti con i tre sotto-elementi che arrivano al nodo in questione. Questa tecnica è diversa da quella adottata da ANSYS che invece esegue una stima ai minimi quadrati con tutti e 12 i punti di Gauss (3 punti x4 triangoli).

#### D) RESA DEL CAMPO DI SFORZO SULL'ELEMENTO

Una volta noto lo sforzo ai nodi dell'elemento è poi necessario determinare la variazione dello sforzo all'interno del dominio dell'elemento. Sono state descritte varie tecniche per ottenere questo scopo. Sargon adotta una interpolazione lineare ( $v=ax + by + c$ ) sugli elementi a tre nodi, un'interpolazione bilineare sugli elementi a quattro nodi ( $v=ax+by+cxy+d$ ). Naturalmente il campo di sforzi "esatto" non segue queste leggi, tuttavia, se la dimensione dell'elemento è piccola rispetto a quella del gradiente del campo, l'approssimazione è sufficientemente affidabile. Naturalmente una piastra modellata con tre soli elementi esibirà un campo di sforzo inattendibile, mentre una piastra sufficientemente discretizzata esibirà un comportamento attendibile.

Grazie a questa assunzione (o ad ogni altra possibile assunzione ad essa equivalente) è possibile descrivere le isolinee (curve che rappresentano i punti ove lo sforzo è costante) all'interno dell'elemento stesso. A tale riguardo va detto che mentre queste isolinee sono nel caso degli elementi triangolari delle rette, da lato a lato dell'elemento, nel caso degli elementi a quattro nodi esse sono delle iperboli ( $v=ax+by+cxy+d= \text{costante}$ ). Per sposare queste iperboli

Sargon usa in genere sette punti da lato a lato. Il tracciamento delle isolinee è però rallentato dalla ricerca di questi punti interni, per cui è possibile scegliere di rappresentare le isolinee in modo "rozzo" mediante un semplice segmento di retta da lato a lato (comando [Legenda](#)<sup>[1261]</sup>).

## E) VALUTAZIONE DELLA PRECISIONE

Come già anticipato la valutazione della precisione è un aspetto di fondamentale importanza in ogni analisi agli elementi finiti. Se quello che interessa è il campo di sforzo all'interno di un continuo bidimensionale modellato con elementi piastra o membrana, la valutazione della precisione può essere fatta in maniera chiara ed al tempo stesso affidabile nel modo che segue.

Si è visto che si è in grado di stimare il valore degli sforzi ai nodi di ogni elemento e di disegnare delle mappe che rappresentano regioni aventi sforzo costante. Quando si vanno ad esaminare i risultati osservando due elementi contigui si dovrà sempre constatare che lungo il lato in comune tra i due elementi vi sono delle discontinuità. Tali discontinuità dipendono dal fatto che il valore di sforzo  $S$  ottenuto sul nodo  $I$  pensato appartenente all'elemento  $N$ ,  $S_{IN}$ , è diverso dal valore di sforzo  $S$  ottenuto sullo stesso nodo  $I$  pensato appartenente all'elemento  $M$ ,  $S_{IM}$ . Chiamiamo scarto la quantità  $(S_{IN}-S_{IM})$ . La immediata rappresentazione grafica dell'esistenza di questi scarti è data dal fatto che le isolinee presentano in generale un andamento interrotto, in quanto non vi è la continuità interelementare. L'entità delle discontinuità può rendere questo effetto così marcato da rendere pressochè indecifrabili le linee di isolivello. In questo caso, o in tutti i casi in cui a giudizio dell'analista risulti marcato l'effetto di discontinuità delle linee di isolivello, è necessario fare un nuovo calcolo con una mesh infittita.

Tutti gli Autori concordano che il valor medio degli sforzi in un nodo è una stima generalmente più precisa di quanto avviene in quel nodo che quella ottenuta con i valori dei singoli elementi (*global smoothing*). E' perciò assolutamente naturale sostituire ai valori calcolati con ciascun elemento il valor medio di questi valori, su ogni nodo. *Il campo risultante è più affidabile di quello ottenibile con i valori dei singoli elementi, ma non può stravolgere il valore di precisione ottenibile esaminando con cura gli scarti da elemento a elemento.* Con il *global smoothing* ogni discontinuità è sparita: per questo secondo motivo è raro vedere nelle relazioni rappresentazioni che evidenzino gli scarti, sebbene sia

assolutamente necessario conoscerne l'entità. Gli scarti (che ci sono sempre) parlano direttamente di precisione, il global smoothing fa apparire precisa ogni analisi. *In altre parole il cosiddetto "global smoothing", ovvero l'operazione di media su un nodo da elemento a elemento è una tecnica tanto utile quanto potenzialmente pericolosa, in quanto nasconde gli scarti e rende impossibile una valutazione della bontà della analisi. Inoltre in presenza di discontinuità di materiale o di spessore questa tecnica è totalmente inattendibile* (si immagini un filo e una barra connessi in serie e tirati da N, lo sforzo nel filo è effettivamente più grande di quello nella barra!).

Alcuni programmi presentano "di default" i valori di sforzo con il *global smoothing*, Sargon invece no: i Sargon il global smoothing deve essere espressamente richiesto ed è comunque segnalato nelle stampe per mezzo della dicitura "scarti eliminati".

Sebbene la misura ad occhio della precisione mediante l'esame della entità dei salti nelle isolinee sia estremamente efficace, pure è evidentemente necessario dare una misura di questa precisione mediante una stima quantitativa.

Alcuni programmi misurano la precisione con un algoritmo che è pericoloso: l'errore in un nodo sarà  $0.5(\text{Max}-\text{min})/\text{GMAX}$ , dove Max è il massimo valore dello sforzo di Von Mises in quel nodo come risultante dai vari elementi ad esso attaccati, Min è il valore minimo in quel nodo, GMAX è il massimo valore dello sforzo di Von Mises letto sull'intero modello. Questa misura si presta a qualche critica: infatti, se si sta esaminando una zona dove lo sforzo non è quello massimo si ha un brutale abbattimento del valore di errore senza che vi sia alcuna ragione per farlo. Per esempio se il massimo è 1000Mpa magari raggiunto in un solo nodo lontano dove ho una concentrazione di sforzo, ed io ho 120 come massimo nel nodo in esame e 60 come minimo, l'errore misurato sarà  $(120-60)/1000=0.06$ , ovvero solo il 6%, anche se 120 è il doppio di 60 ed anche se lo scarto è elevato (60Mpa!). Una seconda critica è che l'errore non può essere mostrato per il solo sforzo di Von Mises, ma andrebbe mostrato per ogni possibile componente di sforzo, giacchè non è detto che tutti gli sforzi siano misurati con identica precisione.

La prima idea è di sostituire alla precedente stima dell'errore la seguente:  $0.5(\text{Max}-\text{min})/\text{min}$ . Questa stima ha però lo svantaggio di non tenere in conto l'entità dello scarto. Se ad esempio ho in un nodo il massimo pari a 0.0001Mpa ed il minimo stimato pari a 0.00005Mpa l'errore sarà del 100%, ma in realtà ciò impensierisce assai poco data comunque la esiguità dell'entità dello sforzo.

Sargon dà una misura quantitativa della precisione che è una stima dimensionale (non un numero puro). L'errore è dato in termini di scarto quadratico medio sul nodo (cfr. Malerba in [4]), cosicchè si conosce nelle varie zone del modello l'entità degli scarti medi attesi letta direttamente nella unità di misura attiva. Nel caso di prima (60 e 100), si leggerebbe 20Mpa come errore medio atteso ( $\sqrt{((60-80)*(60-80)+(100-80)*(100-80))/2}$ ). La rappresentazione degli scarti può essere chiesta per ogni componente di sforzo, anche se ha senso solo per gli invarianti (tensore nel riferimento globale, sforzo di Von Mises, sforzi principali massimi e minimi, invarianti del tensore, tutti in presenza di continuità strutturale, mentre non ha senso per le componenti del tensore nel riferimento locale, giacchè questo varia da elemento a elemento).

## F) ADAPTIVE REFINEMENT

Per adaptive refinement ([5]) si intende la tecnica in base alla quale la mesh viene infittita solo in certe zone, dipendentemente dalla stima dell'errore commesso in quelle zone stesse. In Sargon l'infittimento è fatto dimezzando il passo della mesh degli elementi da raffinare ed aggiustando poi gli elementi contigui in modo da sposare, localmente, il nuovo passo di mesh ([Adaptive Refinement](#)<sup>[861]</sup>). Iterando questa tecnica si può rapidamente arrivare a ridurre gli scarti della soluzione a valori ritenuti accettabili dall'analista. Un'importante considerazione è quella legata alla distorsione degli elementi. Nel corso dei raffinamenti gli elementi adiacenti alla zona infittita vengono ridefiniti in modo da non aggiungere nodi ulteriori: ciò può alla lunga portare ad aumentare la distorsione degli elementi e quindi a zone ove la forma degli elementi è inaccettabile. La contromisura consiste nell'ampliare la zona da infittire o nel coinvolgere in successivi remeshing gli elementi distorti.

## G) REGOLE GENERALI SUGGERITE

E' molto facile produrre un'analisi agli elementi finiti, più difficile è produrre una analisi realmente affidabile. Se la valutazione dello stato di sforzo negli elementi bidimensionali è importante la prima cosa da fare è esaminare una o più componenti dello stato di sforzo in presenza degli scarti. Se le linee di isolivello sono irriconoscibili o scarsamente riconoscibili occorre rifare l'analisi aumentando la discretizzazione. Se le linee di isolivello appaiono accettabili occorre valutare l'errore mappando gli scarti, e considerare i valori

ottenuti con lo smoothing affetti, punto per punto da un errore (positivo o negativo) dell'entità quantificata dal programma. L'errore fornito da programma dovrebbe sempre essere paragonato alla precisione richiesta dal calcolo in esame. Ad esempio un valore massimo di 100Mpa con un errore di 20Mpa può lasciare tranquilli se la soglia è ad esempio 160Mpa. Ma se il valore è 150 e l'errore è 50, allora occorre rifare l'analisi.

## H) MODALITA' DI VISUALIZZAZIONE

Sargon consente di vedere sia gli sforzi membranali che quelli flessionali. E' possibile chiedere al programma, cioè, di calcolare lo stato di sforzo usando solo le azioni di membrana trascurando i momenti di piastra. Allo stesso modo è possibile chiedere al programma di vedere solo la componente flessionale e non quella membranale. In questi casi una scritta nella legenda segnala la scelta fatta.

Se si decide di vedere lo stato di sforzo completo o quello solo flessionale, sorge il problema legato al fatto che lo stato di sforzo cambia tra la faccia superiore e quella inferiore della piastra. Sargon consente di scegliere se vedere lo stato di sforzo sulla faccia visibile (sia essa superiore o inferiore) o su quella nascosta. Nel caso di elementi membrana questa opzione è ovviamente inutile.

Se vengono estratti degli elementi Sargon fa vedere i massimi e i minimi assumendo come massimo il massimo valore presente tra gli elementi estratti e non il massimo valore complessivo: ciò consente di studiare più in dettaglio parti della struttura.

## I) USO DELLA LEGENDA

La legenda viene personalizzata con il comando [Legenda](#)<sup>1261</sup>. Personalizzare la legenda vuol dire scegliere il numero di intervalli da usare per le isolinee (il default è 10) e scegliere il colore usato per ciascuna banda di sforzo. E' inoltre possibile chiedere al programma di calcolare le isolinee rettificandole da lato a lato dell'elemento, in modo da sveltire le operazioni.

Spesso molto utile è la possibilità di scegliere dei valori di minimo e massimo arbitrari: grazie a questa possibilità è dato vedere evidenziate le regioni del modello che

superano un certo valore di soglia, o che si trovano in un certo *range*. Questa possibilità è anch'essa contenuta nel comando [Legenda](#)<sup>1261</sup>.

## L) CONVENZIONI E TERMINOLOGIA

Le convenzioni usate da Sargon sia a schermo che nel tabulato ricalcano quelle solite impiegate nei testi sull'argomento. Per il tensore dello sforzo si assumono positive le trazioni. I pedici 1,2,3 indicano il riferimento locale. I pedici x,y,z il riferimento globale. Per i momenti di piastra si deve tenere presente che il momento  $m_{11}$  è il momento che provoca una  $\sigma_{11}$  positiva sulla faccia superiore dell'elemento. Il momento  $m_{12}$  provoca una  $\tau_{12}$  positiva sulla faccia superiore dell'elemento. I momenti  $m_{xx}$ ,  $m_{yy}$ ,  $m_{zz}$  sono ottenuti per trasformazione e servono a dare quantità indipendenti dal sistema di riferimento locale dell'elemento, che può in generale essere assai diverso da elemento a elemento.

Nel tabulato di output gli sforzi sono dati con le stesse convenzioni.

Per le piastre vengono dati, per ogni elemento selezionato, i seguenti valori:

Plate	CC	I	S1m	S2m	S12m	m1	m2
m12		J	S1m	S2m	S12m	m1	m2
m12		K	S1m	S2m	S12m	m1	m2
m12		L	S1m	S2m	S12m	m1	m2
m12							

Dove:

Plate indica il numero di elemento;

CC la condizione di carico o la combinazione (se  $CC > NLCASE$ , CC è la combinazione CC-NLCASE);

I,J,K,L sono i quattro nodi ordinatamente presi: ad ogni riga corrisponde l'output di un nodo.



S1m indica la tensione  $\sigma_{11}$  membranale;

S2m indica la tensione  $\sigma_{22}$  membranale;

S12m indica la tensione  $\tau_{12}$  membranale;

m1 indica il momento per unità di lunghezza (momento che genera una  $\sigma_{11}$  flessionale)

m2 indica il momento per unità di lunghezza (momento che genera una  $\sigma_{22}$  flessionale)

m12 indica il momento per unità di lunghezza (momento che genera una  $\tau_{12}$  torsionale)

Per le membrane vengono dati, per ogni elemento selezionato, i seguenti valori:

Membr	CC	I	SVm	SI	SII	S1	S2
S12		J	SVm	SI	SII	S1	S2
S12		K	SVm	SI	SII	S1	S2
S12		L	SVm	SI	SII	S1	S2
S12							

Membr indica il numero di elemento;

CC la condizione di carico o la combinazione (se  $CC > NLCASE$ , CC è la combinazione CC-NLCASE);

I,J,K,L sono i quattro nodi ordinatamente presi: ad ogni riga corrisponde l'output di un nodo.

SVm indica lo sforzo di Von Mises;

SI indica lo sforzo principale minimo;

SII indica lo sforzo principale massimo;

S1 indica la tensione  $\sigma_{11}$  membranale;

S2 indica la tensione  $\sigma_{22}$  membranale;

S2m indica la tensione  $\sigma_{22}$  membranale;

S12 indica la tensione  $\tau_{12}$  membranale;

## M) BIBLIOGRAFIA

- [1] **Meccanica delle strutture, 2, Le teorie strutturali ed il Metodo degli elementi finiti**, L. Corradi Dell'Acqua, Mc Graw Hill, 1992
- [2] **Finite Element Procedures**, K. J. Bathe, Prentice Hall International Ed., 1996
- [3] **Concepts and Applications of Finite Element Analysis**, R. D. Cook, D. S. Malkus, M.E.Plesha, Third Ed., John Wiley & Sons, 1989
- [4] **Analisi per Elementi Finiti: Modellazione Strutturale e Controllo dei Risultati**, a cura di B.A. Schrefler A.A: Cannarozzi, CISM - International Centre for Mechanical Sciences, 1991
- [5] **The Finite Element Method vol. 1 and 2**, O.C. Zienkiewicz, R.L.Taylor, Fourth Ed. McGraw Hill, 1991
- [6] **On the use of finite element programs in structural evaluation and development of design charts**, A. Mufti, G.Tadros, A.C. Agarwal, *Can. J. Civ.Eng.* **21**, 797-804 (1994)
- [7] **A study of three-node triangular plate bending elements**, J.L. Batoz, K.J.Bathe, L.W. Ho, *Int. Jou. Num. Met. Eng.*, **15**, 1771-1812 (1980)
- [8] **ANSYS User's Manual - Theory - rev. 5.0**, 1992
- [9] **Use of incompatible displacement modes for the calculation of element stiffnesses and stresses**, E.L.Wilson, A. Ibrahimbegovic, , *Finite Elements in Analysis and Design*, **7**, 1990, 229-241

**2.18.5 Verifiche****VERIFICHE**

Lo studio dei risultati delle verifiche avviene grazie ai comandi posti nel menù Post-Verifiche. Il comando [Interroga](#)<sup>[1142]</sup> consente di avere informazioni sulle verifiche di un'asta (trave o biella) scelta dall'utente. Sono possibili tre modalità di rappresentazione dei coefficienti di sfruttamento:

[Inviluppo](#)<sup>[1145]</sup>

In questa modalità si vedono i coefficienti di sfruttamento massimi tra resistenza e stabilità, al variare delle combinazioni di verifica del combiset attivo. In pratica il peggio del peggio. Se questa modalità è attiva, il comando [Interroga](#)<sup>f1142</sup> darà informazioni sull'involuppo.

### [Resistenza](#)<sup>f1145</sup>

In questa modalità si vedono i coefficienti di sfruttamento dovuti alle verifiche di resistenza nella combinazione attiva. Se questa modalità è attiva, il comando [Interroga](#)<sup>f1142</sup> darà informazioni sui coefficienti di sfruttamento a resistenza nella combinazione attiva. Se nella vista corrente non è attiva una combinazione il comando diventa non eseguibile.

### [Stabilità](#)<sup>f1145</sup>

In questa modalità si vedono i coefficienti di sfruttamento dovuti alle verifiche di stabilità nella combinazione attiva. Se questa modalità è attiva, il comando [Interroga](#)<sup>f1142</sup> darà informazioni sui coefficienti di sfruttamento a stabilità nella combinazione attiva. Se nella vista corrente non è attiva una combinazione il comando diventa non eseguibile.

### [Massimo](#)<sup>f1145</sup>

In questa modalità si vedono i coefficienti di sfruttamento dovuti al massimo tra le verifiche di resistenza e quella di stabilità nella combinazione attiva. Se questa modalità è attiva, il comando [Interroga](#)<sup>f1142</sup> darà informazioni sui coefficienti di sfruttamento massimi tra resistenza e stabilità nella combinazione attiva. Se nella vista corrente non è attiva una combinazione il comando diventa non eseguibile.

Se nelle verifiche sono stati verificati dei superelementi si tenga conto di quanto segue. Il coefficiente di sfruttamento a stabilità degli elementi trave che compongono il superelemento è quello del superelemento, non quello dell'elemento.

La rappresentazione dei coefficienti di sfruttamento è una modalità di disegno paragonabile a quella che fa vedere gli elementi per tipo o per sezione. Una volta attivata

questa modalità, essa resta attiva fino al successivo comando [No post](#)<sup>[1261]</sup> o fino alla scelta di una modalità diversa.

Il comando [Statistiche](#)<sup>[1143]</sup> viene impiegato per avere informazioni di tipo statistico sul coefficiente di sfruttamento (di involuppo, di resistenza, di stabilità o massimo a seconda della scelta fatta) dell'insieme delle aste selezionate al momento della esecuzione del comando.

## 2.18.6 Tabulato

### TABULATO

Il tabulato si ottiene con il comando [Crea Listato](#)<sup>[652]</sup>. Si può scegliere la lingua preferita tra un insieme di lingue possibili, e scegliere di mettere o non mettere certe parti del tabulato, che è diviso in sezioni e sottosezioni.

In generale le informazioni riportate nel tabulato si riferiscono soltanto agli elementi selezionati al momento della esecuzione del comando che crea il tabulato. Ciò per consentire di modulare la quantità di carta stampata. Questa regola vale per i nodi e per le travi e le bielle. I risultati delle verifiche, invece, vengono sempre aggiunti nel loro insieme al tabulato, e ciò per evitare che possano essere scartate le aste non verificate.

## 2.18.7 Stampa

### STAMPA


Sargon consente di stampare il contenuto della vista attiva. Il comando è [Stampa](#)<sup>[614]</sup>. E' anche possibile avere l'anteprima di stampa e impostare la stampante (comandi [Anteprima di stampa](#)<sup>[615]</sup> e Setup Stampante).

Poichè il programma usa pesantemente il colore, e non tutte le stampanti sono a colori, non sempre il risultato della stampa è *what you see is what you get*. In particolare, le mappe

della snellezza ed i coefficienti di sfruttamento sono rappresentati con dei simboli e non con i colori se la stampante è in bianco e nero (tipicamente se la stampante è una stampante laser).

## 2.18.8 Trasferimento d'immagini

### TRASFERIMENTO D'IMMAGINI

Sargon consente di trasferire il contenuto della vista attiva agli appunti (*clipboard*) al fine di impiegare questa immagine in altri programmi (tipicamente Word per Windows™, Write™, Paintbrush™, e più in generale, tutti i programmi capaci di importare l'oggetto Bitmap via clipboard). Il comando é [Fotografa](#), accessibile sia da menù che dalla barra principale.

## 2.18.9 Sforzi in travi e bielle

### SFORZI IN TRAVI E BIELLE

A partire dalla versione 6.10 Sargon consente di avere un'idea degli sforzi nelle travi e nelle bielle prima di eseguire le verifiche.

I comandi sono tutti raggruppati sotto il menu Post e sono posizionati nella barra dei bottoni POST2.

Scopo di questi comandi non è fornire un dettagliato quadro della situazione puntuale degli sforzi all'interno delle sezioni, bensì fornire una serie di informazioni base utili per la valutazione dello stesso. Sono plottabili come mappa a colori, ed interrogabili, nonché stampabili tutti i seguenti nuovi dati di calcolo, che si affiancano alle azioni interne già calcolate dal programma:

1. N/A      sforzo assiale con segno
2. M2/W2      massimo sforzo flettente elastico sull'asse 2 con segno
3. M3/W3      massimo sforzo flettente elastico sull'asse 3 con segno.

4.  $M2/W_{pl2}$  tensione di snervamento del materiale che corrisponderebbe ad un pieno sfruttamento plastico sotto il momento  $M2$  applicato.
5.  $M3/W_{pl3}$  tensione di snervamento del materiale che corrisponderebbe ad un pieno sfruttamento plastico sotto il momento  $M2$  applicato.
6.  $|N/A| + |M2/W2| + |M3/W3|$  stima semplificata del massimo valore di tensione elastica. Nel caso dei tubi e delle sezioni circolari piene – data la loro importanza e frequenza- la formula viene sostituita nei calcoli dalla seguente (esatta):  $|N/A| + |M/W|$ , essendo  $M$  la risultante dei due momenti applicati. Nel caso di profili non doppiamente simmetrici, ad esempio le  $[$  o le  $L$ , la formula porta in generale ad una sovrastima dello sforzo.
7.  $|N/N_{pl}| + |M2/M_{pl2}| + |M3/M_{pl3}|$  sfruttamento plastico semplificato (usa la  $f_y$  del materiale assegnato senza coefficienti  $\gamma$ ).  $N_{pl}$  è valutato come  $A f_y$ ,  $M_{pl2}$  come  $W_{pl2} f_y$  e  $M_{pl3}$  come  $M_{pl3} f_y$ .

Le quantità 6) e 7) sono quantità indice del cimento della sezione e sono a favore di sicurezza. Non è il modulo base la sede per calcolare gli sforzi ed i domini limite in modo più aderente al dettato delle varie normative, questa operazione è compiuta dai verificatori. Questi indicatori possono però aiutare ad inquadrare rapidamente i possibili problemi.


In pratica per ognuna di queste quantità è possibile avere:

- una mappa a colori sulla struttura che dà un'idea dei valori in gioco, sia per i casi di carico base che per ciascuna combinazione.
- Un comando di interrogazione sui punti interni dell'asta che dà i valori puntuali nel caso o nella combinazione prescelti.
- Una mappa a colori con l'involuppo al variare delle combinazioni, ed il corrispondente comando di interrogazione.
- Tre sezioni del tabulato corrispondenti ai valori nei casi/combinazioni, agli involuppi ed agli involuppi degli involuppi (sul combiset attivo). Il tabulato è sensibile agli oggetti selezionati. Gli involuppi degli involuppi plottano il massimo delle varie quantità al variare delle combinazioni, e degli elementi selezionati.

Pertanto, selezionando prima della creazione del tabulato gruppi di elementi affini, è possibile conoscere il massimo valore degli indicatori al variare degli elementi e delle combinazioni. Analoga informazione è ottenibile a schermo estraendo parte degli elementi dal resto della struttura.

## 2.19 Usare Autocad con Sargon

### COME USARE AUTOCAD CON SARGON

**Nota: i moduli ARX non sono più supportati. Tuttavia le funzionalità di questi moduli sono state assorbite dal comando di esportazione verso DXF [File-Esporta](#) .**

A partire dalla versione 5.50 alcuni comandi e funzionalità di Sargon sono disponibili come comandi Autocad. Nell'intento di migliorare il collegamento tra il calcolo ed il disegno sono stati realizzati alcuni comandi Autocad che consentono di leggere la base dati Sargon e di restituirla in un formato più tipicamente simile a quello del disegno.

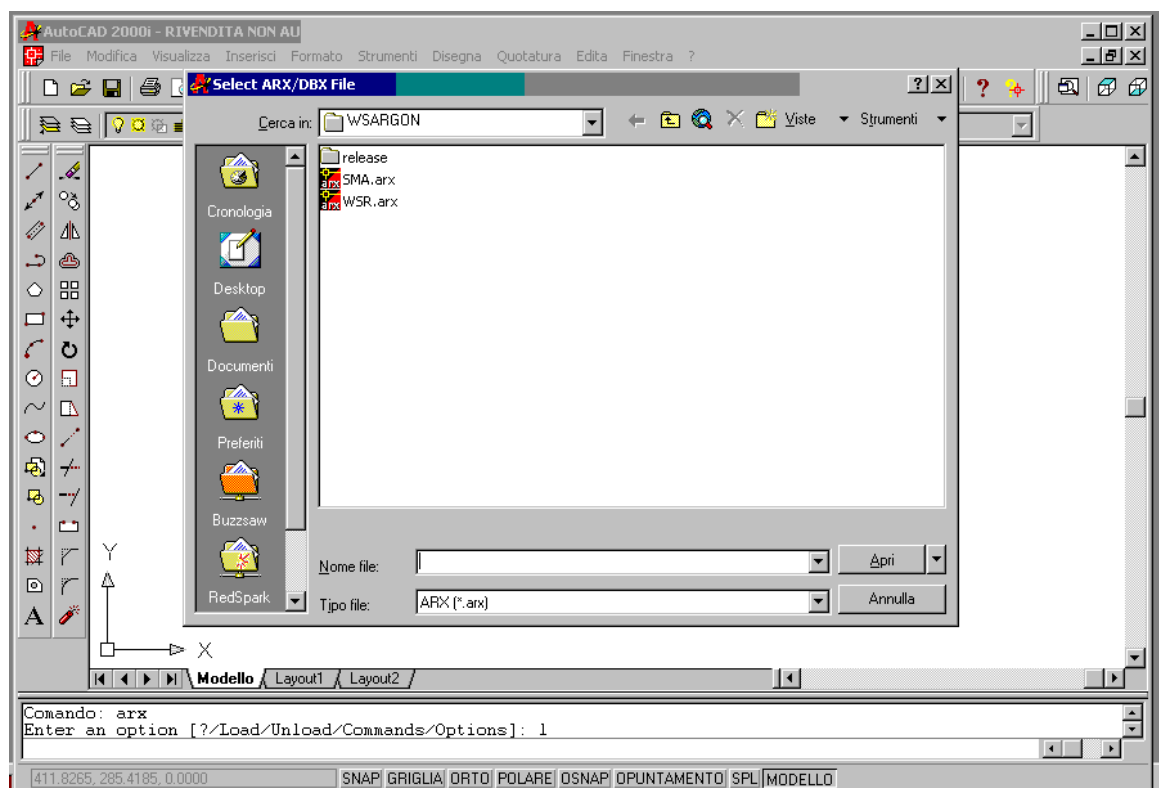
Da un punto di vista informatico il collegamento tra i due programmi è realizzato per mezzo di una serie di moduli ARX (ovvero di file con estensione .ARX) che di fatto rappresentano delle estensioni di Autocad. I file ARX altro non sono che file DLL con l'estensione modificata a sottintendere che si tratta di componenti Autocad.

Perché Autocad possa vedere questi nuovi moduli è necessario:

1. che i moduli ARX siano presenti nella cartella del programma Sargon, insieme a tutte le dll di Sargon;
2. che le due dll "ACBR15.DLL" e "ACGE15X.DLL" siano state copiate dalla cartella di Sargon alla cartella di Autocad.
3. che sia montata e funzionante la protezione di Sargon
4. che in Autocad, tramite il comando Strumenti-Opzioni-File, si sia aggiunta la cartella di Sargon (in genere c:\wsargon) al "Percorso di ricerca dei file di supporto".

Il punto 2) richiede una operazione manuale poiché la copia non viene fatta automaticamente al momento della installazione. Il punto 1) è garantito dal file ARX.ZIP presente sui dischetti di installazione a partire dalla versione 5.50 o scaricabile dal sito internet.

Al momento attuale sono state fatte prove con Autocad 2000i. Si ha ragione di ritenere che i moduli ARX vengano visti correttamente anche sotto Autocad 2000 e sotto Autocad 14.



Ogni modulo ARX è portatore di un certo numero di nuovi comandi Autocad. I moduli ARX devono essere caricati in Autocad al fine di rendere disponibili i comandi in essi contenuti. Per caricare in Autocad un modulo ARX è sufficiente dare il comando “ARX” e specificare l’opzione “Load”. A questo punto occorre indicare il percorso del file ARX al quale si è interessati e selezionarlo.



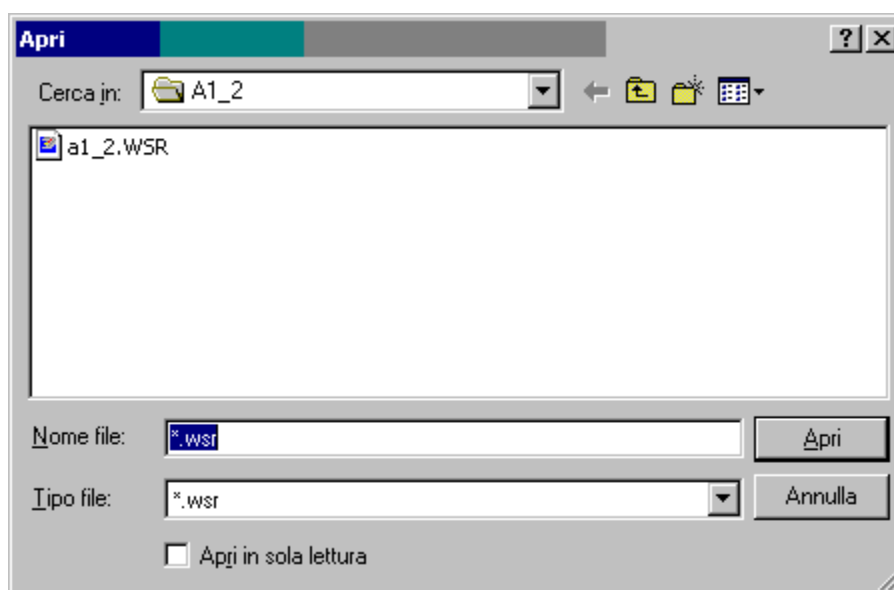
Una volta che i comandi del modulo ARX non siano più utili è possibile scaricare il modulo ARX (liberando memoria) con il comando “ARX” seguito dalla opzione “Unload”. Si verrà richiesti di specificare un nome, ad esempio “SMA” oppure “WSR”.

### Modulo WSR.ARX

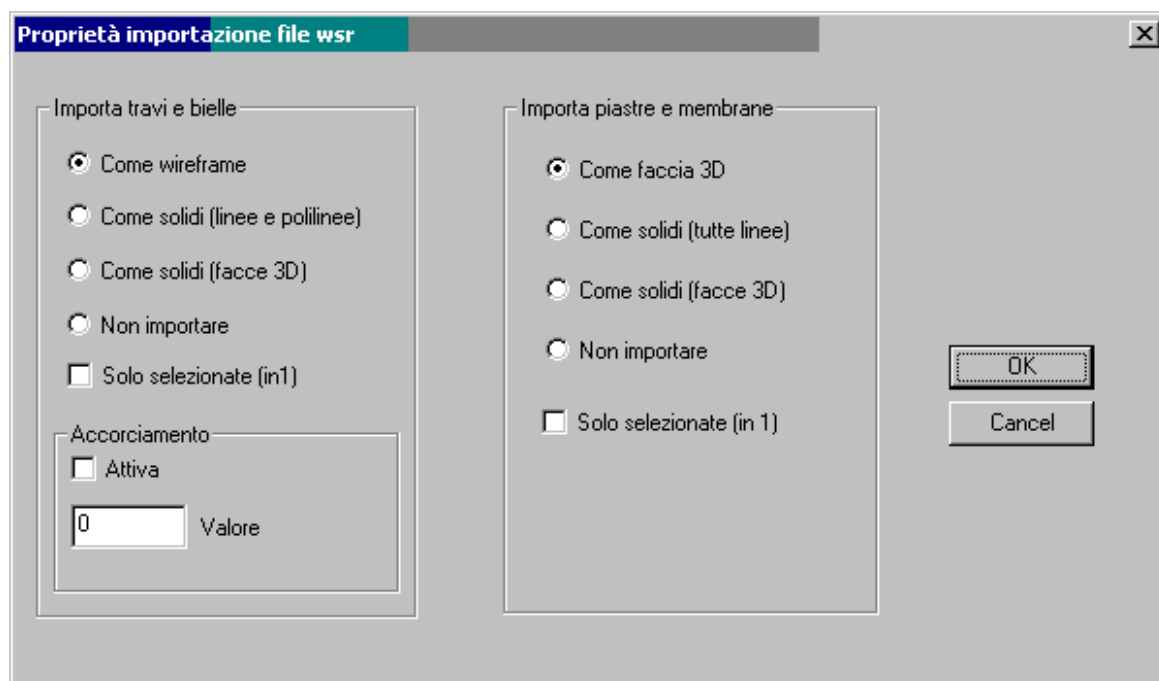
Questo modulo consente di importare in Autocad la geometria di un modello Sargon. Una volta caricato il modulo (come chiarito in precedenza) il comando da dare è

WSRIN

Alla esecuzione del comando compare il dialogo seguente, che consente di scegliere il file .wsr che si desidera importare



Scelto il file compare il dialogo seguente, che consente di impostare il modo in cui il modello Sargon verrà importato. Vengono importati gli elementi trave, biella, piastra e membrana.



Relativamente alla **importazione di travi e bielle** sono possibili le seguenti opzioni mutuamente esclusive:

<b>come wireframe</b>	in questo caso le travi e le bielle verranno trasformate in linee, aventi un colore associato al numero di sezione.
<b>come solidi (linee e polilinee)</b>	In questo caso gli elementi vengono resi con le loro dimensioni reali (le quote sono in mm) e vengono descritti mediante linee e polilinee, aventi colore associato al numero di sezione
<b>come solidi (facce 3D)</b>	In questo caso gli elementi vengono resi come solidi con le loro dimensioni reali in (le quote sono in mm) e vengono descritti mediante le primitive 3Dface, aventi colore associato al numero di sezione. Questa opzione è particolarmente utile per rendere immagini tridimensionali con il comando Autocad

	Visualizza-Ombra-Nascosta o altri comandi simili
<b>non importare</b>	In questo caso le travi e le bielle non verranno importate

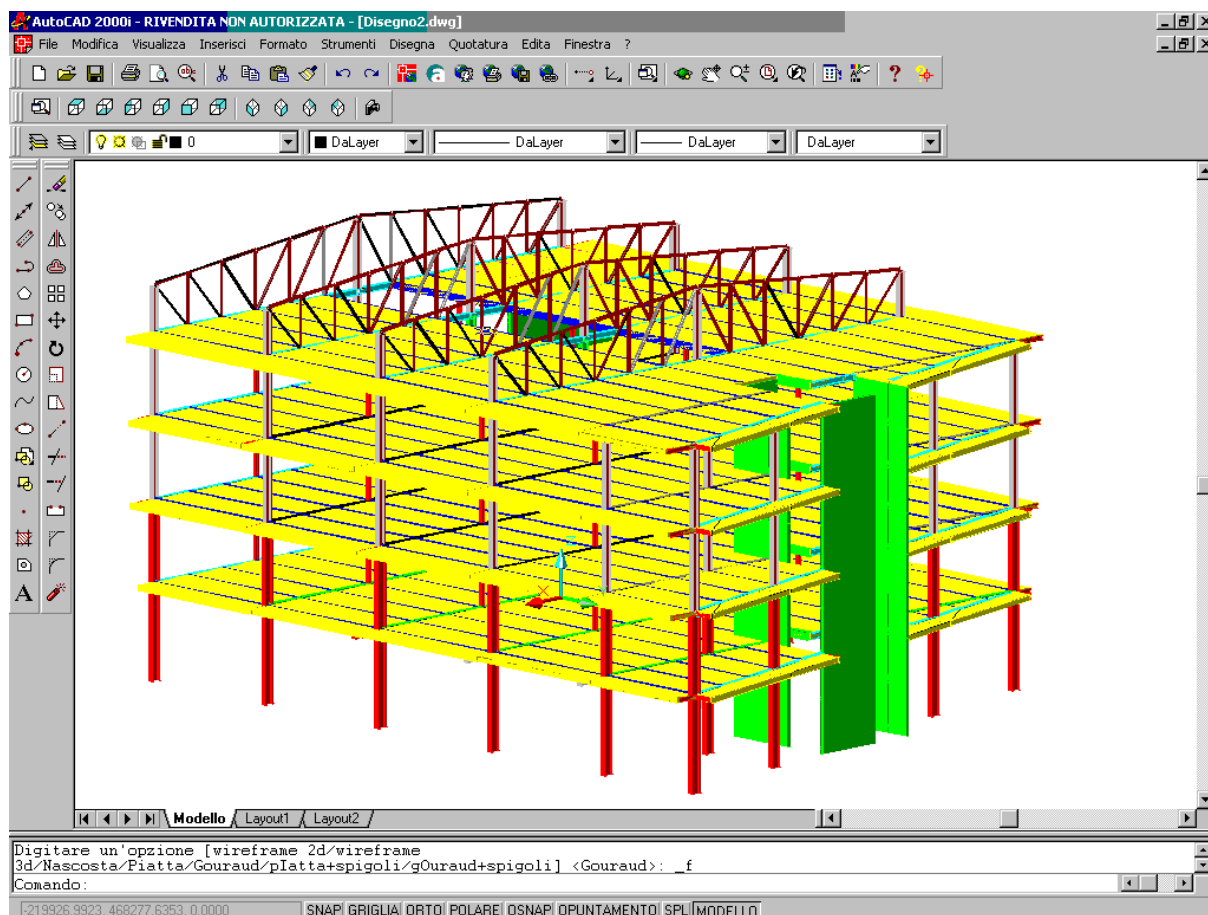
Il flag “**solo selezionate**” consente di importare in Autocad le sole travi e bielle presenti nel modello .wsr selezionate nel serbatoio 1. Ciò è particolarmente utile per importare parti di struttura (ad esempio solai, telai trasversali, capriate, ecc.). Basta far funzionare Sargon e Autocad in parallelo, selezionare via via ciò che interessa in Sargon, salvare il modello, e applicare il comando WSRIN in Autocad su disegni diversi.

Il comando WSRIN dà anche la possibilità di accorciare automaticamente gli elementi tagliandone via un pezzo agli estremi. Questa funzionalità (che riguarda solo i modelli solidi, non quelli wireframe), può essere o meno attivata. Se si decide di attivarla (flag **Attiva** sotto Accorciamento) occorre specificare di quanto tagliare agli estremi le travi, dando una lunghezza in mm (**Valore**). Questa funzionalità consente di evitare sovrapposizione di elementi nei nodi.

Ogni elemento finito importato come solido viene trasformato in un blocco denominato con il numero ed il tipo dell'elemento finito.

Ogni volta che viene eseguito un comando WSRIN, nel disegno Autocad vengono aggiunti dei blocchi che rappresentano le sezioni impiegate all'interno del modello. Questi blocchi potranno poi convenientemente venir impiegati in Autocad al fine di completare o perfezionare il disegno. I blocchi hanno per nome il nome della sezione corrispondente, e comunque il loro colore è in corrispondenza con il numero progressivo di sezione attribuito in Sargon.

Le opzioni disponibili per l'importazione di piastre e membrane ricalcano quelle disponibili per le travi e le bielle. Il corrispettivo dell'importazione wireframe è la importazione come faccia 3d, ovvero una faccia giacente sul piano medio dell'elemento. Nella importazione solida invece l'elemento viene descritto con il suo spessore reale.



**Esempio di file Sargon importato in Autocad e reso con un comando di rendering**

## Modulo SMA.ARX

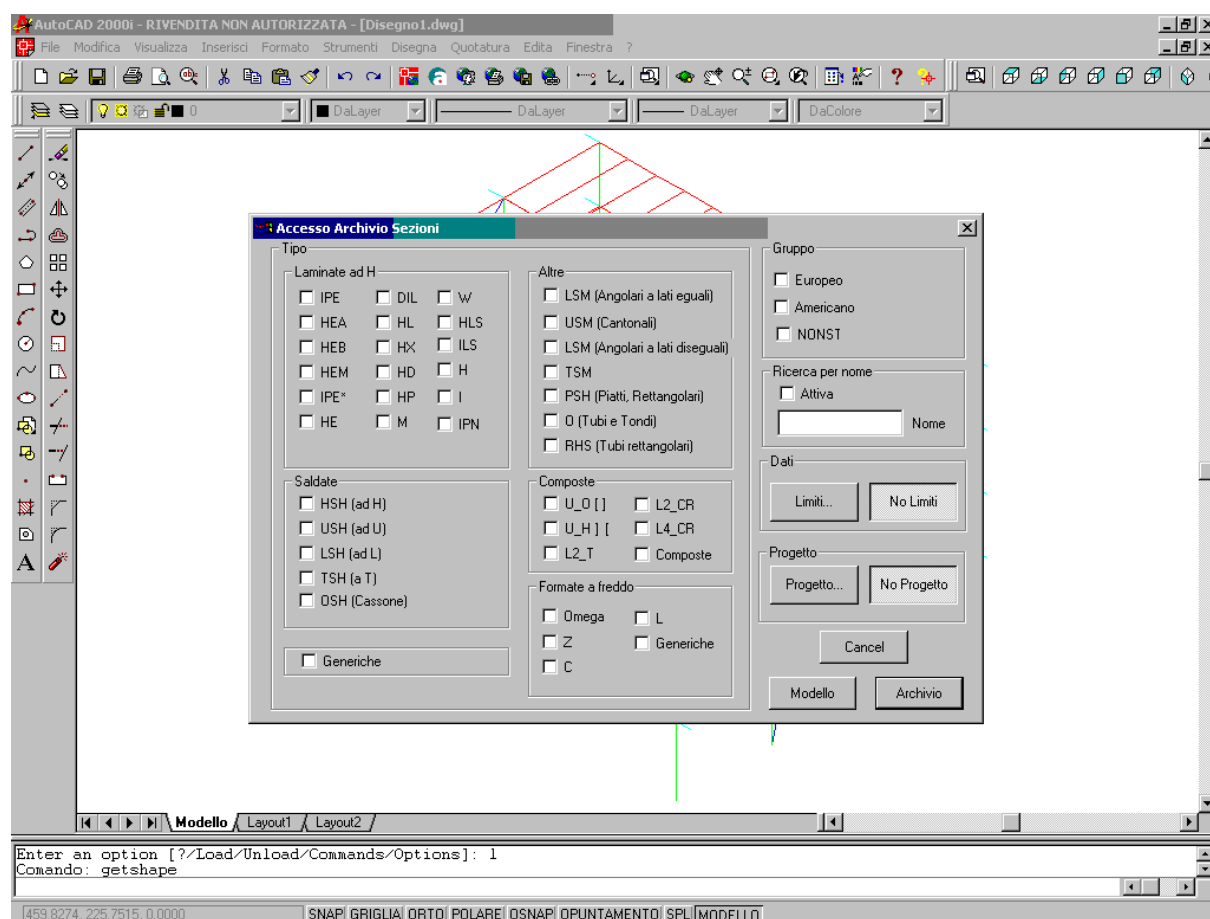
Questo modulo consente di aggiungere due comandi ad Autocad: il comando “GETSHAPE” ed il comando “ADDSHAPE”.

Una volta eseguito uno qualsiasi di questi due comandi per la prima volta nel corso di una sessione di lavoro si viene richiesti di indicare un file SMA (vale a dire un archivio di sezioni e di materiali in formato SAMBA) da usare come riferimento. Ciò si fa con un ordinario dialogo di richiesta di file. Il file da indicare per gli utenti di Sargon è il file “sargon.sma”, ma nulla vieta di indicare qualsiasi altro file gestito da Samba.

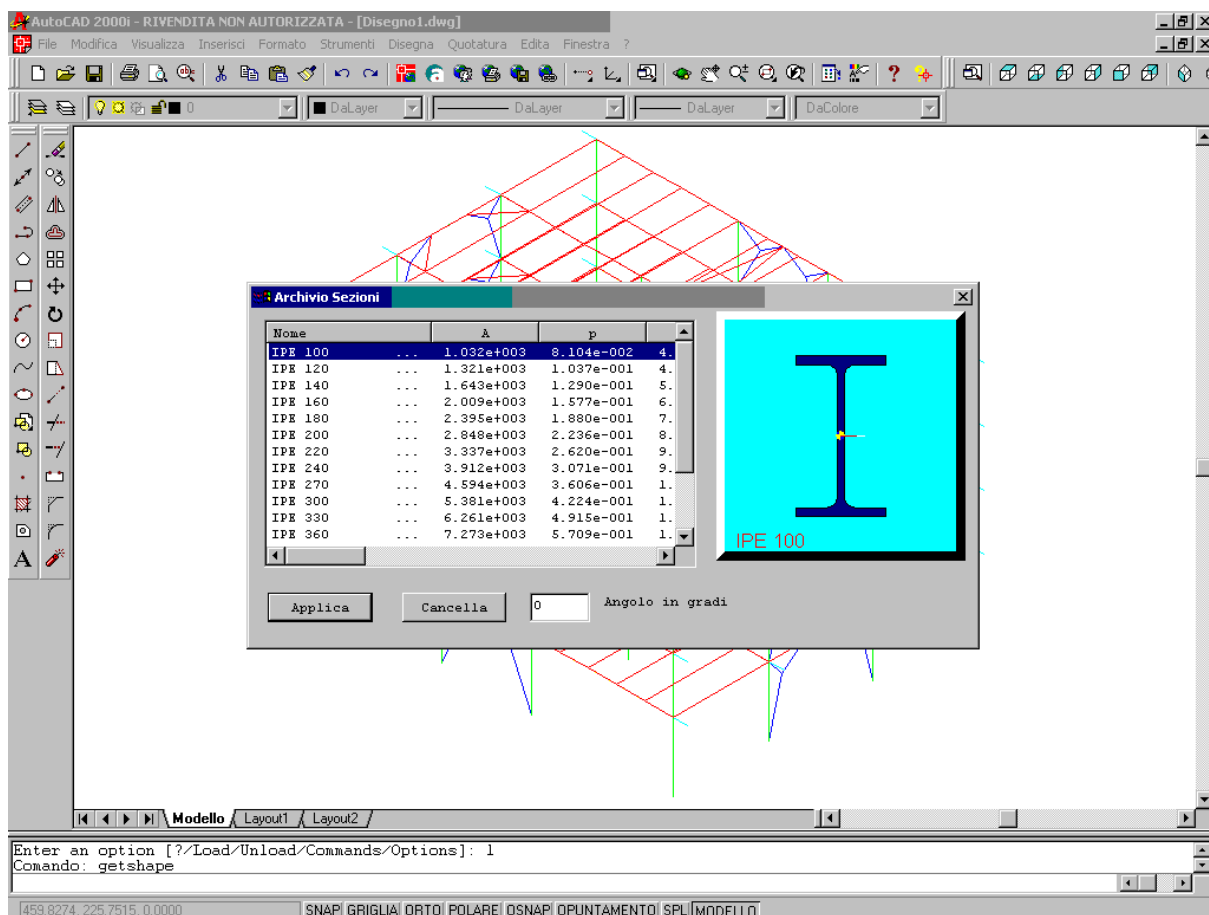
Il primo comando consente di importare in un disegno Autocad il disegno di una qualsiasi delle sezioni presenti nell'archivio specificato. Il comando da fornire è

## GETSHAPE

Alla esecuzione del comando ci si trova di fronte al ben noto dialogo che consente di specificare le condizioni di filtro con le quali accedere all'archivio (cfr, figura seguente in cui si vede il dialogo nell'ambiente Autocad).



Stabilite le condizioni di filtro si scorrono le sezioni (i dati sono forniti in mm) e si sceglie quella desiderata (cfr. figura seguente).

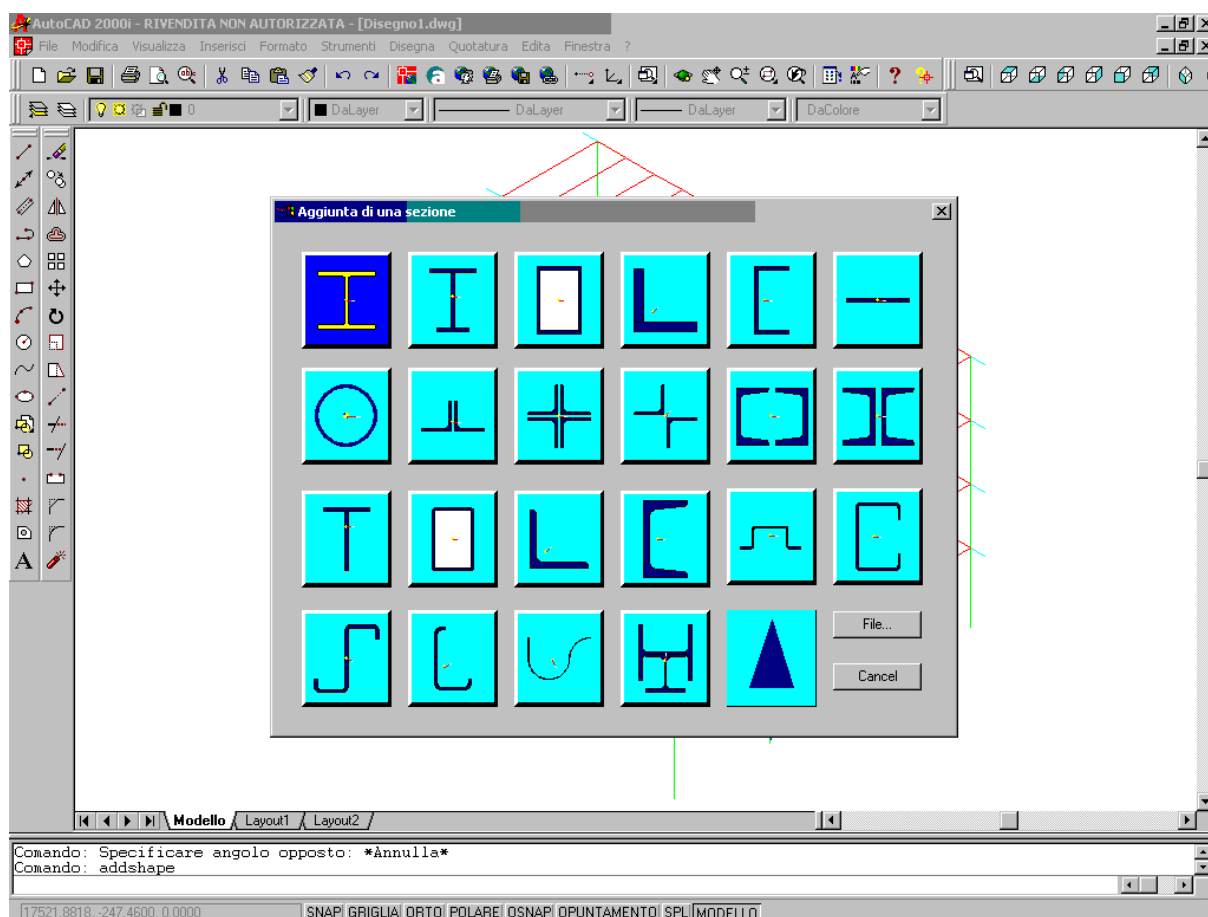


Scelta la sezione si viene richiesti di stabilire il grado di dettaglio con il quale vanno descritti i raccordi curvilinei. Se si sceglie di descriverli con precisione il raccordo verrà descritto come una poligonale molto fitta in grado di seguire il contorno. Se invece si sceglie di schematizzarli questi verranno trasformati in un segmento secante.

Una volta scelta la sezione questa viene aggiunta al disegno sotto forma di blocco che può essere inserito come un qualsiasi altro blocco nel punto desiderato.

La normale dei blocchi così inseriti è sempre l'asse z.

Il secondo comando consente di aggiungere ad un disegno una sezione che non è contenuta all'interno dell'archivio .sma che si è aperto. Appena eseguito il comando ci si trova davanti il dialogo seguente, che consente di specificare il tipo della sezione che si desidera aggiungere.



Questo dialogo è lo stesso di quello usato da Samba ed i comandi funzionano allo stesso modo. L'unica differenza è che non è disponibile il comando per l'aggiunta di sezioni composte generiche (mentre si possono aggiungere sezioni composte da angolari e da cantonali ed anche sezioni formate a freddo), e che *non* è utile il pulsante “File...” che in Samba consente di leggere le sezioni da un file.

Le unità di misura adottate sono i mm, pertanto nei vari dialoghi ove vengono chieste le quote occorre fornirle in mm.

Una volta descritta la sezione, questa viene aggiunta sotto forma di blocco avente il nome dato alla sezione stessa. Il blocco è poi referenziabile con i metodi ordinari previsti in Autocad.

## 2.20 Come generare le combinazioni

### COME GENERARE LE COMBINAZIONI

Le combinazioni di verifica possono essere generate automaticamente, generate manualmente, oppure si può, partendo da combinazioni generate automaticamente aggiungere o rimuovere manualmente le combinazioni che interessano. In ogni caso le operazioni si riferiscono al combiset attivo.

I comandi relativi alle combinazioni si trovano sotto il Menu Edit-Combi.

Per la generazione automatica è disponibile il comando [Genera!](#)<sup>[1085]</sup>, per quella manuale il comando [Aggiungi](#)<sup>[1081]</sup> (la generazione automatica definisce combinazioni di tipo [lineare additivo](#)<sup>[1082]</sup>, mentre attraverso l'aggiunta manuale si possono definire anche combinazioni di tipo diverso: [SRSS, inviluppo, range, valori assoluti, combinazioni di combinazioni](#)<sup>[1082]</sup>). Le combinazioni possono essere stampare con il comando [Stampa](#)<sup>[1091]</sup>. E' possibile azzerare una combinazione ([Azzerà](#)<sup>[1095]</sup>), modificarla ([Modifica](#)<sup>[1093]</sup>) o anche rimuoverla (sempre con il comando [Modifica](#)<sup>[1093]</sup>). E' possibile rimuovere in un solo comando tutte le combinazioni ([Elimina Tutte](#)<sup>[1095]</sup>). Se il numero di combinazioni da aggiungere manualmente è molto alto, è possibile usare una macro che faccia leggere da un file, mediante il comando [Comandi](#)<sup>[665]</sup>.

La generazione delle combinazioni secondo il metodo delle tensioni ammissibili non presenta particolari problemi per il progettista, che è lasciato libero di inventare a proprio piacimento combinazioni che siano in grado di mettere al sicuro contro ogni possibile rischio. In genere in questo caso si generano poche combinazioni anche molto molto improbabili (ad esempio vento+sisma), allo scopo di pervenire a situazioni di sollecitazione sicuramente a favore di sicurezza. In questi casi le combinazioni vengono generate manualmente.

Molto diverso è invece il caso in cui la struttura debba essere verificata secondo il metodo degli stati limite. In questo caso le norme danno regole di combinazione che, se interpretate in modo coerente, portano ad avere facilmente svariate centinaia di combinazioni. Non è infrequente la generazione di migliaia di combinazioni.

Per poter avere una idea chiara del modo in cui il programma ragiona, è necessario leggere l'articolo [Combinazioni di verifica agli stati limite, il non detto delle normative](#)<sup>[1640]</sup>, che



è il frutto del lavoro svolto in Sargon per mettere a punto il comando di generazione automatica.


Da un punto di vista operativo, la generazione automatica delle combinazioni è realizzata da un unico comando, che richiede che non vi siano altre combinazioni nel modello.


Per poter generare automaticamente le combinazioni occorre tenere presente che non è compito della procedura automatica di generazione la creazione di combinazioni di carico in cui la direzione o la collocazione di un carico cambia sulla struttura. L'unica variabilità di un dato carico statisticamente indipendente tenuta automaticamente in conto dal programma è quella relativa al segno. Ad esempio se si è definito un caso "Vento X" ed un caso "Vento Y", il programma potrà generare combinazioni nelle quali i segni varino, ma occorrerà specificare che i due casi di carico non possono verificarsi contemporaneamente, essendo di fatto alternativi. La descrizione di un vento spirante a 45° dovrà dunque essere fatta generando una caso di carico a sé stante, agente in modo non contemporaneo con gli altri due. Analogo discorso vale per le scacchiere dei carichi variabili o per le diverse posizioni di un carico mobile.

Con queste avvertenze le routine messe a punto in Sargon consentono di generare tutte le combinazioni realmente rilevanti, ed anche di dosare in modo graduale l'effettiva completezza delle combinazioni.

Si fa presente che su strutture normali l'onere computazionale legato alla presenza di un alto numero di combinazioni cresce notevolmente, tanto da avere situazioni di fatto irrealistiche, vuoi al fine di un reale controllo sulla struttura, vuoi al fine di consentire tempi di calcolo e volumi di output ragionevoli.

Al momento il limite superiore del numero di combinazioni fissato nel programma è pari a 65535. Tale numero è ben superiore a quello che è realistico affrontare con l'hardware oggi a disposizione, e con le metodologie oggi in uso. Test eseguiti dal produttore hanno portato a generare e verificare fino a più di 11000 combinazioni (per l'esattezza undicimila quattrocento ventidue). Si fa presente che anche il tempo di generazione può essere rilevante, a causa dei controlli di ridondanza previsti dal programma.

Per poter eliminare combinazioni sicuramente non rilevanti è stato aggiunto il comando [Edit-Combinazioni-Elimina Alcune](#)  1095.

Dalla versione 9.80 del programma è possibile disattivare delle combinazioni se non le si vuole includere nelle verifiche automatiche, negli involuppi, ecc. Tutte le combinazioni, generate automaticamente o aggiunte manualmente, sono attive di default al momento della loro aggiunta. La disattivazione o attivazione delle combinazioni è gestita dal comando [Edit-Combinazioni-Modifica](#). In questo modo è possibile definire, ad esempio, combinazioni necessarie alla definizione di ulteriori combinazioni di combinazioni, attivando solo queste ultime per i risultati e le verifiche.

## 2.21 Come generare i disegni

### COME GENERARE I DISEGNI

#### Generalità

A partire dalla versione 9.00 Sargon è stato dotato di comandi utili per generare in modo automatico dei disegni in formato DXF rappresentanti ciascun filo fisso presente nel modello. Sargon non è un programma dedicato ai collegamenti e quindi i disegni che esso produce sono necessariamente preliminari, tuttavia le tavole che vengono automaticamente create da Sargon possono grandemente facilitare il lavoro dei disegnatori e dare una idea abbastanza precisa di come la struttura dovrà essere realizzata. Tra l'altro i disegni possono, a richiesta, contenere informazioni sulle sollecitazioni di involuppo afferenti ai giunti, consentendo di passare le informazioni necessarie alla loro progettazione già dalle fasi preliminari del lavoro di modellazione.

In quanto segue verranno chiarite le regole usate dal programma per generare le tavole. Queste funzionalità sono molto potenti: è possibile creare tutte le tavole dei fili fissi con un solo comando, e ritrovarsi quindi ad avere molti disegni già inizializzati e pronti per essere personalizzati. Non vi sono limitazioni geometriche: un filo fisso può essere un qualsiasi piano, orientato in qualsiasi modo. Il funzionamento del programma è identico. Ad esempio, è possibile rappresentare le quattro facce di un traliccio tronco-piramidale, tutti i suoi livelli, tutte le tracce di ciascun filo sul piano del filo corrente, e mediante lo stesso identico comando.

Il file DXF viene creato utilizzando differenti layers in modo da consentire di visualizzare le cose che maggiormente interessano. I layer previsti nelle tavole sono:

ALIGNMENT	la rappresentazione degli allineamenti del modello
JOINT_FORCES	il valore in kN e kNm delle azioni di inviluppo per i collegamenti
LABEL_SEC	le etichette di sezione
MARKS	le marche delle membrature
MEMBERS	le membrature come solidi proiettati
MEMBERS_HIDDEN	le linee nascoste delle membrature proiettate
SECTIONS	le sezioni delle membrature tagliate dal luogo
TEXT	il testo di alcune scritte
WIREFRAME_MEMBERS	le linee d'asse delle membrature e i segni di connessione

Per avere le tavole occorre eseguire il comando [Disegna-Tavole...](#)<sup>[755]</sup> dopo aver eseguito il comando [Disegna-Genera membrature!](#)<sup>[1270]</sup> ed aver preventivamente definito i luoghi geometrici necessari con il comando [Disegna-Fili fissi...](#)<sup>[752]</sup>.

## Generazione delle membrature

Un primo fondamentale punto da comprendere è che Sargon non crea il disegno del modello agli elementi finiti bensì delle membrature. La differenza è presto detta: una membratura è un pezzo fisicamente unico che può eventualmente essere modellato mediante più elementi finiti. Per generare un modello a membrature Sargon si avvale di funzionalità proprie del programma CSE, di Castalia srl, dedicato al calcolo dei collegamenti. Sargon non gestisce direttamente le membrature, non le rappresenta e non consente quindi di lavorare su di esse poiché questi compiti sono propri di CSE. In Sargon tuttavia, è possibile creare in background il modello a membrature e giovarsene nella creazione delle tavole preliminari. Le tavole di dettaglio sono oggetto del programma CSE, che è la naturale prosecuzione di Sargon.

Nello scandire gli elementi finiti che compongono il modello Sargon ricostruisce le membrature con le seguenti regole:

- Ogni elemento biella rappresenta una membratura a sé stante.

- Ogni discontinuità nella forma sezionale, nella linea d'asse, nella orientazione della terna locale comporta la interruzione di una membratura.
- La presenza di uno svincolo o di un mero segno di connessione all'estremo di un elemento finito comporta la interruzione della membratura a cui l'elemento finito appartiene.
- Discontinuità di materiale comportano la interruzione di una membratura.

E' dunque evidente che è l'analista, mediante la apposizione di opportuni segni di connessione in eventuale aggiunta agli svincoli, a determinare il modo in cui il programma crea le membrature a partire dal modello agli elementi finiti.

Si consideri ad esempio una colonna realizzata in due tronchi. In corrispondenza al giunto di prosecuzione si potrà mettere un nodo, e assegnare ad uno dei due elementi attaccati a quel nodo un segno di connessione. Tale operazione comporterà la suddivisione in due membrature della colonna, e quindi corrispondentemente nei disegni.

### **Marcatura automatica delle membrature**

Nel generare automaticamente le membrature il programma assegna ad ogni membratura una "marca" ovvero un identificatore univoco, che la distingue da tutte le altre.

Il criterio di assegnazione delle marche è basato sulla presenza dei fili fissi. La marca è una stringa alfanumerica costruita secondo le seguenti regole.

Se la membratura è una biella la marca comincia per "T".

Se la membratura giace in un piano orizzontale la marca comincia con "B".

Se la membratura è strettamente verticale (diretta come Z) la marca comincia per "C".

Se la membratura non ha le precedenti proprietà la marca comincia con "E".

La prima lettera di una marca prende il nome di *qualificatore*.

L'appartenenza ad un certo luogo relativamente alla giacitura viene verificata esaminando i nodi dell'elemento, non i suoi estremi. Pertanto se vi sono eccentricità di queste non si tiene conto.

I due nodi di estremità di ciascuna membratura sono due punti nello spazio 3D. Tali punti possono o meno appartenere ai luoghi geometrici (filì fissi) precedentemente descritti nel modello.

Un nodo si dice ***pienamente individuato*** (sottointendendo: dai luoghi del modello) se esso appartiene almeno a tre luoghi geometrici diversi. In effetti tre piani si incontrano in generale in un punto. I luoghi geometrici devono non essere complanari (non basta che abbiano versori diversi o nomi diversi).

Si dice che la membratura appartiene ad un certo luogo geometrico se entrambi i suoi nodi appartengono a quel luogo geometrico (si noti che l'appartenenza di una membratura ad un luogo è fatta analizzando i nodi senza tener conto degli offset, per consentire piccoli scostamenti dal luogo che – se non inficiano il sostanziale posizionamento “logico” della membratura – possono consentire un suo corretto posizionamento nello spazio, anche al fine di interfacciarsi con l'ambiente del calcolo dei collegamenti).

Una membratura è ***pienamente individuata*** se entrambi i suoi nodi estremi sono pienamente individuati. Ad esempio una membratura che vada da A.1.L1. ad A.1.L2. è una membratura pienamente individuata. Se i fili fissi sono stati propriamente assegnati, molte membrane risulteranno pienamente individuate. Per le membrane pienamente individuate la marca viene formata nel seguente modo:

**“QUALIFICATORE”. “LUOGHI DELLA MEMBRATURA”. “LUOGHI DEGLI ESTREMI”**

Per esempio la membratura “C” precedentemente ipotizzata avrà la marca univoca:

**C.A1.L1L2**

Per una trave che vada dal nodo C.1.L2 al nodo D.1.L2, la marca sarà

**B.1L2.CD**

Se il numero di luoghi soddisfatti dai due estremi è inferiore a sei, la membratura ***non è pienamente individuata*** dai luoghi esistenti. In questo caso il programma genera una marca provvisoria, con la stessa regola precedente. Si consideri ad esempio la trave secondaria che va da un punto sul filo A del livello 3, L3, ad un punto del filo B del livello 3, senza

appartenere né al filo 3 né al filo 4 (A,B,3,4 definiscano un rettangolo al livello 3). La marca iniziale sarà:

**B.L3.AB**

E' da notare che tale marca sarà in comune con le altre secondarie nello stesso specchio compreso tra il filo 3 e 4 ed il filo A e B del livello 3.

Dopo aver generato tutte le marche provvisorie, il programma esamina le marche provvisorie identiche e aggiunge una numerazione progressiva, da 001 a N (tre cifre). In questo modo la marca definitiva ha la seguente struttura:

**“QUALIFICATORE”. “LUOGHI DELLA MEMBRATURA”. “LUOGHI DEGLI  
ESTREMI”. “NUMERO PROGRESSIVO”**

Per esempio tutte le secondarie presenti nello specchio precedente avranno le seguenti marche, immaginando  $N < 10$ :

**B.L3.AB.001**

**B.L3.AB.002**

.....

**B.L3.AB.00N**

Questo sistema di marcatura ha il pregio di individuare gli elementi per quanto possibile sulla base della loro posizione (e quindi eventuali rifacimenti di mesh o di modello non generano cambiamenti generalizzati ma solo localizzati, se i luoghi conservano la loro definizione), consentendo al tempo stesso di non dover individuare mediante l'aggiunta ad oltranza di luoghi, tutte le membrane. La lettura della marca consente di ricostruire la posizione dell'elemento con ottima approssimazione anche per le membrane non pienamente individuate.

Se si vuole avere un buon sistema di marcatura, comunque, è opportuno che i luoghi siano stati attentamente descritti, prima di eseguire le tavole. In caso contrario il ricorso al gruppo finale con i numeri progressivi può essere maggiore di quanto strettamente necessario.

Oltre alle membrane pienamente individuate ed alle membrane non pienamente individuate vi sono le membrane non individuate. Gli estremi di queste membrane non appartengono (nessuno dei due) ad alcuno dei luoghi precedentemente definiti nel modello. Tali

membrature hanno una marca provvisoria definita dal solo qualificatore, e vengono distinte mediante il numero progressivo. E' chiaro che queste membrature dovrebbero, per quanto possibile, evitarsi.

## Luoghi geometrici

Come abbiamo visto la definizione dei luoghi geometrici è fondamentale ai fini della marcatura delle membrature ed anche ai fini della creazione delle tavole. Un generico luogo è individuato dal piano di equazione

$$ax+by+cz=d$$

Il versore normale al piano è il vettore

$$\frac{a}{\sqrt{a^2+b^2+c^2}}\vec{i} + \frac{b}{\sqrt{a^2+b^2+c^2}}\vec{j} + \frac{c}{\sqrt{a^2+b^2+c^2}}\vec{k}$$

È da notare che il piano

$$-ax-by-cz=-d$$

è complanare al precedente ma comporta un diverso effetto ai fini delle tavole. Infatti il versore del piano è opposto e la vista riportata su tavola è sempre realizzata in modo tale che l'osservatore guardi dal secondo estremo del versore verso l'origine. Il verso del versore del luogo influenza il modo in cui verranno visualizzate le linee delle membrature, poiché le linee nascoste cambiano. Questa è la ragione per cui i luoghi creati automaticamente dal programma sono del tipo

$$x=\text{costante}$$

$$-y=\text{costante}$$

$$z=\text{costante}$$

in quanto in tale modo le viste associate a questi luoghi (versori (1,0,0), (0,-1,0), (0,0,1)) sono di fatto le viste ortogonali classiche dei disegni. Nulla vieta di aggiungere un nuovo luogo del tipo

$$-x=\text{costante}$$

Ad esempio, se si vuole avere anche la tavola con la vista dall'altra parte.

## Sollecitazioni afferenti alle giunzioni

Tra le funzionalità disponibili nella creazione delle tavole, v'è quella di rappresentare, agli estremi delle membrature, i valori delle forze e delle coppie di involucro afferenti ai collegamenti. Per ragioni di leggibilità la unità di misura di queste forze e coppie è predeterminata in kN per le forze e kNm per le coppie. Inoltre ogni valore è arrotondato all'intero e privo di segno.

I valori sono riportati in modo diverso per le travi e le bielle. Per le travi si ha ad esempio

12,45,23 kN

(0,32,0) kNm

Dove i valori tra parentesi sono le coppie, ordinatamente M1, M2, ed M3, mentre i valori non tra parentesi sono le forze, ordinatamente N, T2, T3. Le azioni sono quindi riportate nel sistema di riferimento locale della membratura corrispondente.

Per le bielle è riportato il solo valore di azione assiale, arrotondato al kN e non tra parentesi.

Questa funzionalità è molto importante ed utile per consentire di progettare le unioni in modo indipendente dal modello di calcolo e con grande anticipo rispetto ai tempi finali di lavorazione del modello.

### **Viste solide proiettate**

Tra le funzionalità disponibili nella creazione delle tavole vi è anche quella di far vedere le membrature come oggetti solidi proiettati. La rappresentazione è sensibile al versore dell'allineamento utilizzato. Le linee nascoste sono posizionate in un layer diverso (denominato MEMBERS\_HIDDEN), rispetto alle linee visibili (layer MEMBERS). Non vi sono limitazioni di giacitura o di forma sezionale. Le membrature sono rappresentate tenendo conto delle loro eccentricità.

## **2.22 Come gestire elementi su suolo elastico**

### **COME GESTIRE ELEMENTI SU SUOLO ELASTICO**



A partire dalla versione 9.20 Sargon consente di gestire esplicitamente gli elementi su suolo elastico, e segnatamente la piastra su suolo elastico e la trave su suolo elastico.

In entrambi i casi l'utente dovrà selezionare degli elementi e poi assegnare a questi le proprietà del suolo elastico desiderato (con i comandi [Mesh-Piastre e Membrane-Winkler](#)<sup>[840]</sup> e [Mesh-Travi e Bielle-Winkler](#)<sup>[813]</sup>). Per le piastre il modello è quello di Winkler. Per le travi il modello è quello elastico generalizzato a due parametri, che contiene anche il modello di Winkler.

In entrambi i casi è conveniente utilizzare questi elementi per la maggior precisione che si può ottenere impiegando ordinari livelli di discretizzazione. Se lo scopo è quindi quello di pervenire ad un più esatto stato di sforzo sugli elementi (piastra o trave) l'uso delle formulazioni su suolo elastico è fortemente consigliato.

[N.b.: Nella versione 9.20 non sono ancora stati aggiunti comandi che diano lo sforzo nel terreno sotto gli elementi su suolo elastico. Infatti il terreno non risulta essere esplicitamente modellato mediante molle e va indagato con continuità sul dominio – linea o superficie. Nel caso di terreno alla Winkler si può tuttavia valutare l'entità dello sforzo esaminando le componenti di spostamento associate alla reazione del terreno. In particolare, eventuali trazioni del terreno, accettate in un modello puramente lineare, e non accettabili nella realtà fisica, possono essere individuate mediante lo studio dell'involuppo degli spostamenti al variare delle combinazioni. Sotto le travi alla Winkler è sufficiente moltiplicare lo spostamento  $w(x)$  per  $k$  per ottenere la reazione del terreno per unità di lunghezza].

## PIASTRA SU SUOLO ELASTICO

Con la versione 9.20 Sargon consente di assegnare agli elementi piastra anche una costante di Winkler  $k$ . Tale costante ha la dimensione fisica di una forza per unità di volume. La piastra viene inizialmente generata sempre con tale  $k=0$ . Per assegnare un  $k$  alle piastre selezionate si deve usare il nuovo comando Mesh-Piastre e Membrane – Winkler. Per togliere il  $k$  di Winkler occorre assegnare un valore nullo.

Le piastre che hanno un  $k$  di Winkler diverso da zero sono mostrate con una molla al centro dell'elemento, nella direzione normale al piano dell'elemento.

La possibilità di dare elementi plate su suolo elastico consente di ottenere una maggior precisione nello studio di platee su suolo elastico. Anziché assegnare le molle ai nodi è possibile assegnare direttamente la costante di Winkler agli elementi plate-shell.

La matrice di rigidezza dell'elemento viene modificata aggiungendo il termine

$$k \int N^T N dA$$

Dove  $N$  sono le funzioni di forma della parte traslazionale dello spostamento e  $k$  è la costante di Winkler. A parte la modifica della matrice di rigidezza, tutte le operazioni relative al post-processing restano invariate. Sebbene molto più preciso dell'approccio a molle concentrate, il sistema qui succintamente descritto (e reperibile in letteratura ad esempio nel testo del Cook di seguito precisato) non può essere considerato di precisione paragonabile a quello adottato per le travi su suolo elastico, in quanto la parte intrinseca della matrice di rigidezza resta inalterata. Pertanto il livello di discretizzazione dovrà essere molto elevato.

**R.D. Cook, D. S. Maltus, M.E. Plesha, "Concepts and applications of finite element analysis", John Wiley & Sons, 1989.**

## TRAVE SU SUOLO ELASTICO

Con la versione 9.20 di Sargon compare l'elemento trave su suolo elastico a due parametri. Tale aggiunta consente di studiare le travi su suolo elastico con molta maggior precisione rispetto a quanto possibile in precedenza. Non è più necessaria una elevata discretizzazione per studiare elementi beam su suolo elastico (trave rovescia), ma basta un solo elemento dato che le funzioni di forma dell'elemento su suolo elastico usano non più polinomi ma complicate funzioni trigonometriche ed esponenziali, che sono la soluzione esatta della equazione differenziale e che quindi forniscono già con un solo elemento il risultato corretto, sia in termini di azioni interne che in termini di spostamento

Valgono però le seguenti limitazioni:

1. L'elemento trave su suolo elastico può ricevere come carichi interni solo carichi distribuiti linearmente (o uniformi) tra un estremo e l'altro estremo. Non sono ammessi

carichi concentrati o carichi che vadano da un punto interno ad un altro punto interno o d'estremo. Non sono inoltre ammesse le coppie distribuite. Tale limitazione non è molto forte se si tiene conto che di solito vi sono solo i carichi distribuiti e che nel caso di carichi concentrati è sempre possibile spezzare l'elemento in più elementi.

2. L'elemento trave su suolo elastico non considera la rigidezza a taglio, quindi i fattori di taglio non sono considerati.
3. Nelle analisi con Soclever, gli elementi su suolo elastico non contribuiscono alla rigidezza geometrica e quindi non sono oggetto di analisi del secondo ordine. Restano trattati al primo ordine anche se possono far parte di un più generale modello ove figurino analisi del secondo ordine (sugli altri elementi trave e sugli elementi biella).

Come accennato il modello è quello del suolo elastico a due parametri. Il lavoro di riferimento adottato per questo elemento è il seguente:

**Feng Zhaohua, Robert D. Cook, “Beam Elements on Two-Parameter Elastic Foundations”, Journal of Engineering Mechanics, Vol. 109, N° 6, December 6 1983.**

Nel modello a due parametri, risulta che, detto  $w(x)$  l'abbassamento della trave e  $p(x)$  la reazione del terreno si abbia:

$$p(x) = kw(x) - k_1 \frac{d^2 w(x)}{dx^2}$$

Il parametro  $k$  è l'ordinario parametro di Winkler, ed ha le dimensioni fisiche di una forza per unità di superficie. Si ottiene dalla costante di Winkler del terreno moltiplicandola per la larghezza della superficie di appoggio. Esprime una rigidezza (F/L) per unità di lunghezza.

Il parametro  $k_1$  è il secondo parametro e consente di modellare suoli con maggior generalità ed efficacia di quanto possibile con il solo  $k$ .  $k_1$  ha le dimensioni fisiche di una forza. In particolare il secondo parametro consente di evitare il tipico e ben riconosciuto fenomeno che fa sì che una trave su suolo elastico alla Winkler, soggetta ad un carico uniformemente distribuito, si abbassi senza inflettersi, cosa che è evidentemente in contrasto con la esperienza effettiva di travi su suoli reali. In effetti ciò dipende dal fatto che nel modello alla Winkler il

terreno al di fuori della trave non si abbassa, Il modello a due parametri invece comporta una inflessione anche nel caso in cui vi sia un mero carico distribuito.

Il modello a due parametri contiene al suo interno le seguenti teorie, che tutte ricadono nella medesima equazione pur impiegando per il secondo termine una diversa formulazione collegata ad un diverso significato fisico:

1. Modello di Filonenko-Borodich
2. Modello di Pasternak
3. Modello di fondazione generalizzata
4. Fondazione di Vlasov

Si rimanda al già citato paper per i riferimenti esatti ai corrispondenti lavori. Qui si riporta solo la formulazione di Vlasov utile per determinare  $k_1$ .

$$k = \frac{E_0 b}{4(1 - \mu_0^2)} \cdot \frac{\gamma}{A}$$

$$k_1 = \frac{E_0 b}{4(1 + \mu_0)} \cdot \frac{A}{\gamma}$$

$$A = \sqrt[3]{\frac{2D(1 - \mu_0^2)}{E_0 b}}$$

$$E_0 = \frac{E_s}{1 - \mu_s^2}$$

$$\mu_0 = \frac{\mu_s}{1 - \mu_s}$$

$$D = \frac{EI}{(1 - \mu^2)}$$

Dove:

b	larghezza della trave
$\mu$	coefficiente di Poisson della trave
EI	rigidezza flessionale della trave
Es	modulo di elasticità del terreno

$\mu_s$	coefficiente di Poisson del terreno
$\gamma$	un coefficiente numerico che dipende dalla fondazione (ad esempio, 1, 0.5, ecc.)

Per maggiori dettagli su come impostare il valore di  $k_1$  si rimanda alla letteratura tecnica sull'argomento. Ove non si abbia idea di come impostare il valore di  $k_1$  si suggerisce di lasciarlo nullo.

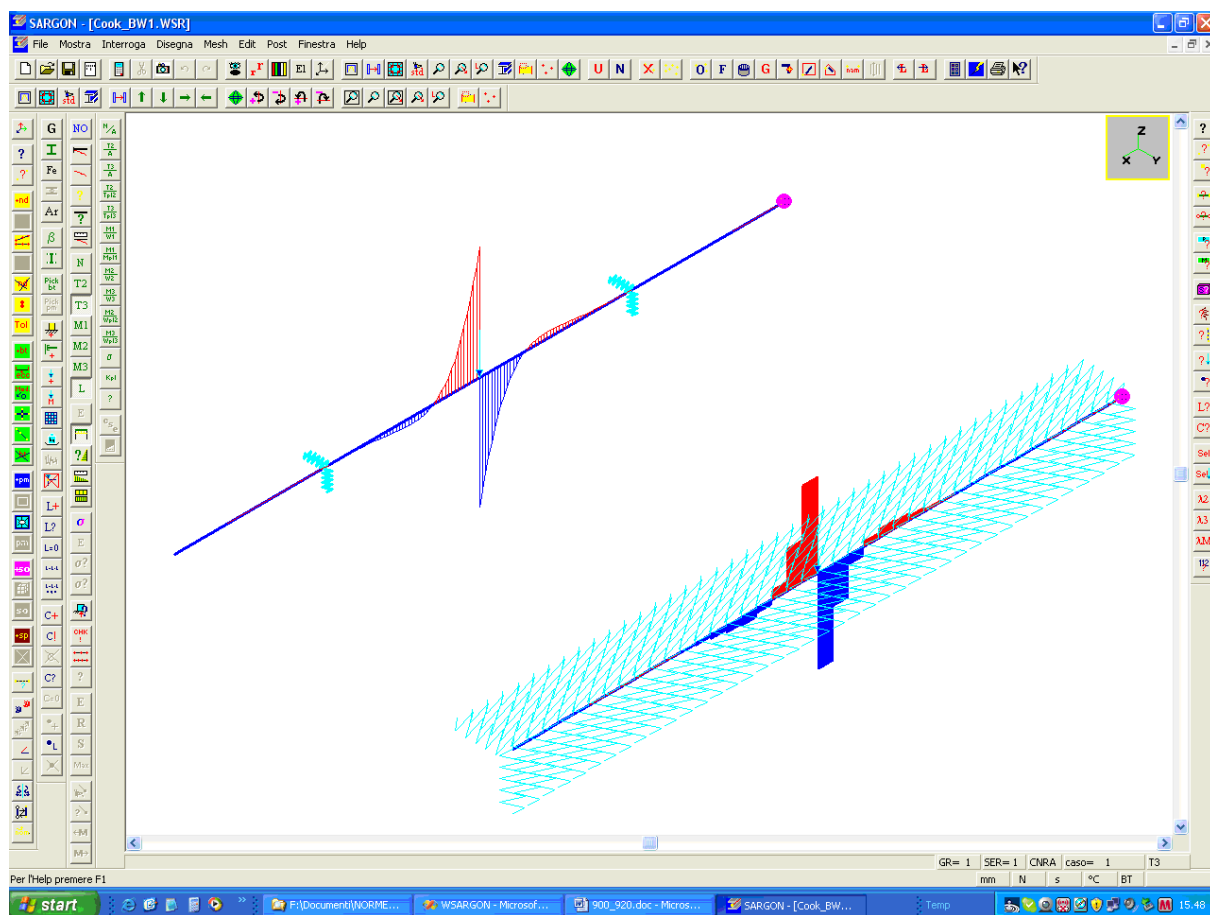
Per ottenere una ordinaria fondazione su suolo elastico alla Winkler è sufficiente porre  $k_1=0$ .

$k_1$  non deve mai raggiungere o superare il valore

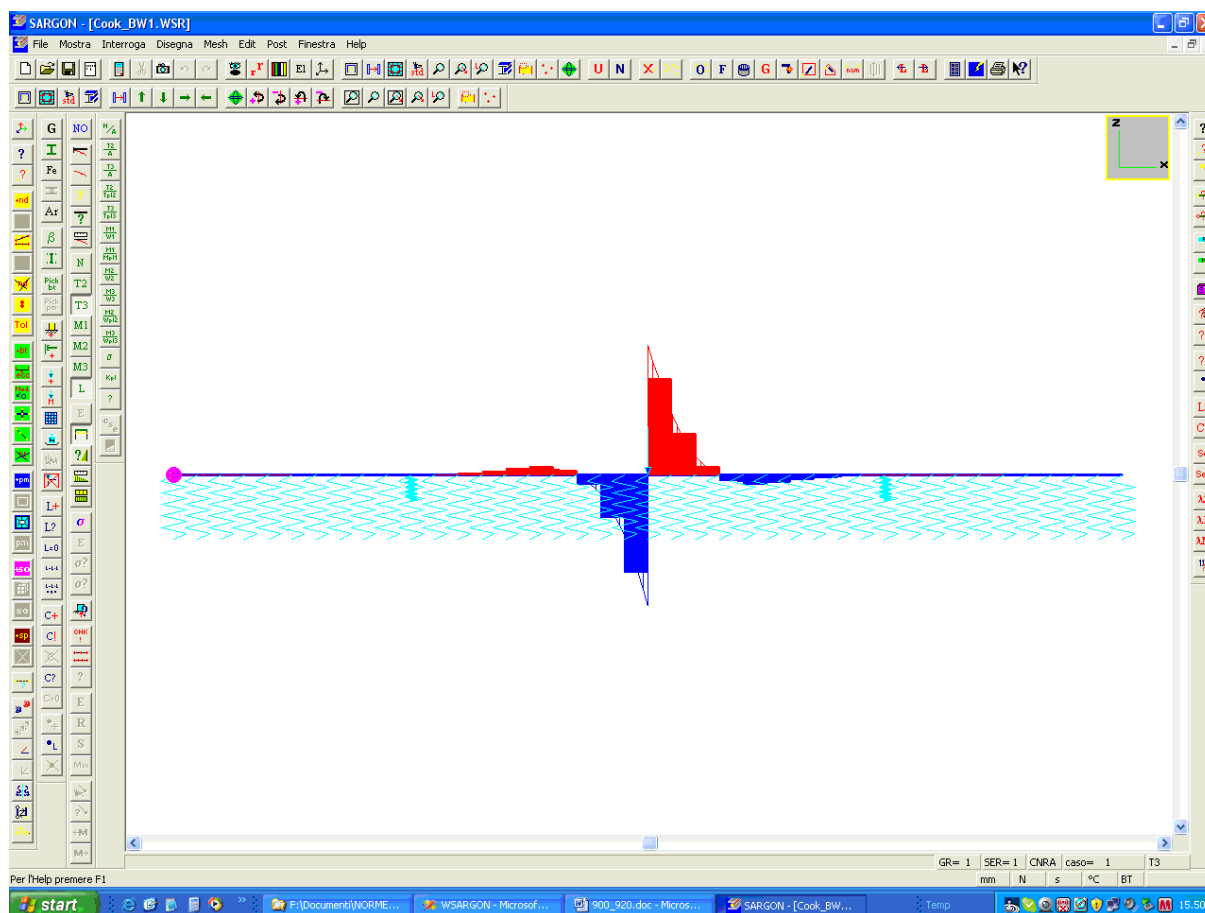
$$k_{1,\text{lim}} = \sqrt{4kEI}$$

Come già detto l'introduzione di uno specifico elemento finito di trave su suolo elastico semplifica di molto la creazione delle mesh corrispondenti, in quanto il livello di discretizzazione necessario a cogliere con precisione la risposta si abbassa drasticamente. Sia l'andamento della deformata, sia i diagrammi di taglio e momento flettente presentano variazioni secondo complicate funzioni trigonometriche ed esponenziali. In letteratura è noto che per cogliere correttamente il momento flettente e soprattutto il taglio è necessario dividere l'elemento in moltissimi sotto-elementi se si fa uso degli ordinari elementi a funzioni di forma cubiche. Per questa ragione si è sin da subito deciso che gli elementi avrebbero impiegato le molto più complesse funzioni di forma trigonometriche-esponenziali.

Nella figura che segue si vede il raffronto tra due travi modellate con le molle o con la nuova formulazione. E' mostrato l'andamento del taglio.



Si noti che in un caso il modello (trave su suolo elastico con carico concentrato in mezzzeria) è realizzato con due elementi finiti, nell'altro con ben 40. Nonostante ciò il taglio massimo (figura seguente) non è ancora colto dal modello ordinario con molle.



## 2.23 Come gestire le eccentricità (offset)

### COME GESTIRE LE ECCENTRICITA'

A partire dalla versione 9.00 Sargon gestisce le eccentricità degli elementi beam (trave). Tale aggiunta si è resa specialmente necessaria per compatibilità con CSE, ovvero il programma di Castalia srl dedicato al calcolo dei collegamenti, tuttavia essa ha anche una notevole importanza nel consentire con maggiore facilità di trattare disassamenti ed eccentricità che provocano momenti aggiuntivi e di trasporto.

Al momento le eccentricità si possono applicare solo agli elementi beam. Se un elemento truss ha delle eccentricità può essere modellato con un elemento beam eccentrico opportunamente svincolato. Nel caso in cui si voglia modellare una piastra nervata, le eccentricità devono andare dal piano della piastra al baricentro delle nervature.

I comandi dedicati alle eccentricità sono tre:

[Mesh-Travi e bielle-Eccentricità](#) 

[Mesh-Travi e bielle-Snap su luogo](#) 

[Mesh-Travi e bielle-Reimposta eccentricità!](#) 

## Teoria

Per definizione un elemento beam va da un estremo ad un altro estremo. Gli estremi possono non coincidere con i nodi dell'elemento stesso. Chiamiamo “offset” o “eccentricità” di un elemento, il vettore che va dal nodo dell'elemento al suo corrispondente estremo, nel sistema di riferimento globale. Ciascuna eccentricità è quindi definita da tre componenti nel sistema di riferimento globale, aventi la dimensione fisica di una lunghezza. La traslazione di un nodo si comunica inalterata all'estremo corrispondente. La rotazione di un nodo si comunica inalterata all'estremo corrispondente, con in più l'aggiunta di una traslazione che viene ad essere calcolata nel seguente modo. Sia **M** il punto nello spazio corrispondente al nodo (“master”) ed **S** il punto nello spazio corrispondente all'estremo (“slave”). Siano dx, dy, e dz le componenti del vettore (**S-M**). E' definita la matrice di trasferimento **T** nel seguente modo:

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} 0 & dz & -dy \\ -dz & 0 & dx \\ dy & -dx & 0 \end{bmatrix}$$

Tale matrice gode della seguente proprietà:

$$\mathbf{T}^T = -\mathbf{T}$$

Sia ora:

**u<sub>s</sub>** il vettore delle traslazioni del master

**u<sub>m</sub>** il vettore delle traslazioni dello slave

**r<sub>s</sub>** il vettore delle rotazioni dello slave



$\mathbf{r}_m$  il vettore delle rotazioni del master

Risultano le seguenti relazioni vettoriali dirette:

$$\mathbf{u}_s = \mathbf{u}_m + \mathbf{T} \mathbf{r}_m$$

$$\mathbf{r}_s = \mathbf{r}_m$$

e inverse:

$$\mathbf{u}_m = \mathbf{u}_s - \mathbf{T} \mathbf{r}_s$$

$$\mathbf{r}_m = \mathbf{r}_s$$

che possono essere anche scritte in questo modo:

$$\begin{Bmatrix} \mathbf{u}_s \\ \mathbf{r}_s \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{T} \\ \mathbf{0} & \mathbf{I} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{u}_m \\ \mathbf{r}_m \end{Bmatrix}$$

(\*\*\*)

$$\begin{Bmatrix} \mathbf{u}_m \\ \mathbf{r}_m \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \mathbf{I} & -\mathbf{T} \\ \mathbf{0} & \mathbf{I} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{u}_s \\ \mathbf{r}_s \end{Bmatrix}$$

Il vero e proprio elemento finito va da un estremo ad un altro estremo. La lunghezza effettiva di un elemento non è quella da nodo e nodo ma quella da estremo ad estremo. Se le eccentricità sono nulle gli estremi coincidono con i nodi. La assegnazione delle eccentricità, variando la lunghezza effettiva degli elementi, ha effetti sulla risultante dei carichi distribuiti assegnati. L'asse 1 dell'elemento va da un estremo all'altro estremo. La terna locale è definita rispetto all'elemento che va da estremo ad estremo. Le azioni interne sono sempre riferite all'elemento e vanno da un estremo ad un altro estremo. Le leggi che fanno passare dalle azioni (forze e momenti) ad un estremo alle azioni (forze e momenti) sul nodo, e viceversa, sono le seguenti:

$$\begin{Bmatrix} \mathbf{f}_s \\ \mathbf{m}_s \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{0} \\ \mathbf{T} & \mathbf{I} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{f}_m \\ \mathbf{m}_m \end{Bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} \mathbf{f}_m \\ \mathbf{m}_m \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{0} \\ -\mathbf{T} & \mathbf{I} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{f}_s \\ \mathbf{m}_s \end{Bmatrix}$$

Le reazioni vincolari ai nodi, ed i residui, sono calcolati mettendo in conto i momenti di trasporto mediante le relazioni matriciali precedenti. La matrice di rigidezza dell'elemento avente certi estremi è trasformata per tenere conto che i nodi non coincidono con gli estremi stessi. Precisamente risulta che, detta  $\Pi$  la seguente matrice

$$\Pi = \begin{bmatrix} \mathbf{I} & \mathbf{T} \\ \mathbf{0} & \mathbf{I} \end{bmatrix}$$

e detta  $\mathbf{K}$  la matrice di rigidezza dell'elemento, partizionata nei blocchi relativi agli estremi "i" e "j"

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} \mathbf{K}_{ii} & \mathbf{K}_{ij} \\ \mathbf{K}_{ji} & \mathbf{K}_{jj} \end{bmatrix}$$

Si ottiene che la matrice di rigidezza  $\underline{\mathbf{K}}$  relativa ai nodi  $N_i$  ed  $N_j$  è la seguente:

$$\underline{\mathbf{K}} = \begin{bmatrix} \Pi_i^T & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \Pi_j^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{K}_{ii} & \mathbf{K}_{ij} \\ \mathbf{K}_{ji} & \mathbf{K}_{jj} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Pi_i & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \Pi_j \end{bmatrix}$$

Assemblata la matrice di rigidezza così ottenuta per le vie normali si calcolano gli spostamenti nodali, e da questi tramite le (\*\*\*) gli spostamenti agli estremi. Noti questi si procede al calcolo delle azioni interne che vengono memorizzate come al solito.

### Applicazione automatica delle eccentricità

La definizione delle eccentricità non è sempre univoca, dato che essa dipende da come fisicamente viene realizzata l'unione. Sargon non è un programma di disegno 3d e quindi non ha delle informazioni necessarie a ricostruire sempre e comunque la eccentricità. E' tuttavia possibile, in un certo insieme di casi, calcolare ed assegnare in modo automatico la eccentricità agli elementi, tenendo meramente conto delle posizioni dei nodi, delle giaciture e delle relazioni statiche che intercorrono tra vari elementi (il comando è [Mesh-Travi e Bielle-Reimposta eccentricità!](#)<sup>[823]</sup>).

E' in particolare possibile assegnare le eccentricità agli elementi che convergono ad un altro elemento che resta ininterrotto. In questo caso le linee d'asse ideali degli elementi secondari possono essere interrotte in modo da fermarsi prima del nodo teorico. La lunghezza di questa "eccentricità assiale" dell'elemento secondario dipende dalla forma sezionale dell'elemento principale e dalla mutua orientazione delle linee d'asse. Per poter decidere quale membratura è interrotta e quale no, il programma trasforma il modello agli elementi finiti in un modello a membrane, e poi classifica i JNODI mediante le informazioni sulle connessioni (svincoli e segni di connessione). Per i JNODI gerarchici, ovvero i JNODI nei quali esiste un master ininterrotto al quale si attaccano vari slave, è possibile definire le eccentricità assiali degli slave in modo automatico. Per gli altri tipi di JNODO non viene applicata alcuna eccentricità.

Un secondo tipo di eccentricità gestibile in modo automatico è quella che fa rispettare il top of steel. In questo caso gli elementi giacenti su un certo livello (ovvero con i nodi appartenenti ad un certo livello così come definito nel comando Edit-Multipiano) possono essere traslati in modo che il loro top of steel (TOS) giaccia alla quota specificata nel medesimo comando precedentemente richiamato. Tale operazione è compiuta in automatico dal comando che genera le eccentricità.

### **Posizionamento di punti notevoli delle sezioni su luoghi**

Al fine di favorire il passaggio del modello di calcolo ai programmi dedicati al disegno ed al calcolo dei collegamenti, è stato aggiunto, a partire dalla versione 9.00, un importante comando utile al posizionamento delle membrane nello spazio, in modo coerente al posizionamento effettivo da realizzarsi durante il montaggio. In pratica, scelto un determinato luogo geometrico (al momento un piano di data equazione), è possibile *aggiungere* agli offset esistenti degli offset tali da far giacere certi punti o lati notevoli della sezione sul luogo desiderato.

Di solito il problema delle eccentricità può essere visto come duplice:

1. Le eccentricità assiali riducono la lunghezza dell'elemento mantenendone inalterato il piano di giacitura;
2. Le eccentricità normali mantengono invariata la lunghezza ma modificano il piano di giacitura.

Il comando [Mesh-Bielle e Travi-Snap su luogo](#)<sup>[819]</sup>, consente di modificare le eccentricità in modo che il piano di giacitura cambi. Il cambiamento è programmato in modo tale che non già il baricentro, bensì altre opportune parti della sezione, si trovino sul luogo desiderato.

Sargon gestisce migliaia di tipi e di forme sezionali diverse. Per poter avere una regola unica e nitida di applicazione di questo comando, si sono definiti dei luoghi geometrici sul contorno della sezione, ovvero dei punti che soddisfano certe proprietà geometriche. Tali punti sono quattro: il TOS, il BOS, il LOS ed il ROS.

Riferita la sezione ai suoi assi principali baricentrici 2 e 3, ogni punto del contorno della sezione ha coordinate  $x_2$  ed  $x_3$  rispetto al baricentro della sezione. Si noti che gli assi principali non sempre sono paralleli ai piatti (per esempio in una sezione ad L non lo sono).

Definiamo punto **TOS della sezione** il punto del suo contorno avente la coordinata  $x_3$  maggiore (in senso algebrico).

Definiamo punto **BOS della sezione** il punto del suo contorno avente la coordinata  $x_3$  minore (in senso algebrico).

Definiamo punto **ROS della sezione** il punto del suo contorno avente la coordinata  $x_2$  maggiore (in senso algebrico).

Definiamo punto **LOS della sezione** il punto del suo contorno avente la coordinata  $x_2$  minore (in senso algebrico).

L'uso di questi punti consente nella maggior parte dei casi di posizionare il profilo correttamente. Ad esempio:

- Per profili ad I od a H doppiamente simmetrici le facce esterne delle flange sono il TOS ed il BOS;
- Per profili ad L lo spigolo (appartenente ad ambedue i lati esterni) è il LOS;
- Per i profili a [ il lato esterno dell'anima è il LOS;

- Per i profili a T il piatto superiore è il TOS;

Si rimanda alla parte di [descrizione del comando](#)<sup>[819]</sup> per ulteriori dettagli su questi luoghi.

E' da notare che il comando aggiunge la eccentricità a quelle già esistenti, quindi eventuali eccentricità assiali vengono mantenute.

## **Eccentricità vs comandi standard**

Divisione, splitting, intersezione

Se un elemento con eccentricità viene suddiviso con uno dei comandi elencati, la situazione finale rispetta le eccentricità originariamente assegnate all'elemento di partenza.

Copia, ricopia, specchia

Se un elemento con eccentricità viene copiato o ricopiato o specchiato, i nuovi elementi ottenuti dal primo mantengono le stesse identiche eccentricità rispetto ai nuovi nodi venuti a creare.

Visualizzazione, cliccabilità degli estremi

Rotazione

Nella rotazione viene mantenuta la direzione rispetto agli assi globali, quindi un elemento con eccentricità assiale non le nonserva se ruotato di un certo angolo. Tali eccentricità diventano normali per rotazioni di 90 gradi.

I monconi rigidi sono sempre visualizzati con un colore opposto a quello di background. Gli estremi delle aste non sono cliccabili per assegnarvi forze o per interrogazione sulla posizione.

Le interrogazioni sugli elementi fanno muovere il cursore lungo l'elemento da un estremo ad un altro estremo.

E' generalmente preferibile generare le eccentricità (o mediante il comando automatico, o mediante la assegnazione manuale), solo al termine delle operazioni di meshing, nella fase finale del lavoro.

Una **linea guida per la gestione delle eccentricità** può essere la seguente:

1. Generare il modello normalmente senza preoccuparsi delle eccentricità, analizzarlo e verificarlo. Salvare e duplicare il modello.
2. Aggiungere i segni di connessione in modo da pilotare correttamente la suddivisione in membrature, e trasformare le bielle in travi là dove si desidera avere eccentricità su elementi biella.
3. Eseguire il comando [Reimposta eccentricità!](#)<sup>[823]</sup> per far inizializzare al programma le eccentricità assiali.
4. Eseguire più volte là dove serve, se serve, il comando [Eccentricità](#)<sup>[817]</sup>, in specie per determinare la eccentricità assiale degli elementi non trattati dal comando [Reimposta eccentricità!](#)<sup>[823]</sup>. Infatti solo i JNODI gerarchici sono trattabili dal comando.
5. Eseguire più volte il comando [Snap su luogo](#)<sup>[819]</sup> in modo da portare il piano delle membrature ad essere coerente con quanto sarà fatto in fase di montaggio (quota estradosso impalcati, piano facce esterne controventi per profili ad L o a []).
6. Rieseguire le verifiche, controllare che tutto sia a posto.
7. Esportare il modello verso il disegno e verso il calcolo dei collegamenti.

## **2.24 Come eseguire la verifica con il "metodo generale"**

### **COME ESEGUIRE LA VERIFICA CON IL "METODO GENERALE"**

Con il nome di "metodo generale" si intende la verifica della interazione tra resistenza e stabilità condotta mediante un metodo che generalizza quanto si fa per il caso di semplici colonne compresse. Il metodo è descritto in EN 1993-1-1 al §6.3.4 relativamente allo svergolamento di travi inflesse, ma è di fatto adoperato anche in numerosi altri contesti all'interno della norma in questione. Il metodo è descritto e discusso nel testo *Calcolo di Strutture in Acciaio*, di Paolo Rugarli, EPC Libri, 2008, al §1.7.1 e verrà ora brevemente richiamato.

Sia data una generica struttura e consideriamo una generica combinazione di carico ad essa associata. Sia  $\alpha_{cr}$  il moltiplicatore critico (positivo), ovvero il moltiplicatore dei carichi che conduce alla instabilizzazione di tutta o di parte della struttura. Sia inoltre  $\alpha_u$  il moltiplicatore limite, ovvero il moltiplicatore dei carichi (positivo) che porta alla creazione di un meccanismo, ovvero alla formazione di un atto di moto rigido all'interno della struttura a seguito della plasticizzazione di uno o più dei suoi elementi resistenti (cerniere plastiche o plasticizzazione di elementi tesi o compressi). Definiamo col termine generale di *criticità*, o *snellezza adimensionale*, il numero adimensionale  $\bar{\lambda}$  ottenuto dalla seguente espressione

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{\alpha_u}{\alpha_{cr}}} \quad (1)$$

Data la criticità e data una curva di stabilità, ovvero una relazione del tipo  $\chi = \chi(\bar{\lambda})$  è possibile determinare un fattore di riduzione  $\chi$  che dipende dalla criticità e che va a diminuire il carico che, in assenza di fenomeni di instabilità, si potrebbe applicare sulla struttura. Dunque il *moltiplicatore reale dei carichi*, non è  $\alpha_u$  ma è  $\alpha_R$  e vale

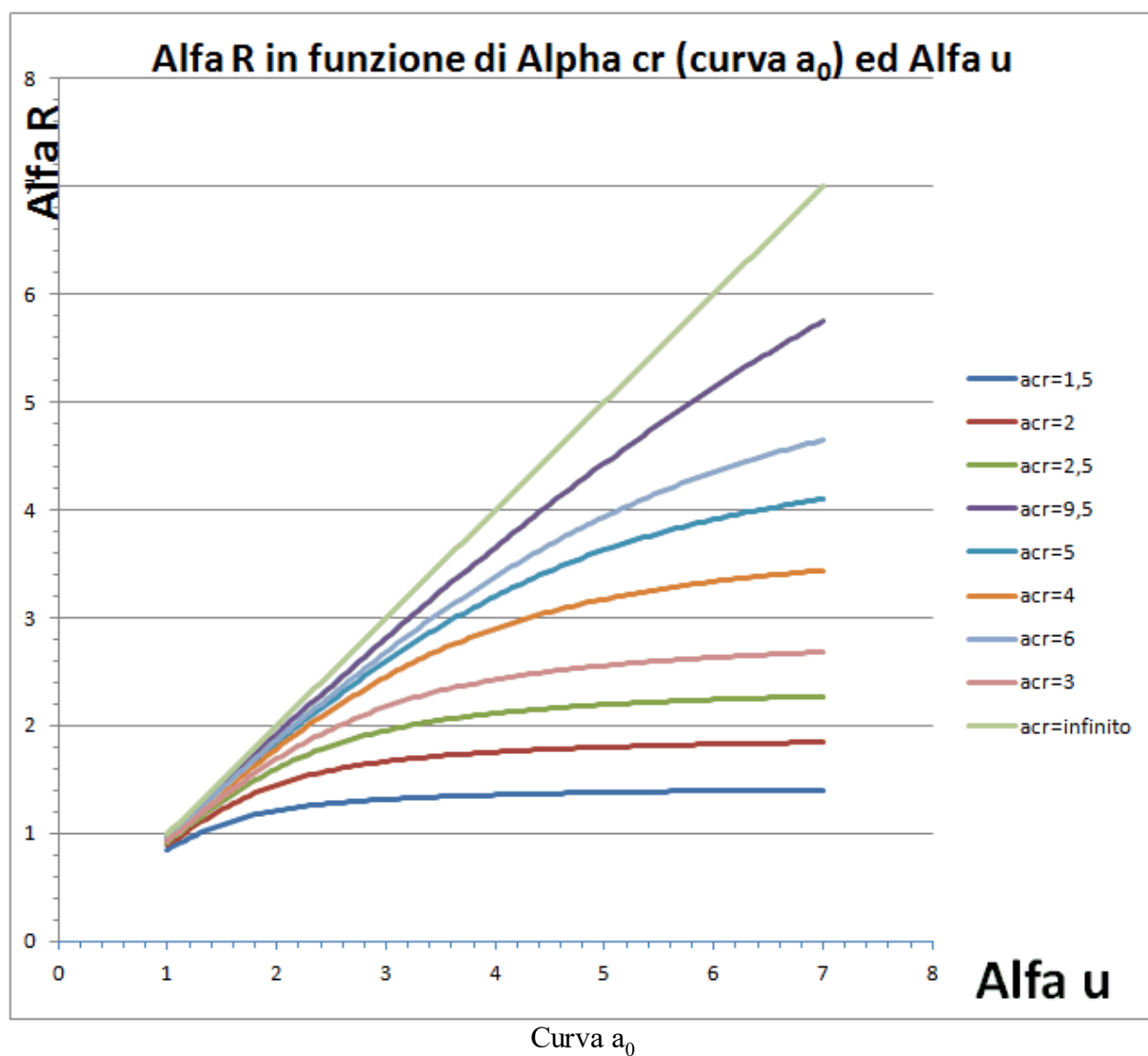
$$\alpha_R = \chi \alpha_u = \chi(\bar{\lambda}) \alpha_u = \chi \left( \sqrt{\frac{\alpha_u}{\alpha_{cr}}} \right) \alpha_u \quad (2)$$

Il metodo è applicabile a qualsiasi struttura e tiene conto del fatto che, a causa dei fenomeni di instabilità, il carico per resistenza idealmente raggiungibile può non essere raggiunto. E' importante osservare che il concetto di criticità (ed il calcolo di  $\chi$ ) è totalmente svincolato da concetti come *lunghezza*, *distanza tra i punti di flesso*, ed è associabile a qualsiasi struttura, come un guscio, una lastra, una copertura, ecc..

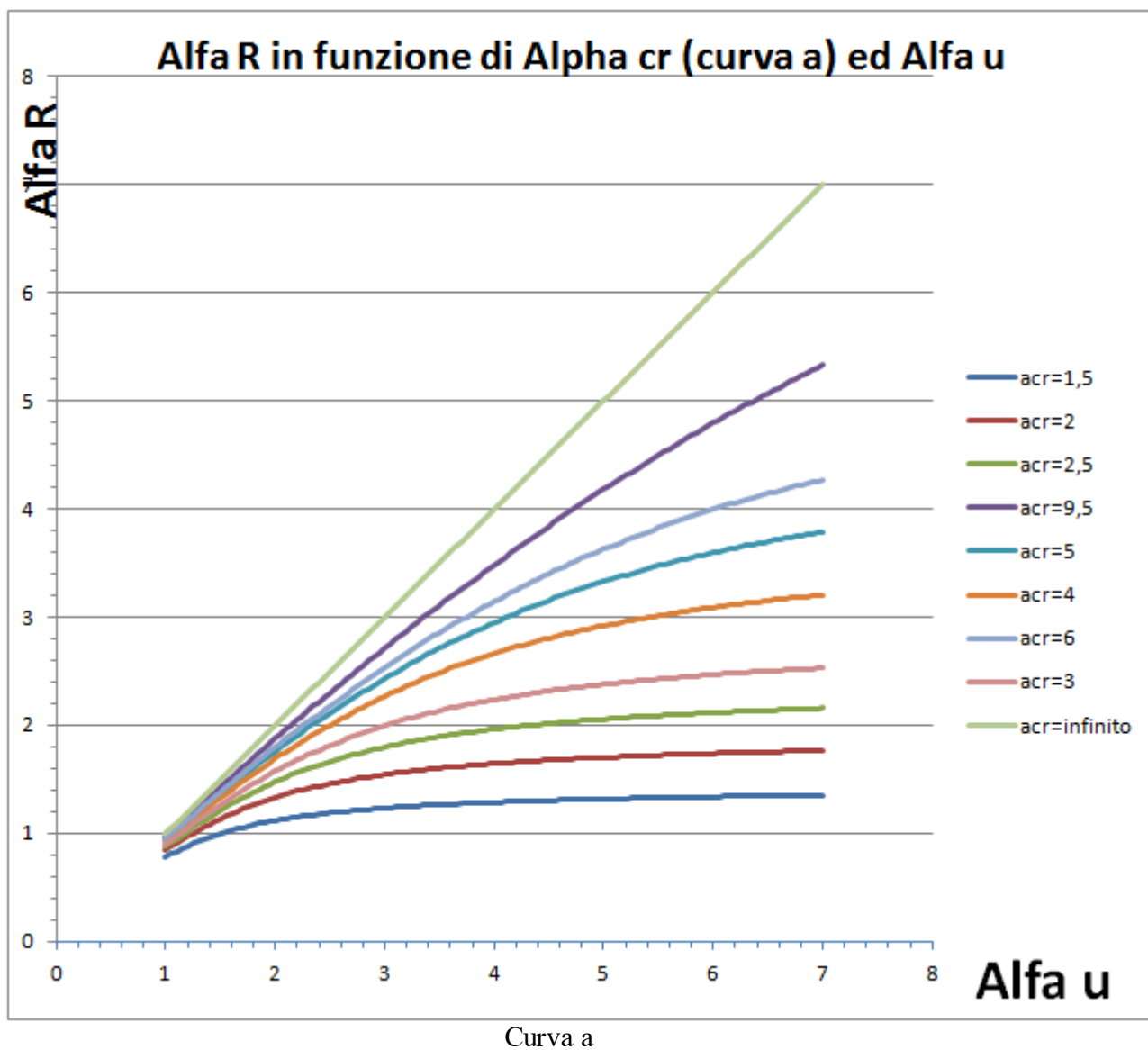
Un punto di fondamentale importanza nella applicazione del metodo è la scelta della curva di stabilità. Normalmente si adoperano le stesse curve di stabilità impiegate per la verifica di elementi compressi (curve  $a_0$ , a, b, c, d), dato che tali curve di stabilità rendono conto di diversi possibili livelli di imperfezione e costituiscono una stima ingegneristica della maggiore o minore probabilità che si innescino i fenomeni di instabilità stessi. La curva di stabilità è associata ad un fattore di imperfezione che vale 0,13 per la curva  $a_0$ , 0,21 per la curva a, 0,34 per la curva b, 0,49 per la curva c, ed infine 0,76 per la curva d. E' naturalmente possibile definire altre curve pur di impostare valori differenti per il fattore di imperfezione (si veda la Tabella 6.1 di EN 1993-1-1).

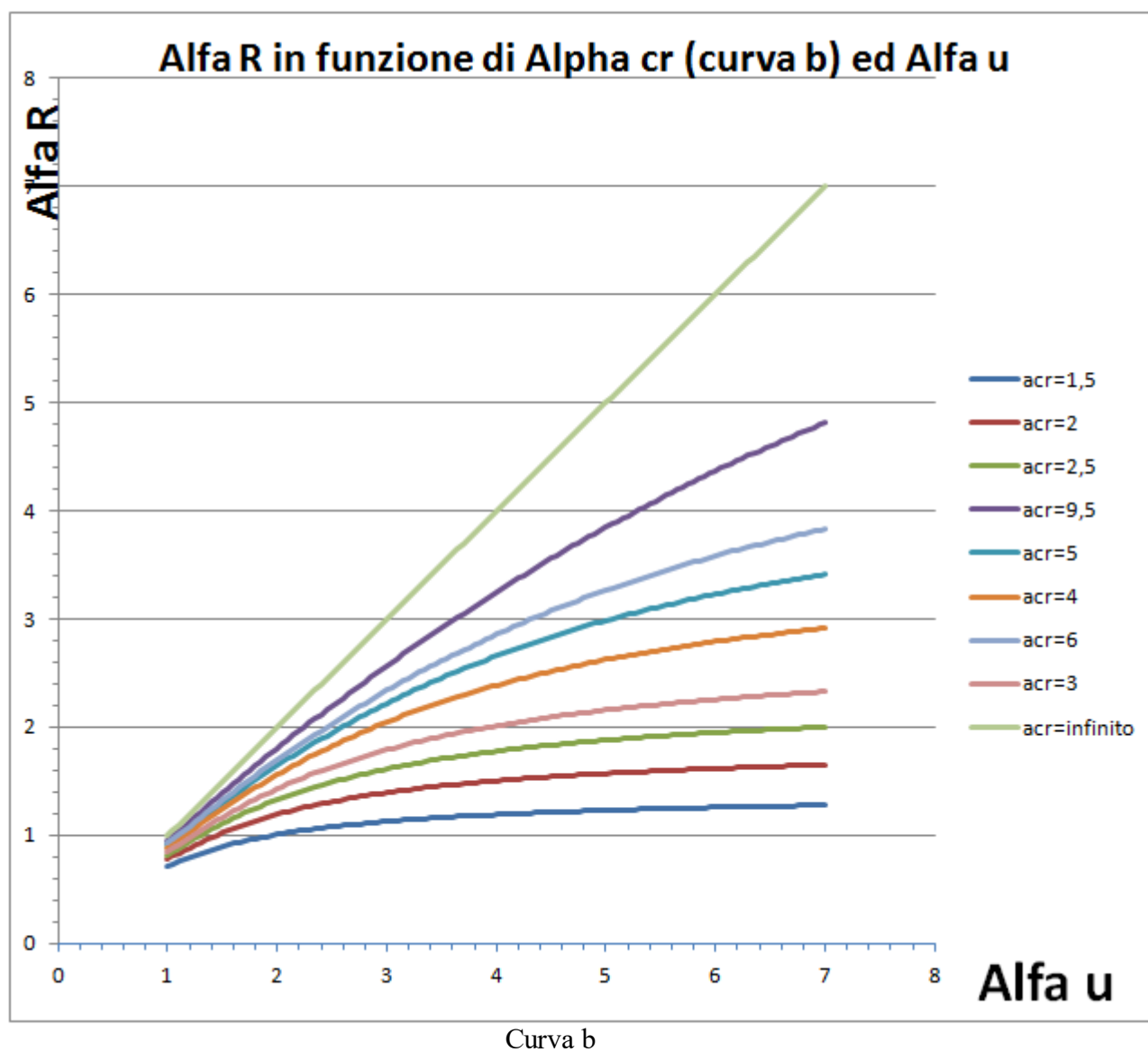
Per poter applicare il metodo occorre quindi conoscere il fattore  $\alpha_{cr}$  ed il fattore  $\alpha_u$ . Si noti che è sempre a favore di sicurezza sottostimare  $\alpha_u$ , dato che se è vero che la criticità viene ad essere sottostimata (perché  $\alpha_u$  compare a numeratore nella (1)) è anche vero che nella espressione (2) l'effetto finale sarà una sottostima e non una sovrastima di  $\alpha_R$ . In altre parole le curve  $\alpha_R = \alpha_R(\alpha_u)$  sono sempre crescenti per ogni  $\alpha_{cr}$ . Questo vuol dire che ai fini di una determinazione a favore di sicurezza di  $\alpha_R$  è possibile usare una sottostima di  $\alpha_u$  quale quella ottenuta con metodi semplificati e senza bisogno di ricorrere ad una vera e propria analisi limite.

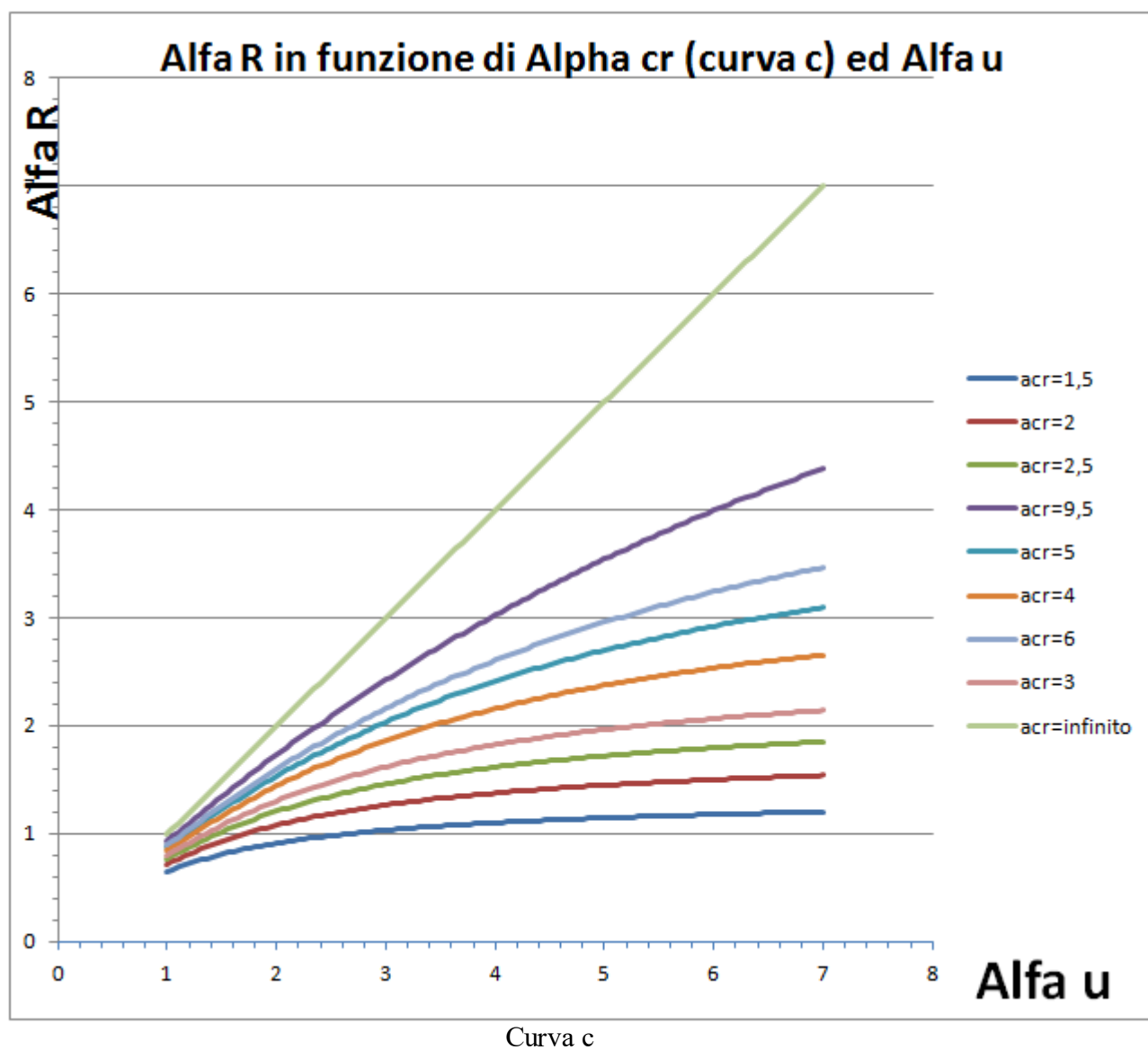


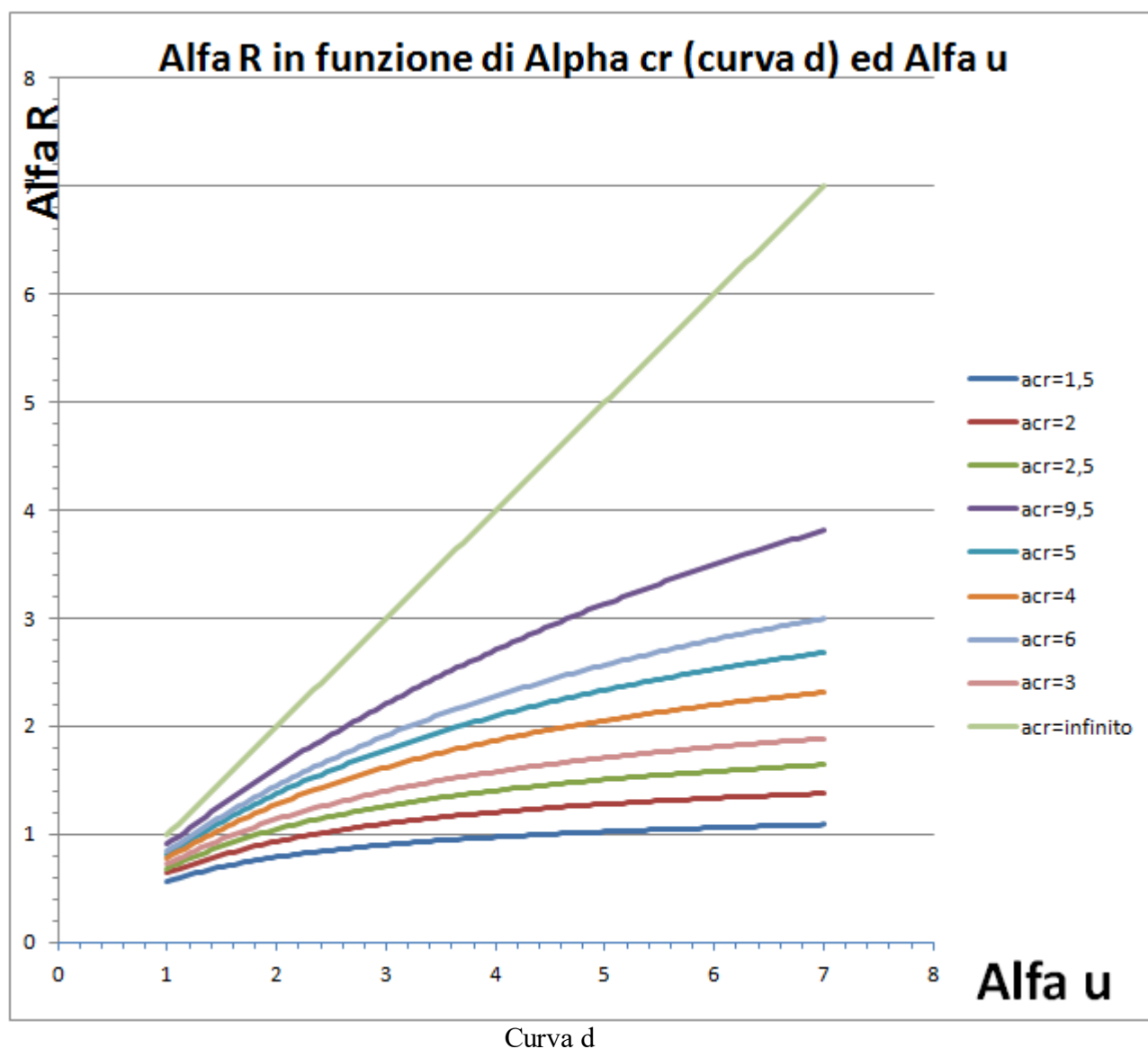


Nella precedente figura, ad esempio, si vede il rapporto tra  $\alpha_u$  ed  $\alpha_R$  per valori diversi di  $\alpha_{cr}$  e per la curva a<sub>0</sub>. Come si vede sottostimare  $\alpha_u$  porta anche a sottostimare  $\alpha_R$ , il che è a favore di sicurezza. Nelle figure successive vengono riportati gli analoghi abachi per le curve di stabilità a, b, c, e d.









La stima di  $\alpha_u$  può essere fatta in modo semplificato come segue.

Si può considerare il moltiplicatore dei carichi che porta una sezione di qualche elemento (biella o trave) al limite elastico. In tal caso  $\alpha_u = \alpha_l$ , ovvero si raggiunge il primo snervamento di qualche elemento. In tal caso, usando un criterio semplificato  $|N/A| + |M_2/W_2| + |M_3/W_3| = f_y$ .

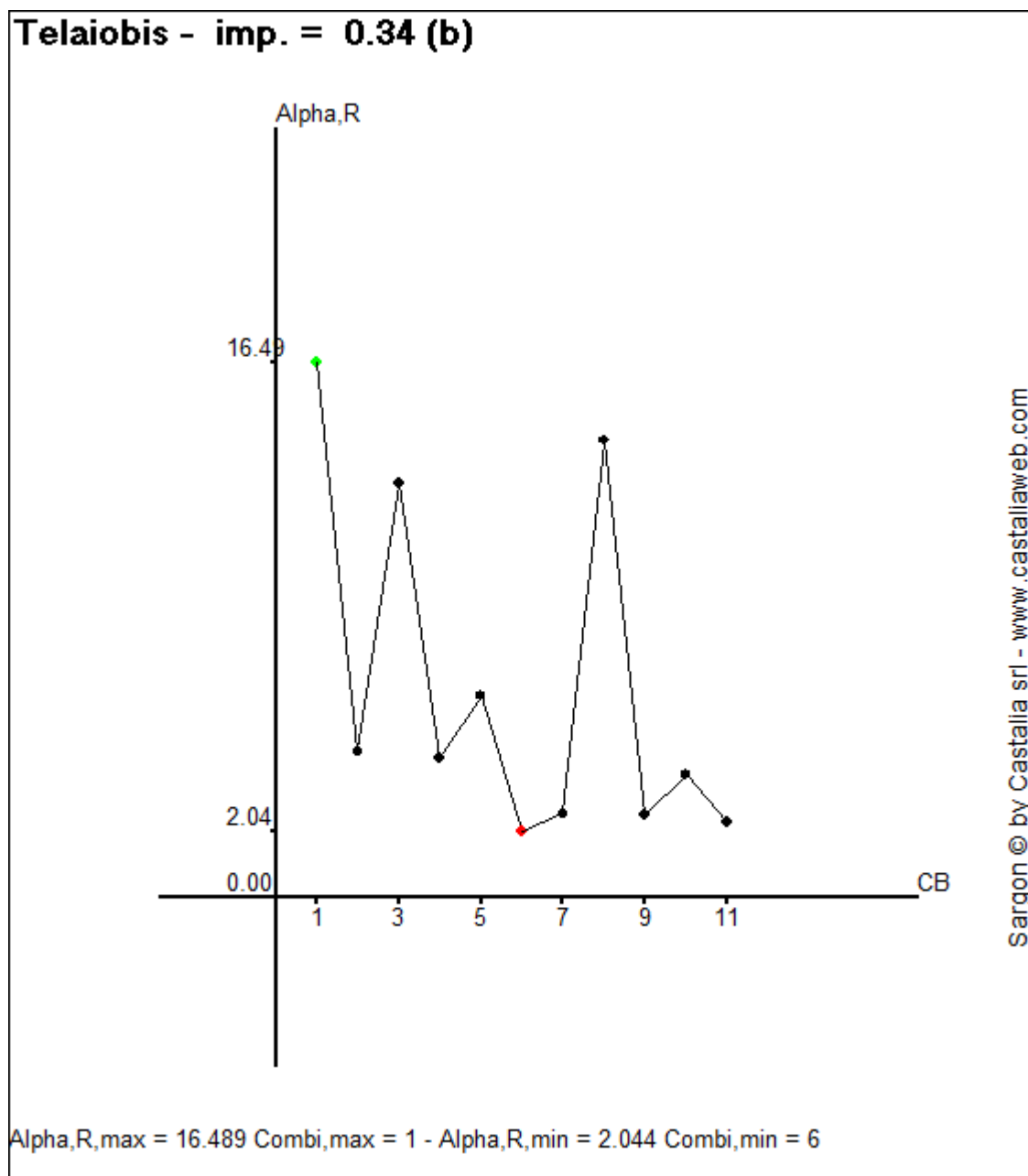
Oppure si può considerare il moltiplicatore dei carichi  $\alpha_{ly}$  che porta una sezione di qualche elemento alla piena plasticizzazione, ed in tal caso  $|N/A| + |M_2/W_{2,pl}| + |M_3/W_{3,pl}| = f_y$ .

In altri casi  $\alpha_u$  può essere valutato mediante considerazioni basate su analogie come la stessa normativa prevede (§7.4.3.2., §7.5.2.2, ecc.) facendo variare  $\alpha_u/\alpha_l$  da 1,0 a 1,3.

I ragionamenti fatti si qui per una generica combinazione, *devono essere ripetuti per tutte le combinazioni*. Sargon, a partire dalla versione 10,0 costante appunto di far ciò, mediante un opportuno comando, detto [Metodo Generale](#)<sup>h198</sup>, e posto sotto il menu Post-Buckling.

Dato che una precedente analisi di buckling ha determinato per ogni combinazione "i" il suo (primo) moltiplicatore critico  $\alpha_{cr,i}$ , supposto positivo, il programma è in grado di valutare per ogni combinazione una stima semplificata di  $\alpha_{u,i}$  e quindi per ogni combinazione "i" una stima di  $\alpha_{R,i}$ .

Nella figura seguente si vede un caso studiato mediante tale comando.



Come si vede l' $\alpha_R$  è qui compreso tra 16,49 per la combinazione 1 e 2,04 per la combinazione 6. La verifica è positiva in quanto  $\alpha_R > 1$  (si noti che è stata usata la curva b). Il seguente tabulato, ottenibile mediante il medesimo comando, spiega i calcoli in dettaglio:

-----	
-	-
-	-
General Method	-

-  
-  
- Sargon © by Castalia srl - www.castaliaweb.com -  
-----

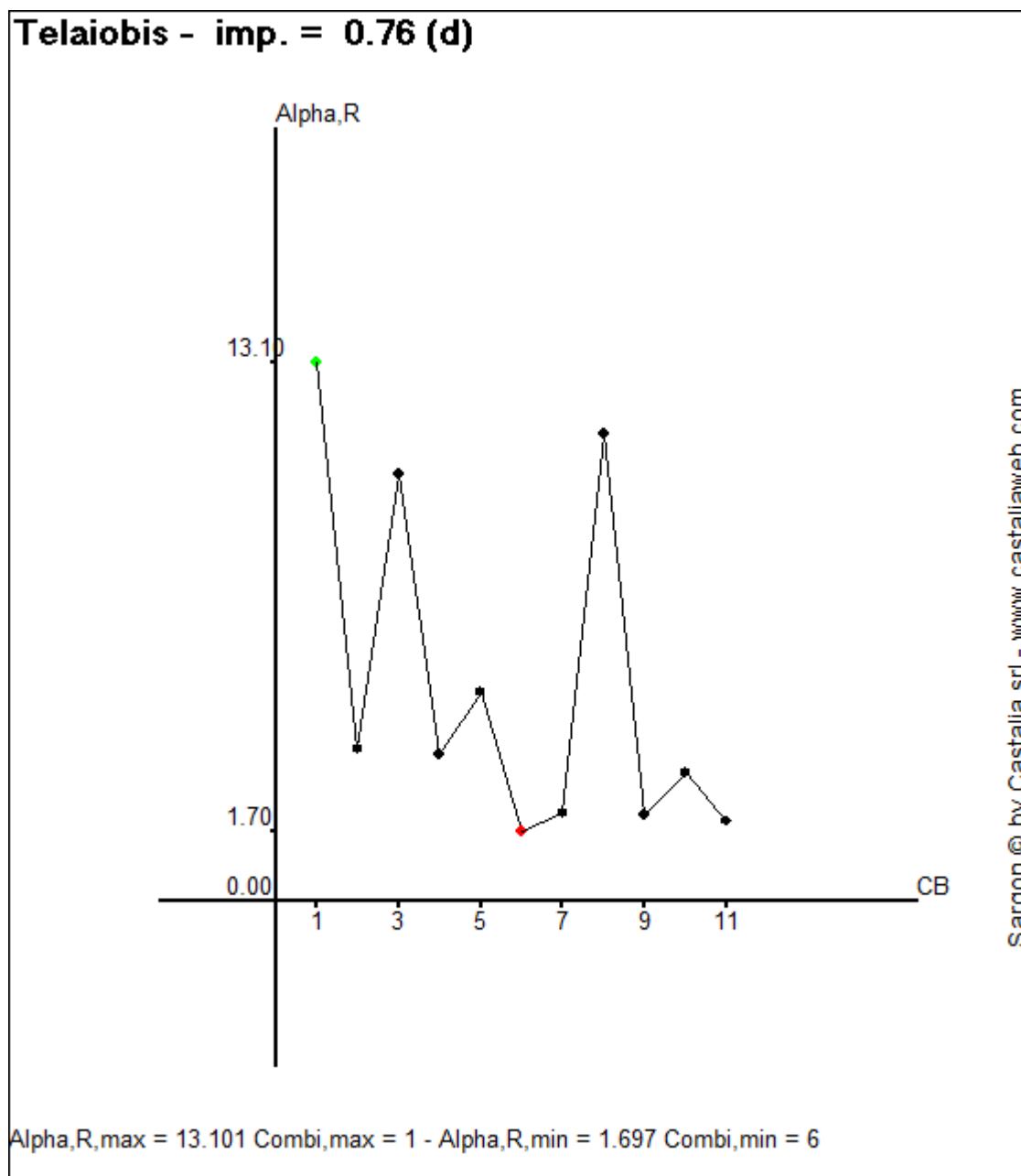
Model name: Telaibobis  
Number of combinations: 11  
Imperfection factor: 0.34

Combi	Alpha,u	Alpha,cr	Lambda,s	X	Alpha,R
1	3.955e+001	2.267e+001	1.321e+000	4.169e-001	1.649e+001
2	1.608e+001	5.615e+000	1.692e+000	2.802e-001	4.506e+000
3	4.021e+001	1.632e+001	1.570e+000	3.178e-001	1.278e+001
4	1.638e+001	5.297e+000	1.758e+000	2.624e-001	4.299e+000
5	2.073e+001	7.857e+000	1.624e+000	3.003e-001	6.224e+000
6	8.084e+000	2.504e+000	1.797e+000	2.528e-001	2.044e+000
7	1.002e+001	3.183e+000	1.775e+000	2.583e-001	2.589e+000
8	4.012e+001	1.842e+001	1.476e+000	3.513e-001	1.409e+001
9	1.013e+001	3.112e+000	1.804e+000	2.510e-001	2.543e+000
10	1.398e+001	4.715e+000	1.722e+000	2.720e-001	3.804e+000
11	9.146e+000	2.871e+000	1.785e+000	2.558e-001	2.339e+000

Combi,min: 6 - Alpha,R,min = 2.044

Se si fosse usata la curva d, si sarebbe ottenuta la immagine seguente, con un moltiplicatore reale massimo pari a 1,70.





Lo studio di queste curve è particolarmente interessante per capire, al di là delle mere apparenze, quali sono le combinazioni di carico potenzialmente più pericolose per una certa struttura.

Prima di eseguire questo comando è bene accertarsi che tutti i primi modi critici di tutte le combinazioni abbiano moltiplicatore critico maggiore o eguale a zero (eseguendo il comando [Interroga](#)<sup>[1197]</sup>). Se ciò non avviene e si hanno uno o più primi moltiplicatori negativi,

per una o più combinazioni, o si cercano moltiplicatori positivi aumentando l'ordine del sottospazio, oppure si deselecta la combinazione, scartandola da quelle indagate.

A partire dalla versione 12.70 sono indicati i risultati relativi ai primi tre moltiplicatori critici.

## 2.25 Come resettare il registro cancellando le chiavi

### COME RESETTARE IL REGISTRO CANCELLANDO LE CHIAVI IN MODO DA RIPIPORTARE L'INTERFACCIA AI DEFAULT

Per resettare le chiavi di registro associate all'interfaccia di Sargon occorre fare le seguenti operazioni (Sargon **non** deve essere in esecuzione).

1. Si apre l'editor del registro di sistema (eseguendo *regedit.exe*).
2. Si cancella la chiave "Workspace" relativa a Sargon, che si trova nel seguente percorso:

```
-->HKEY_CURRENT_USER  
--> Software  
--> Castalia  
--> Sargon  
--> Workspace
```

3. Al successivo avvio di Sargon, verranno ripristinate le impostazioni di default.

## 2.26 Come usare i comandi di validazione

### COME USARE I COMANDI DI VALIDAZIONE

#### Premessa

Per una trattazione dettagliata del problema della validazione si rimanda ai seguenti documenti in formato word nella cartella di installazione di Sargon:

- *Criteri di validazione per Sargon*
- *Chi fa cosa*
- *Checksolvers*

Inoltre, si rimanda alle seguenti sezioni del sito web di Castalia:

- *Area Prodotti - Validazione* ([link](#))
- *Area Servizi - Validazione* ([link](#))

e, soprattutto, al volume

*La Validazione del Calcolo Strutturale*, di Paolo Rugarli, EPC Libri, 2014, che costituisce la base di riferimento.

Sargon dispone di due utili strumenti: il **priming** e il **menu** di comandi dedicato alla **validazione**. Il [priming](#)<sup>[381]</sup> serve ad aumentare il livello di attenzione dell'utente durante la creazione di un modello; il menu [Validazione](#)<sup>[384]</sup> serve a **confrontare in modo automatico** due modelli indipendenti della stessa struttura, al fine di rilevare eventuali differenze, nonché a ottenere ulteriori informazioni che possono essere controllate e verificate direttamente dall'utente stesso.

## PRIMING

Da *La Validazione del Calcolo Strutturale*, Paolo Rugarli, EPC, 2014.

Il *priming* (pre-attivazione o sensibilizzazione) è un importante effetto osservato in una vasta pluralità di casi, che agisce sui processi di tipo 1, e quindi non consciamente. “Negli anni Ottanta gli psicologi scoprirono che essere esposti a una parola determina

cambiamenti immediati e misurabili nella facilità con cui sono evocate molte parole correlate” ([64]).

Il priming è un meccanismo cognitivo generale e riguarda non solo le parole ma anche le esperienze complesse. Ad esempio è stato dimostrato che assentire con la testa (per motivi artificiosi indotti dagli sperimentatori) porta ad essere d’accordo e scuotere la testa in senso di diniego porta a dissentire, così come sorridere (stringendo una matita tra i denti) ad essere gai e far la faccia triste ad essere effettivamente tristi (nesso ideomotorio). Poiché tali esperimenti non sono contestabili, e hanno solide basi statistiche (dato che sono stati fatti su campioni significativi) si resta un po’ smarriti e l’idea che si aveva della singolarità della nostra specie, scema.

Ai fini della validazione, sentirsi sotto controllo può portare a prestazioni migliori di quelle ottenibili in un contesto libero e rilassato (la validazione è una attività stressante). A tale riguardo cito questo interessante esperimento fatto nella cucina di un ufficio di una università britannica, a Newcastle ( Bateson et al. [106], reperibile in rete), e descritto al grande pubblico da Kahneman nel suo best seller *Pensieri Lenti e Veloci*:

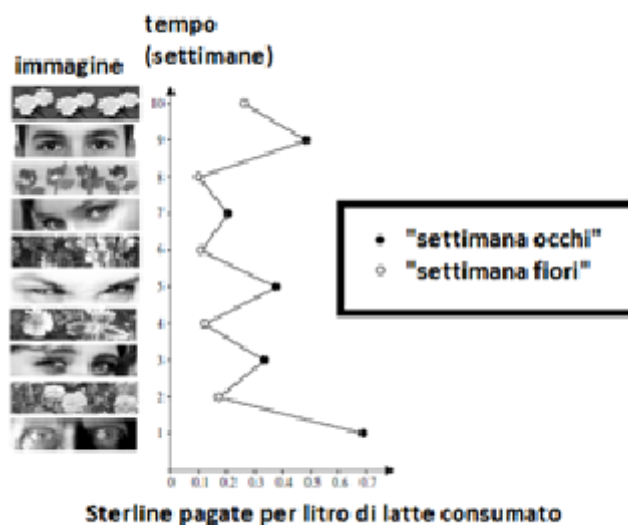


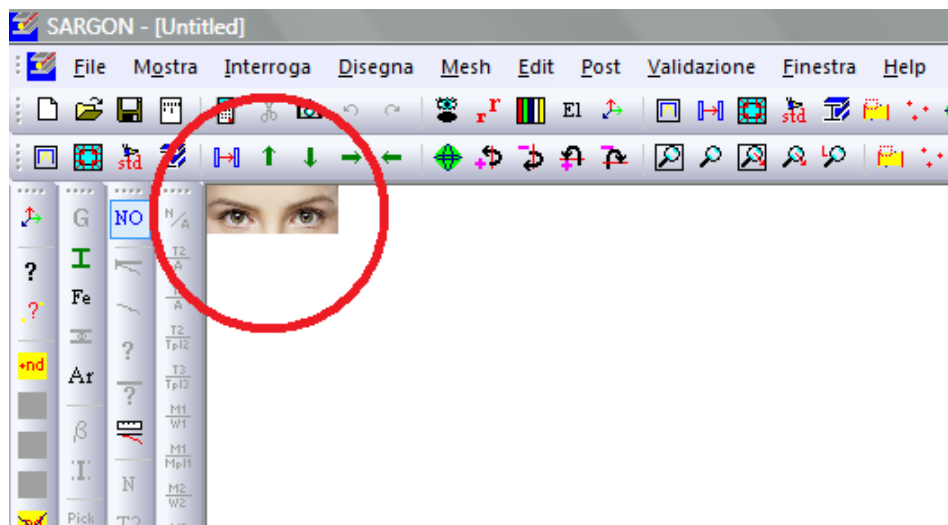
Figura 3.8. Tratto da [106]. Grafico coi gli incassi della “scatola dell’onestà” in funzione dell’effetto priming dato da immagini di fiori e di occhi.

Per molti anni i dipendenti di quell’ufficio avevano pagato il tè o il caffè che prendevano durante il giorno mettendo soldi in una “scatola dell’onestà”. In ufficio era affisso l’elenco dei prezzi raccomandati. Un giorno, senza alcun preavviso o spiegazione, sopra quell’elenco fu attaccato un

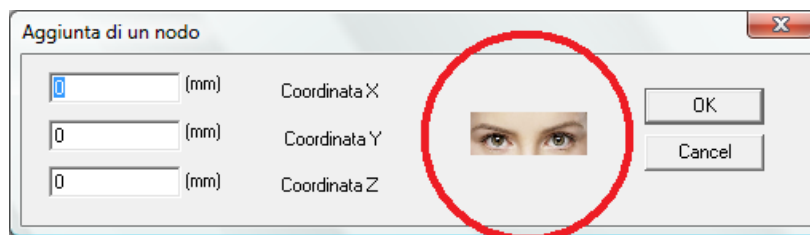
tabellone al quale venne affissa ogni settimana, per dieci settimane, un'immagine diversa. Nello specifico, vennero sostituite alternativamente rappresentazioni di fiori e immagini di occhi che parevano scrutare direttamente l'osservatore. Nessuno commentò il nuovo elemento d'arredo, ma i contributi alla scatola dell'onestà cambiarono significativamente. I poster e la somma che gli impiegati mettevano nella scatola dei soldi (relativamente alla quantità che consumavano) sono mostrati nella figura [3.6]. E meritano un'attenta analisi. La prima settimana dell'esperimento (come si vede alla base del diagramma), due occhi spalancati fissavano i bevitori di tè o caffè, il cui contributo medio era di 70 pence per litro di latte. La seconda settimana, quando venne installato il poster dei fiori, i contributi medi scendevano a 15 pence. Il trend continuava. In media, gli utenti della cucina versarono nelle "settimane degli occhi" quasi il triplo dei soldi che diedero nelle "settimane dei fiori". Sembrava che bastasse suggerire loro simbolicamente che erano osservati perché migliorassero il comportamento. Come si può immaginare, l'effetto si verificava senza che nessuno ne fosse consapevole. Ci credi, adesso, che anche tu rientreresti nello stesso modello di comportamento? [Kahneman, 64].

Questo esperimento è molto significativo anche per noi, tanto significativo che ho deciso di aggiungere ai miei programmi più importanti una opzione di "priming" che accluda gli occhi che scrutano (vari esemplari da alternarsi) come immagine da far apparire in posizioni strategiche sullo schermo o nei dialoghi, o in certi momenti di particolare importanza, come alla esecuzione di una selezione o della assegnazione di un carico. Ciò al fine di indurre nell'analista un effetto priming che lo porti ad essere più attento, con l'effetto finale che potrebbe essere simile a quello della figura 3.8.

Il priming è presente nella vista di Sargon e nei dialoghi che richiedono l'introduzione di dati fondamentali o comunque molto importanti. E' possibile attivare o disattivare il priming nella vista grafica attraverso il comando **File-[Impostazioni](#)**<sup>[613]</sup>. L'immagine del priming nella vista cambia ogni giorno con ciclo di tre giorni.



Il priming nei dialoghi, invece, è fisso e non disattivabile. E' presente nei dialoghi in cui vanno definiti dati delicati, quali coordinate, lunghezze, azioni, vincoli, fattori di sicurezza, ecc.



## MENU VALIDAZIONE

Sargon dispone di un menu chiamato [Validazione](#) <sup>[1330]</sup> in cui sono presenti comandi che servono a creare **informative** e **targhe** dei modelli o di parti di essi. In entrambi i casi vengono create delle impronte, banali nel primo caso, non banali nel secondo.

Da *La Validazione del Calcolo Strutturale*, Paolo Rugarli, EPC, 2014.

Per *impronta* di un modello intendo in generale il valore assunto da una certa grandezza funzione dei dati di input o di output del modello, o meglio, usando la terminologia che ho appositamente introdotto nel precedente capitolo, funzione di una o più *caratteristiche* del modello.

Possiamo guardare al modello come a un'entità astratta che viene identificata mediante il controllo di una serie di dati ad essa propri, le *impronte*, le quali lo identificano univocamente. In

analogia a quanto avviene con le persone umane, che sono identificate mediante le impronte digitali, o l'iride, o l'orecchio, un modello può essere probabilisticamente definito (e confrontato) mediante un certo numero di *impronte*, ovvero di dati numerici calcolabili a partire da esso.

Le impronte possono riferirsi a specifiche caratteristiche del modello di calcolo (ad esempio: i vincoli), e in tal caso sono dette *impronte semplici* o *elementari*. L'area logica alla quale si riferiscono le impronte è detta *caratteristica* o "parte del modello". Dunque le impronte semplici si riferiscono a singole parti del modello. Ad esempio la quantità di luogo ideale (1D, 2D e 3D) di un modello è una impronta semplice della geometria dei suoi luoghi ideali.

Impronte che utilizzino informazioni di parti differenti di un modello sono dette *impronte composte*. Ad esempio il peso complessivo di un modello è una impronta composta della sua geometria e dei suoi materiali.

Elaborando le impronte semplici relative alle singole caratteristiche del modello, e quelle composte, sarà possibile pervenire alla definizione di una o più *impronte complessive del modello*, che identificano in senso probabilistico il modello allo studio. Le impronte complessive si possono anche indicare, per evitare confusione, come *targhe del modello*.

Un'ulteriore classificazione delle impronte le divide in *impronte banali* ed *impronte non banali*. Le prime sono calcolabili con relativo poco sforzo anche con mezzi di calcolo elementari, mentre le seconde richiedono mezzi di calcolo più elaborati e sono tipicamente destinate a essere calcolate mediante software specifici ed elaboratori di calcolo.

Nota che un'impronta non deve avere necessariamente un chiaro significato fisico, anzi, come vedremo, è possibile ideare impronte di un modello prive di significato fisico riconosciuto ma che però, per come sono costruite, hanno certe elevate capacità descrittive. Allora chiamo *impronte fisiche* impronte che abbiano un chiaro significato fisico alla luce della teoria, e *impronte numeriche* impronte che sono costruite con artifici numerici e che sono prive di un immediato significato fisico.

A differenza delle impronte digitali, che sono di per sé univoche (o meglio: hanno altissima probabilità di esserlo), le impronte semplici di un modello di per sé non lo sono. Ad esempio il peso teorico di un modello strutturale è una sua impronta fisica banale, ma non è univoca, perché due modelli differenti possono pesare allo stesso modo. Oppure, il numero delle combinazioni è un'altra impronta di un modello (numerica banale), ma è possibile che due insiemi di combinazioni siano differenti pur avendo lo stesso numero di combinazioni elementari. Dunque le singole impronte semplici prese non sono sufficienti a identificare un modello. Tuttavia, se viene controllato un numero sufficientemente alto di impronte, o se vengono utilizzate impronte complessive sufficientemente elaborate (funzioni di impronte elementari), diviene sempre meno probabile che il modello che ha le impronte controllate identiche a quelle di un altro modello, o ha le impronte controllate identiche alle impronte che dal modello che stiamo controllando ci aspettiamo, sia non conforme (ovvero sia un modello differente).

Proseguendo nella classificazione delle impronte distinguo tra impronte del modello ideale o *impronte ideali*, ed impronte del modello attuale, o *impronte attuali*. Ad esempio il peso di un modello è una impronta fisica ideale, mentre il volume medio di ciascun elemento finito è una impronta attuale (dipende dalla discretizzazione). Le impronte ideali non cambiano al variare del modello attuale, le impronte attuali sì. Due modelli attuali che abbiano impronte ideali identiche ma impronte attuali diverse sono due modelli attuali diversi del medesimo modello ideale. Come vedremo non ha senso cercare di verificare l'identità delle impronte attuali su modelli attuali differenti, mentre ha senso identificare per essi le impronte ideali.

Relativamente alla area del modello presa in considerazione distinguo ulteriormente tra *impronte di input*, se riferite al modello di ingresso, ed *impronte di output*, se riferite alla risposta strutturale di quel modello.

Infine, distinguo tra *impronte estensive* e *impronte intensive*, con l'ordinario significato della termodinamica: una impronta estensiva raddoppia se si considera un sistema ottenuto dalla riunione di due sistemi identici, mentre una impronta intensiva resta immutata. Ad esempio il volume è un'impronta estensiva, mentre la massima tensione di Von Mises è intensiva.

Passo ora ad esaminare le proprietà delle impronte. Le impronte sono valori numerici e possono o meno dipendere dal sistema di riferimento adottato per il modello e dalle unità di misura impiegate per descrivere le variabili di base (coordinate, forze, moduli di elasticità, eccetera).

Anziché mettere a punto dubbie e complicate metodologie atte a determinare un sistema di riferimento univoco per un modello di calcolo arrivato da chi sa dove (per esempio prendendo come assi globali gli assi baricentrici e principali dei volumi modellati), a me pare più sensato immaginare che i programmi vengano dotati di comandi utili a cambiare facilmente sistema di riferimento. Per cambiare sistema di riferimento gli assi devono ruotare e traslare. Le operazioni da compiere sono abbastanza immediate e quindi non dovrebbe essere un problema che un tale comando (cambia sistema di riferimento al modello) diventi un comando standard.

Le impronte possono essere adimensionali, o, se dimensionali, devono essere espresse in un ben preciso sistema di unità di misura, che deve essere una specifica della impronta.

La introduzione delle impronte è stata fatta per uno scopo ben preciso, in vista di alcuni tipici problemi della validazione di modelli:

1. Dati due modelli attuali A e B dimostrare che A è identico a B.
2. Dato un modello attuale A ed un modello ideale I, dimostrare che il modello attuale A è coerente con il modello ideale I.
3. Dati due modelli attuali diversi A e B comprendere perché sono differenti.

Come si vedrà nel corso del lavoro, le attività 1,2 e 3 possono essere molto onerose per l'analista, e quindi in generale verrà del tutto spontaneo utilizzare mezzi di calcolo opportunamente allestiti al fine di automatizzare questo lavoro. Una parte di questo testo è infatti dedicata a descrivere procedure di controllo *automatico* che siano in grado di svolgere parte dei



controlli. Naturalmente se e quando sarà possibile controllare un modello in modo semplice, ottenendo un certo grado di probabilità che i controlli siano sufficienti, non rinunceremo ad avvalerci di tale sistema, ma non pare neppure sensato rinunciare ad impiegare procedure automatiche che, se opportunamente progettate, possono rapidamente condurre o al medesimo risultato o, meglio ancora, ad un risultato più sicuro perché basato su probabilità di errore ancora minori. Comunque questa discussione sarà ripresa al cap. 10, dedicato agli *esocontrolli*. Dico sin da subito che i controlli di impronte automatici sono uno strumento nelle mani di una testa pensante ma non si possono in alcun modo sostituire ad essa.

Nella discussione che vede alcuni colleghi saldamente ancorati alle quattro operazioni ed altri tenacemente fautori delle procedure di calcolo più complesse, io penso che entrambi gli approcci siano meritevoli di attenzione, ma certo non è possibile sostenere che le quattro operazioni o l'intuito siano sempre sufficienti a controllare un modello in modo efficace.

Se è vero che l'attività di validazione è oggi in qualche misura un'*arte*, è anche vero che la disponibilità di procedure standardizzate ed automatizzate renderebbe un grande servizio senza nulla togliere alla possibilità di mantenere una quota parte del lavoro di validazione in un ambito più intuitivo. Dato che questo lavoro è un tentativo di inquadramento generale della materia, manterrò entrambi i punti di vista.

Le [informative](#)<sup>[387]</sup> contengono dati e informazioni sul modello che l'utente può verificare di persona, mentre le [targhe](#)<sup>[389]</sup> sono file "criptati" che contengono una descrizione completa e univoca del modello. Le targhe servono a confrontare in modo automatico modelli della stessa struttura realizzati separatamente e in modo indipendente, anche con programmi diversi. Di seguito sono ampiamente descritte le informative e le targhe.

## Le informative

Si tratta di *impronte banali*. Ovvero di grandezze numeriche che è facile tirare fuori con le 4 operazioni e che possono essere ottenute abbastanza facilmente con l'aiuto di una calcolatrice da tasca o di un foglio di lavoro.

Un'informativa è costituita dalle seguenti sezioni.

- **Mesh info:** informazioni sulla mesh.

- **Ideal Loci without assigned properties (rounded sum):** informazioni sui luoghi ideali degli elementi finiti.
- **Constraints:** informazioni sui vincoli.
- **Material vector & assigns:** informazioni sui materiali e sulla loro assegnazione agli elementi finiti.
- **Cross section vector & assigns:** informazioni sulle sezioni e sulla loro assegnazione agli elementi finiti.
- **Cross section modifiers (beams and trusses):** informazioni sui modificatori delle forme sezionali.
- **Beam orientation:** informazioni sull'orientazione degli elementi beam.
- **Beam End releases:** informazioni sugli svincoli delle travi.
- **Semi rigid joints of beam elements:** informazioni sui nodi semirigidi.
- **Connection codes of beam elements:** informazioni sui segni di connessione degli elementi beam.
- **Masses:** informazioni sulle masse.
- **Load cases:** informazioni sui casi di carico.
- **Combinations (active set):** informazioni sulle combinazioni dell'insieme (combiset) attivo.
- **Actions assigned (overall sum of all load cases, here sum of rounded):** informazioni sulle azioni applicate (somma di tutti i casi di carico).
- **Action assigned: individual load cases (here sum of rounded):** informazioni sulle azioni dei singoli casi di carico.

## Le targhe

La targa è, metaforicamente, il DNA di un modello agli elementi finiti. Se si confrontano targhe di modelli della stessa struttura realizzati in modo del tutto indipendente (da utenti diversi, eventualmente utilizzando programmi diversi), l'uguaglianza tra due targhe implica un'elevata probabilità di assenza di differenze tra i modelli confrontati. E' infatti poco probabile che due modelli creati indipendentemente possano avere targhe eguali essendo differenti.

Se il confronto automatico delle targhe evidenzia differenze significative tra i due modelli, ciò è indice del fatto che i due modelli sono differenti. Sarà quindi possibile andare a indagare in modo mirato per capire le cause delle differenze e individuare eventuali errori commessi in uno o nell'altro modello.

In termini pratici, una targa è un file alfanumerico in cui tutte le informazioni relative ai dati di un modello vengono opportunamente combinate e rielaborate per dare origine a pochi numeri significativi che Sargon può utilizzare per confrontare in modo automatico due modelli creati indipendentemente l'uno dall'altro.

Alcuni dati sono **immediati**, come ad esempio il **numero totale dei nodi** di un modello o il numero totale di elementi beam. Altri dati invece sono molto più **complessi**, come ad esempio quelli legati al **luogo ideale** di tutti gli elementi beam di un modello, dipendente dalla presenza di decine, centinaia o migliaia di elementi finiti, dalla loro posizione e orientazione nello spazio, dalle loro proprietà, ecc. Sargon traduce tutte queste informazioni in un unico dato "criptato", che un essere umano non è in grado di interpretare, perché privo di senso fisico, ma che il programma è in grado di confrontare con l'equivalente dato ottenuto su un altro modello. L'uguaglianza tra i due dati implica l'uguaglianza dei luoghi ideali degli elementi beam nei due modelli. Una differenza tra i due dati è sintomo di diversità tra i due modelli. Lo stesso viene fatto con gli altri tipi di elementi, ma anche con le proprietà sezionali e dei materiali, delle loro assegnazioni agli elementi, nonché con i vincoli e gli svincolo, con i casi di carico, le azioni, le combinazioni.

Poiché quando si crea un modello si introducono inevitabilmente delle approssimazioni nei dati (arrotondamenti, conversioni di unità di misura, ecc.), è importante stabilire quando due dati devono essere considerati uguali. Ad esempio, se la risultante delle azioni applicate in un caso di carico del modello A è pari a 1000kN, mentre per lo stesso caso di carico il modello B ha una risultante di 999.8kN, devo considerare tali valori come "uguali" oppure diversi?

Da un punto di vista ingegneristico, sappiamo che quella differenza potrebbe essere dovuta al fatto che in un modello le azioni sono state definite in Newton al millimetro quadrato, nell'altro invece in chilogrammi al metro quadrato. Nella conversione, si creano piccole differenze dovute agli arrotondamenti, ma presumibilmente non considereremo i due modelli diversi tra loro.

Lo stesso discorso può essere fatto per le coordinate dei nodi, per le dimensioni di una forma sezionale, ecc. Per stabilire se due dati siano da considerarsi uguali o diversi, l'utente stabilisce il numero di **cifre significative** da confrontare per le varie grandezze.

Per il numero di nodi, di elementi beam, di elementi piastra, ecc. il confronto è tra numeri interi che non vengono arrotondati: se un modello ha 1500 nodi e l'altro 1501, viene rilevata una differenza (e starà poi all'utente capirne la causa).

Nel caso dei luoghi ideali degli elementi della struttura, delle masse totali o delle risultanti delle azioni, il confronto è invece su grandezze influenzate dal numero di cifre significative chieste dall'utente. Tornando all'esempio precedente, se confrontiamo due modelli simili, in cui la risultante del primo caso di carico sia 1000kN per un modello e 999.8kN per l'altro, verrà rilevata una differenza solo se il numero di cifre significative utilizzato per le azioni nelle due targhe è maggiore di 3. Con tre cifre significative, infatti, entrambe le targhe riporteranno una risultante di 1000kN e ci sarà quindi uguaglianza. **Sta all'utente stabilire il numero ottimale di cifre significative per ciascuna grandezza, in relazione al problema allo studio e al livello di tolleranza desiderato nel valutare l'uguaglianza di due modelli.** Non è in ogni caso sensato confrontare due targhe che per una stessa grandezza utilizzino numeri di cifre significative diverse.

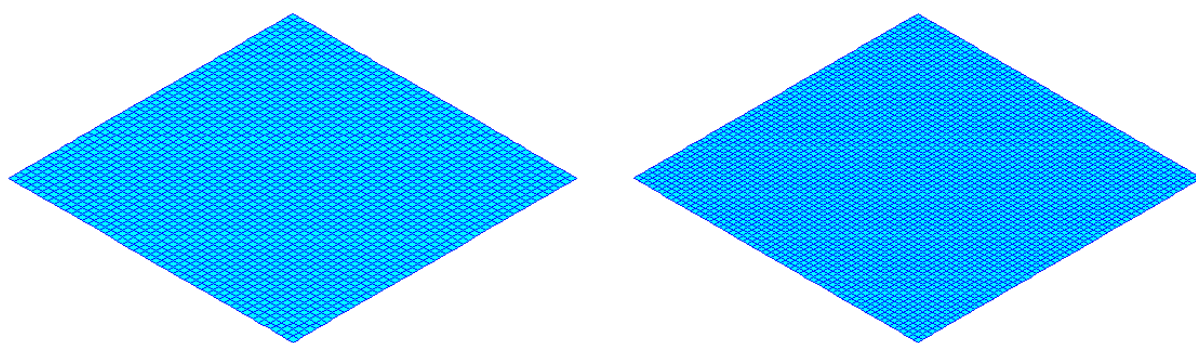
Lo stesso vale per i luoghi. Se ad esempio nei modelli si introducono dati leggermente diversi relativamente allo spessore di determinati elementi plate (differenze legate alla conversione, ecc.) la differenza verrà rilevata solo oltre un certo numero di cifre significative.

Analogamente, per il luogo ideale degli elementi truss, se le coordinate dei nodi sono leggermente diverse a causa di approssimazioni nella definizione dei dati, si dovranno ridurre opportunamente le cifre significative se si vuole che tali approssimazioni siano trascurate. Riducendo troppo il numero di cifre significative, il confronto non risulterà significativo.

I valori scritti in una targa sono riassumibili in:

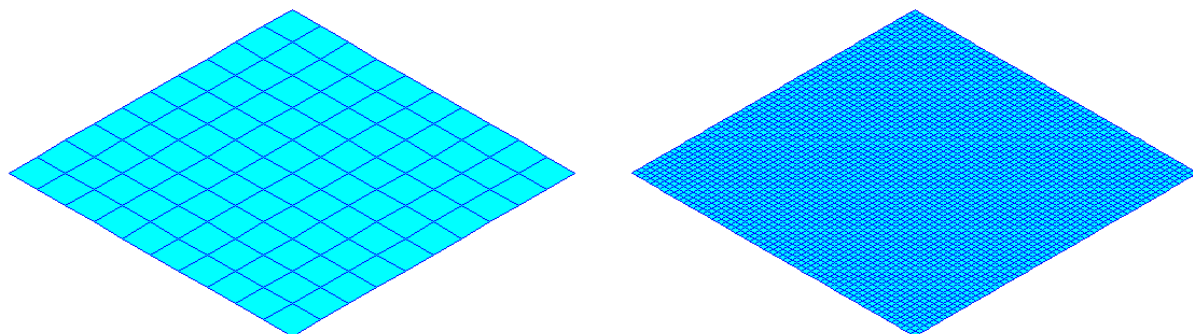
- numero di oggetti di ciascuna tipologia (n° nodi, n° beam, n° truss, n° piastre, n° membrane, n° solidi, n° molle);
- numero di gradi di libertà del modello;
- impronte del luogo ideale dei vari elementi divisi per tipologia (beam, truss, membrane, ecc.);
- impronte dei vettori delle proprietà (materiali, sezioni, proprietà di piastre e membrane);
- impronte della assegnazione delle proprietà ai vari elementi;
- impronte della orientazione degli elementi beam;
- impronte della assegnazione di vincoli e svincoli;
- impronte del vettore dei casi di carico;
- impronte dei risultanti dei casi di carico (escluso il termico);
- impronte del vettore delle combinazioni;
- impronte delle masse nodali.

Una differenza in un dato non implica necessariamente che i modelli non siano confrontabili o che vi siano "errori". Prendiamo un esempio molto semplice: chiediamo a due utenti di modellare una piastra quadrata appoggiata su quattro lati, utilizzando elementi plate-shell a 4 nodi, possibilmente quadrati. Un utente potrà modellare la piastra con una discretizzazione di 50x50 elementi plate, l'altro utilizzerà 60x60 elementi plate. Il **numero totale di elementi plate** sarà inevitabilmente **diverso** ma, se i due non hanno commesso errori di definizione dei dati, **i luoghi degli elementi plate saranno uguali**. Poiché l'ordine di grandezza della discretizzazione è molto simile, **potremo considerare simili i due modelli**.



Mesh di 50x50 elementi (a sinistra) e mesh 60x60 (a destra)

Se invece le due mesh fossero rispettivamente di 10x10 elementi e di 60x60 elementi, pur essendoci uguaglianza tra i luoghi, sarebbe opportuno considerare diversi i due modelli, perché la risposta flessionale del modello con discretizzazione meno fitta, a causa del [locking](#)<sup>273</sup>, sarebbe diversa da quella del modello con discretizzazione maggiore.



Mesh di 10x10 elementi (a sinistra) e mesh 60x60 (a destra)

Naturalmente questo semplice esempio sarebbe verificabile anche senza l'ausilio di strumenti automatici, che invece diventano molto importanti in caso di modelli reali, anche molto complessi, in cui il confronto automatico può darci indicazioni generali sulla similitudine tra modelli e, in caso di differenze rilevate, permette di individuare l'area in cui tali differenze si manifestano (diversa orientazione degli elementi beam, differente risultante delle azioni di un caso di carico, assegnazione di svincoli errati o mancata assegnazione degli stessi, ecc.).

In casi reali, magari complessi, sarà difficile che confrontando due modelli indipendenti della stessa struttura ci sia un match completo di tutti i valori, anche qualora nessun modello sia affetto da differenze rilevanti. Come visto nell'esempio precedente, possono esserci differenze spiegabili e accettabili. L'uso degli strumenti automatici serve ad avere

un'idea chiara delle similitudini e delle differenze, localizzando queste ultime per un approfondimento ulteriore.

Si ribadisce che il concetto di uguaglianza (o somiglianza) tra due modelli dipende dalla tolleranza desiderata, definita tramite il numero di cifre significative che devono essere confrontate per ciascuna grandezza.

Di seguito viene mostrato un esempio di *targa*. Il primo blocco mostra la struttura della targa; il secondo (compreso tra le stringhe `_STRUCTFOOTPRINT` ed `_ENDSTRUCTFOOTPRINT`) ha la stessa struttura, ed è riempito con i valori relativi al modello. La struttura non è fissa, ma dipende dal numero di casi di carico presenti. I dati sono espressi in formato esadecimale.

```

0  Number of significant digits used for signatures
1  IN0                IN1                IN2                IN3D
2  Ia0D1D             Ia2D3D             IaRIG              Ia1DRig
3  Ia0Dxyz            Ia1Dxyz            Ia2Dxyz            Ia3Dxyz
4  IMaterials         IAssignDefMaterials  IAssignRigMaterials ---
5  ICrossSections     IAssignCrossSections  IBeamOrientation   ICrossSectionModifiers
6  IMThicknesses      IPThicknesses          IAssignMThicknesses IAssignPThicknesses
7  IaWinklerB         IaWinklerP              ---                ---
8  -----            -----            IAssignSpringT      IAssignSpringR
9  IaConstraints      IaEndReleases          IaSemirigid         ---
10 ILoadCases         ICombinations          IaTotActions         IaMasses
11 LoadCase 1        LoadCase 2             LoadCase 3          LoadCase 4
12 LoadCase 5        LoadCase 6             LoadCase 7          LoadCase 8
..... up to MAX 120 load cases .....

_STRUCTFOOTPRINT
0  00000004 00000004  00000004 00000004  00000004 00000004  00000004 00000000
1  000005E1 0000007E  00000330 00000DC4  00000000 00000000  00000000 00002106
2  69CA4AF5 F0657463  9E661180 9B184409  416A9148 F061ECC8  429EF026 F061ECC8
3  7EC112EE E412BA93  B86D5E68 E412B813  B86D5E68 E412B813  B86D5E68 E412B813
4  30E72AB0 00000000  EEA5115C FFFFFFFF  EEA5115C FFFFFFFF  00000000 00000000
5  57F18A3C 01154697  E1B579A0 904AE04E  C6382696 192ADCA3  EEA5115C FFFFFFFF
6  0012DB34 0012DB60  0012DB34 0012DB60  00000000 00000000  00000000 00000000
7  B86D5E68 E412B813  B86D5E68 E412B813  00000000 00000000  00000000 00000000

```

```

 8  00000000 00000000 00000000 00000000 7BAB25BE E412BB45 7BAB25BE E412BB45
 9  F78638FD E412BB1E 4DCF7642 38D7327F B86D5E68 E412B813 00000000 00000000
10  01B75755 00000000 000027FB 00000000 DF1BF37F 29CCF5A1 D199F6AD 3D982EC2
11  DF0F70F8 E42306AC 9DAED8E2 E41D164C C78B268D E41CDBE6 89A822CF E41D7CDC
12  E33D5772 40080AFF 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000
_ENDSTRUCTFOOTPRINT

```

Quando vengono automaticamente confrontate due targhe, ciascun dato della targa del modello A viene confrontato con il corrispondente dato della targa del modello B. Se sono diversi, verrà segnalato un "mismatch".

#### *Targa modello A*

```

...
12  E33D5772 40080AFF 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000
...

```

#### *Targa modello B*

```

...
12  E33D5413 50151BDD 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000
...

```

Se andiamo a vedere a cosa corrisponde il primo valore della riga 12, capiamo che c'è una differenza nel caso di carico 5. Il programma confronta in modo automatico tutti i dati, quindi stampa un riepilogo di tutte le corrispondenze (matches) e di tutte le differenze (different). Di seguito è riportato un esempio di file di confronto tra due modelli.

```

Number of nodes: matches
Number of spring: matches
Number of trusses: matches
Number of beams: matches
Number of membranes: matches
Number of plates: matches
Number of solid: matches
Number of degrees of freedom: matches
Ideal locus of translational spring: matches

```



Ideal locus of rotational spring: matches  
Ideal locus of trusses: matches  
!!! Ideal locus of Bernoulli beam: different  
Ideal locus of Timoshenko beam: matches  
Ideal locus of rigid trusses: matches  
Ideal locus of rigid beams: matches  
Ideal locus of trusses rigid-offsets: matches  
Ideal locus of beams rigid-offsets: matches  
Ideal loci of springs Ix (coords Y, Z): matches  
!!! Ideal loci of springs Iy (coords X, Z): different  
Ideal loci of springs Iz (coords X, Y): matches  
!!! Ideal loci of springs Ixy (coords X, Y): different  
Ideal loci of springs Iyz (coords Y, Z): matches  
Ideal loci of springs Izx (coords Z, X): matches  
Materials vector: matches  
Material assignment of deformable elements: matches  
Material assignment of rigid elements: matches  
Cross-sections vector: matches  
Cross section assignment: matches  
!!! Beam orientation: different  
Beam orientation: Ix (coords Y, Z): matches  
Beam orientation: Iy (coords X, Z): matches  
Beam orientation: Iz (coords X, Y): matches  
!!! Beam orientation: Ixy (coords X, Y): different  
!!! Beam orientation: Iyz (coords Y, Z): different  
Beam orientation: Izx (coords Z, X): matches  
Cross section modifiers: matches  
Translational springs assignment: matches  
Rotational springs assignment: matches  
End releases assignment: matches  
Semi rigid assignment: matches  
!!! Constraints assignment: different  
Ideal loci of point times constraint code: Ix (coords Y, Z): matches  
!!! Ideal loci of point times constraint code: Iy (coords X, Z): different  
Ideal loci of point times constraint code: Iz (coords X, Y): matches

```

Ideal loci of point times constraint code: Ixy (coords X, Y): matches
Ideal loci of point times constraint code: Iyz (coords Y, Z): matches
Ideal loci of point times constraint code: Izx (coords Z, X): matches
Load case vector: matches
!!! Overall actions (no thermal): different
Overall masses: matches
Combination vector light footprint: matches

```

Consideriamo, ad esempio, il confronto tra il numero di nodi del modello A e il numero di nodi del modello B; potremo avere una delle due condizioni seguenti:

```
Number of nodes: matches
```

oppure

```
!!! Number of nodes: different
```

Nel primo caso, il numero di nodi del modello A è uguale al numero di nodi del modello B; nel secondo caso è stata riscontrata una differenza.

La esatta descrizione del modo in cui la targa viene creata esula dagli scopi di questa guida. Approfondimenti significativi relativi alle impronte ed alle targhe sono disponibili nel volume *La validazione del calcolo strutturale*, di Paolo Rugarli, pubblicato da EPC nel 2014.

### 2.26.1 Legenda dell'informativa

#### LEGENDA DELL'INFORMATIVA

##### Mesh info

NBeam	Numero degli elementi beam snelli nel modello (B, Bernoulli beam).
NTruss	Numero degli elementi biella nel modello.

NMembrane	Numero di elementi membrana nel modello
NPlateThin	Numero di elementi con formulazione di piastra sottile nel modello.
NPlateThick	Numero di elementi con formulazione di piastra spessa nel modello.
NSolid	Numero di elementi solidi nel modello.
NSpring	Numero di elementi molla nel modello.
NPlateThinWink	Numero di elementi di piastra sottile su suolo elastico nel modello.
Formulazione di Winkler.	
NPlateThickWink	Numero di elementi di piastra spessa su suolo elastico nel modello.
Formulazione di Winkler.	
NMembrane3	Numero di elementi membrana a 3 nodi nel modello.
NMembrane4	Numero di elementi membrana a 4 nodi nel modello.
NPlate3	Numero di elementi piastra a 3 nodi nel modello.
NPlate4	Numero di elementi piastra a 4 nodi nel modello.
NOffsets	Numero di offset rigidi assegnati a nodi di elementi
MinDistNodes100	Minima distanza tra i nodi in centesimi di millimetro.

### **Ideal Loci without assigned properties (rounded sum)**

#### **1D**

Lnom1D	Lunghezza in mm dei luoghi nominali degli elementi 1D (bielle e travi).
LdefBB	Lunghezza in mm dei luoghi deformabili degli elementi <i>beam</i> alla Bernoulli (trave snella).
LdefBT	Come sopra, ma degli elementi beam alla Timoshenko (trave tozza).
LdefT	Lunghezza in mm dei luoghi deformabili degli elementi <i>biella</i>
LdeflDTot	Lunghezza totale dei luoghi deformabili degli elementi beam e truss (mm).
LrigBTot	Lunghezza totale degli offset rigidi degli elementi beam (mm).

BBnomIX	Momento di inerzia dei luoghi nominali degli elementi beam alla Bernoulli, rispetto all'asse globale X, in $\text{cm}^3$ . In pratica ogni lunghezza infinitesima di luogo viene moltiplicata per $(Y^2 + Z^2)$ , e tutti i contributi degli elementi sommati. Infine arrotondati.
BBnomIY	Lo stesso, ma momento di inerzia rispetto all'asse globale Y $(X^2 + Z^2)$ .
BBnomIZ	Lo stesso, ma momento di inerzia rispetto all'asse globale Z $(X^2 + Y^2)$ .
BBnomIXY	Lo stesso, ma momento di inerzia centrifugo rispetto agli assi X e Y $(XYdL)$ .
BBnomIYZ	Lo stesso, ma momento di inerzia centrifugo rispetto agli assi Y e Z $(YZdL)$ .
BBnomIZX	Lo stesso, ma momento di inerzia centrifugo rispetto agli assi Z e X $(XZdL)$ .
BBrigIX	In questo caso si usano come luoghi i segmenti degli offset rigidi degli elementi beam alla Bernoulli. Si sommano i contributi degli offset a entrambi gli estremi. Se a un estremo non c'è offset, non se ne tiene conto. Momento di inerzia secondo asse globale X.
BBrigIY	Momento di inerzia secondo asse globale Y.
BBrigIZ	Momento di inerzia secondo asse globale Z.
BBrigIXY	Momento di inerzia centrifugo.
BBrigIYZ	Momento di inerzia centrifugo.
BBrigIZX	Momento di inerzia centrifugo.
TnomIX	Si tratta di impronte analoghe alle precedenti ma relative ai soli elementi truss.
TnomIY	"
TnomIZ	"
TnomIXY	"
TnomIYZ	"
TnomIZX	"

## Constraints

NNodeConstrained	E' il numero dei nodi che presentano almeno una componente di spostamento vincolata.
NDofConstrained	E' il numero totale dei gradi di libertà vincolati del modello. Se sono presenti maschere di vincolo, i gradi di libertà vincolati corrispondenti entrano nel conteggio.
NNodeClamped	E' il numero dei nodi completamente bloccati nel modello (sei gradi di libertà bloccati).
VolDefTotConstrained	<p>E' il volume totale associato ai vincoli. Questo volume totale associato ai vincoli si ottiene sommando i contributi di tutti i nodi vincolati, e poi arrotondando. Ogni nodo vincolato contribuisce con un termine del tipo Volume x Codice.</p> <p>Il <i>codice</i> è calcolato in modo affine a quanto già visto per gli svincoli. In pratica un numero è associato ai sei gradi di libertà, nel modo seguente:</p>

$$\text{Codice} = T_x + 2T_y + 4T_z + 8R_x + 16R_y + 32R_z$$

dove  $T_x, 2T_y, 4T_z, 8R_x, 16R_y, 32R_z$ , valgono 1 o 0 a seconda che il corrispondente grado di libertà globale (T sta per traslazione, R per rotazione) sia bloccato o libero.

Il *volume* associato al nodo vincolato è la somma dei volumi “tributari” di tutti gli elementi connessi al nodo. Se un elemento che ha  $n$  nodi (di qualsiasi tipo purché esteso: bielle, travi, membrane, piastre o solidi) è connesso al nodo in considerazione, il suo volume tributario è pari al volume dell'elemento diviso per  $n$ .

L'impronta è significativa sia dei vincoli applicati sia della mesh, ed è sensibile al livello di discretizzazione della stessa.

## Material vector & assigns

NMaterials	Numero di differenti materiali nel modello.
------------	---

**NAssumedRigidMaterials**

Numero di materiali assimilabili a (infinitamente) rigidi. Tali materiali hanno convenzionalmente la proprietà di avere  $E$  maggiore di  $10^4$  volte l' $E$  di tutti gli altri materiali (per ogni materiale diverso da loro,  $E > 10^4 E_i$ ). La definizione del fattore  $10^4$  è convenzionale.

Si assume che di materiale rigido ce ne sia solo uno. Potrebbe essere necessario distinguere più materiali rigidi ad esempio per il loro peso specifico. Tuttavia di solito gli elementi “rigidi” sono elementi fittizi ai quali non è associata massa.

**ETotDefMaterials**

Valore totale della somma degli  $E$  (moduli di elasticità di Young) dei materiali non assimilati a rigidi,  $\text{N/mm}^2$ . Nel caso di materiali anisotropi o ortotropi si usa come  $E$  il valor medio degli  $E$  del materiale. E' una impronta dei materiali usati nel modello.

**GTotDefMaterials**

Valore totale della somma dei  $G$  (moduli di elasticità tangenziale) dei materiali non assimilati a rigidi,  $\text{N/mm}^2$ . Nel caso di materiali anisotropi o ortotropi si usa come  $G$  il valor medio dei  $G$  del materiale. E' una impronta dei materiali usati nel modello.

**FyTotDefMaterials**

Somma totale delle tensioni di snervamento dei materiali non assimilati a rigidi,  $\text{N/mm}^2$ . Nel caso in cui, come avviene con l'acciaio, la tensione di snervamento cambi con lo spessore, si usa quella nominale del materiale (ad esempio 235 per S235). E' una impronta dei materiali usati nel modello.

**FuTotDefMaterials**

Somma totale delle tensioni di rottura dei materiali non assimilati a

rigidi,  $\text{N/mm}^2$ .

**LDefETotMaterials**

Arrotondamento della somma dei prodotti della lunghezza deformabile degli elementi monodimensionali (travi snelle e tozze, bielle) per il modulo elastico dei materiali loro assegnati,  $\text{N/mm}$ . E' una impronta dei luoghi e della assegnazione ai luoghi dei materiali.

**SDefETotMaterials**

Arrotondamento della somma dei prodotti della superficie deformabile degli elementi bidimensionali (membrane, piastre sottili e piastre spesse), per il modulo elastico dei

materiali loro assegnati, N. E' una impronta dei luoghi e della assegnazione ai luoghi dei materiali.

VDefETotMaterials

Arrotondamento all'intero della somma dei prodotti dei volumi deformabili degli elementi solidi per il modulo elastico dei materiali loro assegnati, Nmm. E' una impronta dei luoghi e della assegnazione ai luoghi dei materiali.

### Cross section vector & assigns

NCrossSections

Numero di diverse sezioni trasversali usate nel modello.

ATotCrossSections  
(mm<sup>2</sup>).

Area totale delle sezioni trasversali diverse usate nel modello

IminTotCrossSections

Arrotondamento della somma dei momenti di inerzia minimi delle sezioni trasversali usate nel modello, cm<sup>4</sup>. Per momento di inerzia minimo si intende il momento di inerzia della sezione rispetto all'asse principale che comporta la inerzia minima (attenzione: non sempre è il così detto "asse forte", tuttavia in questo modo la definizione è univoca senza bisogno di enumerare gli assi d prendere in funzione dei tipi sezionali). E' una impronta del vettore delle sezioni trasversali usate nel modello.

ImaxTotCrossSections

Come sopra, ma somma dei momenti di inerzia massimi.

WminTotCrossSections

Arrotondamento della somma dei moduli di resistenza elastici "minimi" delle sezioni trasversali usate nel modello, cm<sup>3</sup>. Per moduli di resistenza elastici "minimi" si intende i moduli di resistenza associati agli assi che hanno inerzia minima, non necessariamente i moduli di resistenza minimi.

WmaxTotCrossSections

Come sopra, ma moduli di resistenza massimi.

VolDefTot1D

Volume deformabile totale degli elementi monodimensionali (travi e bielle), cm<sup>3</sup>. E' una impronta sia del vettore delle sezioni che della loro assegnazione agli elementi. Non tiene conto della orientazione degli elementi.

WeiDefTot1D

Peso totale della parte deformabile degli elementi monodimensionali (trave e bielle), N. Anche questa impronta tiene conto delle assegnazione delle sezioni ed

anche delle assegnazioni di materiale, e non tiene conto della orientazione degli elementi.

### Cross section modifiers (beams and trusses)

NCSModifiersA	Numero di modificatori dell'area di elementi monodimensionali (travi e bielle). Il modificatore è un parametro adimensionale che scala l'area dell'elemento a cui è assegnato al fine di modificare il computo della rigidità (in questo caso assiale).
NCSModifiersAmax	Numero di modificatori dell'area di taglio associata all'asse di inerzia massima di elementi monodimensionali (travi e bielle).
NCSModifiersAmin	Numero di modificatori dell'area di taglio associata all'asse di inerzia minima di elementi monodimensionali (travi e bielle).
NCSModifiersJl	Numero di modificatori del momento di inerzia torsionale di elementi monodimensionali (travi e bielle).
NCSModifiersJmax	Numero di modificatori del momento di inerzia associato all'asse di inerzia massima di elementi monodimensionali (travi e bielle).
NCSModifiersJmin	Numero di modificatori del momento di inerzia associato all'asse di inerzia minima di elementi monodimensionali (travi e bielle).

### Beam orientation

OrieVolx	<p>E' il "volume orientato" in direzione X degli elementi trave, <math>\text{mm}^3</math>. Il volume orientato in direzione X di un elemento è il prodotto del volume dell'elemento per la componente in direzione X (dotata di segno) del versore che individua l'asse principale di inerzia massima della sezione assegnata, nello spazio.</p> <p>Ad esempio se l'asse principale di inerzia massima di un elemento di volume <math>1000\text{mm}^3</math>, ha versore <math>\mathbf{v}=(0.1.0.)</math>, allora il volume orientato in direzione X è 0, in direzione Y è 1000 e in direzione Z è zero.</p> <p>In molti casi gli assi principali sono ben orientati rispetto agli assi globali. Sarà dunque semplice con questa impronta</p>
----------	---



(e le gemelle) verificare la corretta orientazione di vasti aggregati.

OrieVoly                      E' una quantità analoga alla precedente ma in direzione Y,  $\text{mm}^3$ .

OrieVolz                      E' una quantità analoga alla precedente ma in direzione Z,  $\text{mm}^3$ .

CSIx

CSIy

CSIz

CSIxy

CSIyz

CSIzx

### Beam End releases

NEndReleasedExtremities    E' il numero delle estremità rilasciate degli elementi trave. Non dipende dal livello di discretizzazione della mesh.

NDofReleased                      E' il numero totale di gradi di libertà rilasciati degli elementi beam. Ad esempio un elemento beam che abbia agli estremi due cerniere flessionali su entrambi gli assi di flessione dà un contributo pari a 4 alla somma totale. Anche questa impronta non dipende dal livello di discretizzazione.

VolDefTotReleased                      Associando a ogni estremo rilasciato la metà del volume dell'elemento pertinente, e moltiplicando per un codice di svincolo opportuno, si ottiene il contributo di ogni estremo svincolato. La somma di tutti i contributi è poi arrotondata e costituisce l'impronta, in  $\text{mm}^3$ . Il codice di connessione è costruito a partire dalla rappresentazione binaria del codice di svincolo: 000000, è il codice associato a un completo ripristino. 000001 è il codice associato al rilascio assiale, 001000 è il codice associato al rilascio torsionale.

Il codice può essere costruito in questo modo (in notazione decimale):

1+            se svincolo assiale presente;    0            + se assente.

2+ se svincolo a taglio asse minimo presente; 0 + se assente.

4+ se svincolo a taglio asse massimo presente; 0+ se assente.

8+ se svincolo torsionale presente; 0 + se assente.

16+ se svincolo flessionale asse minimo presente; 0 + se assente.

32+ se svincolo flessionale asse massimo presente; 0 + se assente.

Ad esempio, se è svincolato sia l'asse di flessione sull'asse minimo sia quello sull'asse massimo, il codice è  $(16+32)=48$ . L'asse minimo e massimo sono rispettivamente quello per cui il momento di inerzia è minimo o massimo.

## Semi rigid joints of beam elements

### NSemirigidSpring

E' il numero degli estremi degli elementi beam ai quali è associato un rilascio semirigido (con rigidezza non nulla). Se ad un estremo è associato più di un rilascio elastico ognuno di essi conta per uno. Ad esempio se ci sono due rilasci elastici, per i due momenti flettenti sugli assi principali, questi contano complessivamente 2.

### VolDefTotSemirigid

Si sommano tanti contributi, uno per ogni grado di libertà locale semi rigido. Ogni grado di libertà contribuisce con un termine del tipo

Volume x Codice x Rigidezza

dove

- ? il volume è la metà del volume dell'elemento deformabile;
- ? il codice si ottiene dalla stessa regola già vista per gli svincoli;
- ? la rigidezza è la rigidezza elastica del grado di libertà semirigido;

## Connection codes of beam elements

### NConnCode

E' il numero degli estremi di elementi trave che presentano un segno di connessione. Il segno di connessione è sempre presente se è definito un rilascio. Ma può essere anche presente se il rilascio non è definito. Il segno di connessione non è una informazione standard, nei programmi agli elementi finiti, e non interferisce con i calcoli statici o dinamici. Lo aggiungo per completezza perché è una informazione fondamentale ai fini della decodifica dei nodi delle strutture in acciaio (e non).

## Masses

MassTotTx  
in Kg.

E' la somma delle masse traslazionali in direzione X del modello,

MassTotTy  
in Kg.

E' la somma delle masse traslazionali in direzione Y del modello,

MassTotTz  
in Kg.

E' la somma delle masse traslazionali in direzione Z del modello,

MassTotRx

E' la somma dei momenti delle masse rispetto all'asse X, in  $\text{Kgcm}^2$ . Si compone di due termini. Un termine somma i contributi delle masse traslazionali Z e Y nel seguente modo:

$$m_y Z^2 + m_z Y^2$$

Un altro termine somma i contributi delle masse rotazionali di nodo, dirette secondo l'asse X.

$$m_{RX}$$

In pratica si tratta degli stessi contributi che si sarebbero computati per le corrispondenti forze peso o momenti delle forze peso, divisi per g.

Così, per ogni nodo a cui sia applicata una massa si ha il contributo

$$m_y Z^2 + m_z Y^2 + m_{RX}$$

MassTotRy In questo caso il contributo è (in Kgcm<sup>2</sup>)

$$m_x Z^2 + m_z X^2 + m_{RY}$$

MassTotRz In questo caso il contributo è

$$m_x Y^2 + m_y X^2 + m_{RZ}$$

### Load cases

NLcases	E' il numero totale dei casi di carico statici inclusi nel modello.
NPerm	E' il numero dei casi permanenti (non gravitazionali).
NGrav	E' il numero dei casi gravitazionali.
NVar	E' il numero dei casi di carico variabile (non ricadenti nelle altre tipologie).
NWind	E' il numero dei casi di carico legati al vento.
NSnow	E' il numero dei casi di carico legati alla neve.
NEarthM	E' il numero dei casi di carico sismici legati ad analisi a spettro di risposta.
NEarthS	E' il numero dei casi di carico sismici legati ad analisi statiche equivalenti (lineari).
NEarthP	E' il numero dei casi di carico legati ad analisi di pushover.
NAcc	E' il numero dei casi di carico accidentali (urti, esplosioni, ecc.).
NTherm	E' il numero dei casi di carico termici.

### Combinations (active set)

NCombi	E' il numero totale di combinazioni nel combi set attivo.
NLinearCombi	E' il numero di combinazioni lineari.
SumFact1000	E' un numero che si ottiene sommando tutti i fattori associati ai casi di carico base, di tutte le combinazioni (la maggior parte di tali fattori è 0). I fattori sono moltiplicati per 1000 e arrotondati all'intero, in questo caso prima di essere sommati. Ad esempio 1.35 conta come 1350.

**MaxFact1000**

Per ogni combinazione si calcola la norma del vettore che dà la combinazione nello spazio dei casi di carico. Ad esempio per una combinazione del tipo 1.35 Caso 1 + 1.5 Caso 3 + 1.05 Caso 5, si ottiene la norma come

$$\sqrt{1,35^2 + 1,5^2 + 1,05^2}$$

tale norma è poi moltiplicata per 1000 ed arrotondata all'intero (2275 nel caso precedente). L'impronta è il massimo valore ottenuto per tale norma arrotondata al variare delle combinazioni.

Questa norma non dipende dalla sequenza con cui sono numerate le combinazioni. Non ha un altissimo valore probatorio, dato che possono esserci combinazioni con norma analoga ma diverse, però è facile da calcolare e può servire a indentificare rapidamente insiemi di combinazioni incompatibili.

**MinFact1000**

variare delle combinazioni.

E' identica alla norma precedente, ma si prende il valore minimo al

**Actions assigned (overall sum of all load cases, here sum of rounded)**

L'algoritmo è

**Somma Sui Casi(Arrotonda(Somma Sulle Azioni di un Caso()))**

**Fx** Risultante complessiva di tutte le azioni agenti in direzione globale X, al variare di tutti i casi di carico, N.

**Fy** Lo stesso ma in direzione Y.

**Fz** Lo stesso ma in direzione Z.

**Mx** Momento complessivo di tutte le azioni applicate in tutti i casi di carico, rispetto all'asse globale X, Nmm.

**My** Come sopra ma momento rispetto all'asse Y.

**Mz** Come sopra ma momento rispetto all'asse Z.

**NodalFx** Impronta simile alle precedenti, ma si considerano solo e soltanto le forze e le coppie applicate ai nodi.

**NodalFy** "

**NodalFz** "

NodalMx	"
NodalMy	"
NodalMz	"
ConcFx	Simile alle precedenti ma si considerano solo le forze o le coppie concentrate applicate all'interno di elementi trave.
ConcFy	"
ConcFz	"
ConcMx	"
ConcMy	"
ConcMz	"
Distr1DFx	Analoga alla precedente ma si considerano solo i carichi distribuiti assegnati agli elementi monodimensionali.
Distr1DFy	"
Distr1DFz	"
Distr1DMx	"
Distr1DMy	"
Distr1DMz	"
Distr2DFx	Simile alla impronta precedente ma relativa ai carichi distribuiti assegnati a elementi bidimensionali.
Distr2DFy	"
Distr2DFz	"
Distr2DMx	"
Distr2DMy	"
Distr2DMz	"
Distr3DFx	Simile alla impronta precedente ma relativa ai carichi distribuiti assegnati a elementi tridimensionali.
Distr3DFy	"
Distr3DFz	"
Distr3DMx	"
Distr3DMy	"
Distr3DMz	"

**Action assigned: individual load cases (here sum of rounded)**

### **Load Case i**

$F_{xi}$	Risultante delle forze in direzione X del caso i-esimo (N)
$F_{yi}$	Risultante delle forze in direzione Y del caso i-esimo (N)
$F_{zi}$	Risultante delle forze in direzione Z del caso i-esimo (N)
$M_{xi}$ (Nmm)	Risultante delle coppie attorno all'asse X del caso i-esimo
$M_{yi}$ (Nmm)	Risultante delle coppie attorno all'asse Y del caso i-esimo
$M_{zi}$ (Nmm)	Risultante delle coppie attorno all'asse Z del caso i-esimo

## **2.27 Come eseguire la verifica di capacità (capacity design)**

### **COME... ESEGUIRE LA VERIFICA DI CAPACITA' (capacity design)**

1. [Brevi richiami](#) <sup>410</sup>
2. [Limiti delle prescrizioni delle normative](#) <sup>413</sup>
3. [Modalità di implementazione in Sargon](#) <sup>422</sup>
  - 3.0 [Premessa e ipotesi di base](#) <sup>422</sup>
  - 3.1 [Definizione e rimozione delle Zone Dissipative](#) <sup>424</sup>
  - 3.2 [Verifiche: criteri generali](#) <sup>425</sup>
  - 3.3 [Verifiche: descrizione passo-passo \(metodo 1\)](#) <sup>426</sup>
  - 3.4 [Verifiche: il tabulato](#) <sup>434</sup>

Copyright © Castalia srl. Autore: Paolo Rugarli.

## **2.27.1 Brevi richiami**

### **1. Brevi richiami**

Le verifiche di capacità, o verifiche di gerarchia delle resistenze, sono verifiche da applicarsi in ambito sismico, quindi hanno senso solo e soltanto se nel modello sono state introdotte e definite delle combinazioni di verifica sismiche nel combiset attivo. Una combinazione è "sismica" se al suo interno è referenziato con un fattore diverso da zero almeno un caso di carico di tipo "SISMA STATICA EQUIVALENTE" o "SISMA MODALE".

Il paradigma che si è andato affermando nelle normative di ultima generazione è che le strutture soggette a sismi di forte intensità devono essere in grado di dissipare l'energia entrante mediante opportuni sistemi dissipativi. Tale dissipazione è spesso assegnata alla plasticizzazione del materiale strutturale, ed ai corrispondenti cicli di carico e scarico. Tali cicli di carico e scarico devono essere stabili, e gli elementi che devono sopportare le plasticizzazioni devono essere in grado di farlo senza che altri fenomeni indesiderati (come la instabilità globale o locale) lo impediscano.

Perché la desiderata dissipazione si possa attivare sono necessari alcuni requisiti fondamentali:

1. Che gli elementi dissipativi siano effettivamente in grado di plasticizzarsi in modo ciclico e che non presentino indesiderati effetti locali atti a impedire la plasticizzazione.
2. Che gli elementi non dissipativi, limitrofi a quelli dissipativi, restino in campo elastico (non dissipativo) tenendo conto delle sollecitazioni plastiche che provengono dagli elementi dissipativi.

Il modello correntemente usato per trattare la plasticizzazione degli elementi è quello elastico perfettamente plastico. Un tale modello è però una semplificazione, dato che il metallo può presentare, e in generale presenta, rami incrudenti che comportano l'attingimento di tensioni



superiori a quelle di snervamento, ed inoltre un comportamento statisticamente non omogeneo: il valore caratteristico della tensione di snervamento, un limite inferiore, non è in questo caso a favore di sicurezza, dato che valori superiori di tensione di snervamento comportano maggiori sollecitazioni per gli elementi non dissipativi limitrofi a quelli dissipativi. Le "azioni plastiche" non possono quindi a favore di sicurezza essere considerate pari a quelle ottenibili con la tensione di snervamento, ma devono essere opportunamente incrementate di un fattore, detto fattore di sovraresistenza  $\gamma_{ov}$ , che tiene conto del possibile incrudimento, e della differenza tra valor medio e caratteristico della tensione di snervamento: tale fattore dipende dal materiale. A tale fattore di sovraresistenza si aggiunge poi un ulteriore fattore di incremento, pari a 1.1, che va considerato come un fattore di sicurezza. Se dunque diciamo  $S_{pl}$  il vettore delle sollecitazioni che portano al limite plastico (ideale perfetto) una certa sezione, gli elementi non dissipativi limitrofi a quello dissipativo dovranno essere verificati per una sollecitazione  $1.1\gamma_{ov}S_{pl}$ . Per dare una idea, con S235  $\gamma_{ov} = 1.2$  mentre con S355  $\gamma_{ov} = 1.1$ . Comunque, come vedremo nella sezione successiva, il problema si complica se di elementi dissipativi connessi ve n'è più d'uno e se le sollecitazioni che portano al limite plastico le diverse sezioni non vengono attinte per lo stesso livello esterno dei carichi applicati.

Nelle schematizzazioni correntemente accettate, vi sono essenzialmente tre tipologie di strutture dissipative per le costruzioni in acciaio:

1. Telai resistenti lateralmente a momento (MRF). In questo caso la dissipazione avviene nelle travi all'interfaccia con le colonne. Le colonne devono rimanere elastiche. Gli elementi dissipativi sono necessariamente elementi beam e non elementi truss.
2. Strutture a controventi concentrici (CBF). In questo caso la dissipazione avviene nelle diagonali tese (e a volte, se lo sbandamento è impedito, anche compresse). Gli elementi dissipativi possono essere beam o truss. *In Sargon si ipotizza che siano elementi truss.*
3. Strutture a controventi eccentrici (EBF). In questo caso la dissipazione avviene nei "link" delle travi di piano. Gli elementi dissipativi devono essere elementi beam e non truss.

Il problema è complicato molto dal fatto che in una unica struttura si possono dare le seguenti condizioni:

- a) Nelle due direzioni ortogonali i sistemi adottati sono differenti (ad esempio MRF in direzione X ed EBF in direzione Y).
- b) La struttura, anche se caricata in una direzione precisa (ad esempio X) induce azioni anche nei controventi progettati per l'altra direzione.
- c) Le azioni di calcolo non fanno il favore di essere dirette secondo un preciso asse ben orientato rispetto agli assi di costruzione della struttura.
- d) L'attingimento del limite plastico, per un elemento dissipativo in una struttura tridimensionale, non avviene con una sollecitazione elementare, e nemmeno in presso flessione o tensoflessione retta, come semplicisticamente la normativa riporta, bensì con sei componenti di sollecitazione tutte agenti contemporaneamente, ovvero con un punto in uno spazio a sei dimensioni.

In generale i criteri del capacity design possono essere facilmente compresi. La loro traduzione in effettive regole di progetto è però ardua. Tali criteri sono:

1. Gli elementi che si plasticizzano (dissipativi) devono essere certi elementi e non altri. Tali elementi devono essere progettati per la plasticizzazione. Non si devono plasticizzare parti della struttura fondamentali per l'equilibrio globale, dato che la loro plasticizzazione comporterebbe un collasso. Gli elementi dissipativi non si devono instabilizzare localmente o globalmente o, se è ammesso che lo facciano (CBF), devono instabilizzarsi in modo controllato e reversibile.
2. Gli elementi non progettati per plasticizzarsi (non dissipativi) devono essere progettati per le massime sollecitazioni che gli elementi plasticizzati possono loro consegnare, tenendo conto della sovraresistenza del materiale e di opportuni fattori di sicurezza aggiuntivi. Ciò comporta in teoria il calcolo di sestuple di azioni plastiche per tutti gli elementi beam dissipativi, opportunamente incrementate (da 1.1  $\gamma_{ov}$ ) e con opportuni margini suppletivi di sicurezza.
3. Le verifiche 1 e 2 devono valere per tutte le possibili combinazioni sismiche.

## 2.27.2 Limiti delle prescrizioni delle normative

### 2.Limiti delle prescrizioni delle normative

Se i criteri logici di progettazione secondo il capacity design sono chiari, non così le prescrizioni di normativa, che appaiono sovrasemplificatorie e sostanzialmente inesatte.

Prima di addentrarci nella disamina attenta delle prescrizioni di normativa, delineiamo quello che in teoria potrebbe essere un percorso computazionale abbastanza coerente con i principi espressi nella sezione precedente.

Dato un insieme di forze apparenti tali da simulare il sisma, queste forze apparenti possono essere fatte crescere omoteticamente sino a generare una prima plasticizzazione nella struttura. Se la struttura è ben progettata la prima zona che si plasticizza è una zona dissipativa. Un tale sistema di forze può essere ottenuto da una statica equivalente o da una analisi di pushover, la quale, come è noto, utilizza i risultati di una analisi modale (e quindi elastica). In Sargon queste forze si possono ottenere con il comando [Edit-Azioni-Da Spettro](#)<sup>[1065]</sup>: si tratta in sostanza di forze apparenti (di D'Alembert).

Non appena la struttura attinge la plasticizzazione in qualche zona, però, immediatamente il procedimento cessa di essere valido. Infatti la struttura ha rigidzze differenti, e dunque periodi, modi e forze apparenti differenti.

Supponendo di non tenere conto di tale problema (come fa la pushover nelle modalità di calcolo più diffuse), possiamo incrementare ancora le stesse forze e vedere che succede. Se stiamo facendo una analisi elastica ciò che otteniamo è certamente non corretto, dato che le sollecitazioni, dopo la prima plasticizzazione, non cresceranno più allo stesso modo. Se stiamo facendo una analisi non lineare con plasticità diffusa (ovvero con CURAN), il calcolo può effettivamente seguire il progressivo evolversi della plasticità (sarebbe la famosa pushover). Nel corso della analisi dovremmo controllare:

1. Che gli elementi plastici non subiscano effetti di instabilità locale o globale (dunque dovremmo usare una analisi non lineare anche per gli effetti geometrici)
2. Che gli elementi non dissipativi restino elastici.

Un modello di calcolo in nonlinearity di materiale, che usasse per il materiale delle zone dissipative una tensione di snervamento opportunamente incrementata, potrebbe pervenire a una qualche stima delle effettive sollecitazioni sovraresistenti afferenti agli elementi non dissipativi. Si tratterebbe però di un calcolo gravemente convenzionale, in ogni caso, perché dato che la condizione tale per cui una certa fibra diviene plastica sarebbe legata al raggiungimento di un limite plastico che è in effetti ignoto, anche la distribuzione di azioni risultante sugli elementi non dissipativi sarebbe in definitiva il frutto di una tale ipotesi arbitraria: che tutti gli elementi dissipativi si snervino non alla tensione  $f_y$ , ma alla tensione prefissata  $1.1\gamma_{ov}f_y$ .

In ogni modo, almeno in linea di principio, e dimenticando il problema legato alla non coerenza delle azioni sismiche, una tale analisi potrebbe effettivamente seguire l'evolversi della plasticizzazione nella struttura e verificare sia che gli elementi plastici assolvano al loro dovere, sia che gli elementi elastici subiscano le azioni (incrementate) afferenti dagli elementi plastici.

Quanto detto in precedenza implicherebbe una analisi pienamente non lineare (non linearità di materiale, non linearità geometrica di membratura sia per presso flessione che per svergolamento, non linearità locale di sezione) e un onere computazionale molto forte.

Queste esigenze sono aggirate dalla normativa essenzialmente nel seguente modo:

1. Le verifiche di instabilità locale sono soddisfatte mediante la richiesta che le sezioni abbiano una classificazione buona (classi 1 o 2).
2. Le verifiche di escursione plastica e capacità ciclica mediante la classificazione delle sezioni e mediante la aggiunta di irrigidimenti (come nei link degli EBF o i pannelli dei MRF), provvidenze varie e limitazioni di snellezza (CBF).
3. Le verifiche di resistenza nelle zone non dissipative sono soddisfatte mediante regole di amplificazione parziale e lineare delle sollecitazioni sismiche (parziale: perché riguardano solo alcune componenti mentre di altre non si parla proprio, immaginando che siano trascurabili; lineare: perché si finge che nel corso della escursione plastica non lineare le sollecitazioni possano crescere linearmente rispetto a quanto calcolato in ambito elastico).

4. Le verifiche di instabilità di membratura possono essere soddisfatte con brutali semplificazioni in merito a quali sollecitazioni usare per le verifiche. Infatti, la norma non parla né di sestuple  $S$  né di loro distribuzioni lungo l'asse ( $S=S(x)$ ), ma sempre al massimo di terne di sollecitazioni e di valori puntuali.

Consideriamo ora più in dettaglio e commentiamo le prescrizioni delle NTC 2008 o NTC2018 (vicina copia dell'Eurocodice) alla luce di quanto detto.

### Telai resistenti a momento

Per i telai resistenti a momento si hanno dapprima le prescrizioni relative alle "travi", che in questo schema progettuale sono gli elementi dissipativi (le colonne, invece, devono essere protette). Le prescrizioni

$$M_{Ed}/M_{pl,Rd} \leq 1$$

$$N_{Ed}/N_{pl,Rd} \leq 0.15$$

$$(V_{Ed,G} + V_{Ed,M})/V_{pl,Rd} \leq 0.50$$

tendono a stabilire che le sollecitazioni di progetto non superino il dominio limite, che l'azione assiale non sia eccessiva (portando a un depauperamento della capacità flettente plastica) e che il taglio in condizioni limite non sia a sua volta eccessivo. I problemi derivano dal fatto che tali equazioni sono a rigore valide solo per telai piani, o per strutture spaziali perfettamente disaccoppiate sotto l'azione di azioni perfettamente allineate con i sistemi di controvento. Entrambe le ipotesi sono generalmente non verificate. La prima può essere ottenuta con progettazioni altamente regolari, la seconda non è mai ottenibile: un sistema dissipativo è in realtà caricato da una sestupla di sollecitazioni e tale sestupla deve rispettare le condizioni limite. Assumendo che le "desiderata" plasticizzazione sia sull'asse principale 2 soltanto, le precedenti equazioni possono meglio determinarsi in questo modo

$$M_{Ed,2}/M_{pl,Rd,2} \leq 1$$

$$M_{Ed,3}/M_{pl,Rd,3} \leq k_{M3}$$

$$N_{Ed}/N_{pl,Rd} \leq 0.15$$

$$(V_{Ed,G,3} + V_{Ed,M,3})/V_{pl,Rd,3} \leq 0.50$$

$$(V_{Ed,G,2} + V_{Ed,M,2})/V_{pl,Rd,2} \leq k_{V2}$$

$$M_{Ed,1}/M_{pl,Rd,1} \leq k_{M1}$$

dove  $k_{M3}$ ,  $k_{V2}$  e  $k_{M1}$  sono numeri piccoli prossimi a 0 (si veda anche il dialogo [Impostazioni Verifica Gerarchia delle Resistenze](#) [1310]). Anche in questo caso, comunque, la mera prescrizione ( $M_{Ed,2}/M_{pl,Rd,2} \leq 1$ ) non garantisce che lo stato di sollecitazione sia interno al dominio limite, e nel loro complesso queste equazioni appaiono scarsamente fondate, nel caso generale.

Il secondo gruppo di prescrizioni riguarda le "colonne" ovvero gli elementi non dissipativi. Per esse sono date le seguenti prescrizioni in merito alle azioni di calcolo:

$$N_{Ed} = N_{Ed,G} + 1.1 \gamma_{ov} \Omega N_{Ed,E}$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,G} + 1.1 \gamma_{ov} \Omega M_{Ed,E}$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + 1.1 \gamma_{ov} \Omega V_{Ed,E}$$

che indicano la terna dei valori di sollecitazione da usare per le verifiche. Anche in questo caso va osservato che queste prescrizioni si adattano al solo caso di telai piani, mentre cadono in difetto nel caso di strutture spaziali. A livello di verifica di resistenza sezionale, esse potrebbero essere ampliate nel seguente modo:

$$N_{Ed} = N_{Ed,G} + 1.1 \gamma_{ov} \Omega N_{Ed,E}$$

$$M_{Ed,1} = M_{Ed,G,1} + 1.1 \gamma_{ov} \Omega M_{Ed,E,1}$$

$$M_{Ed,2} = M_{Ed,G,2} + 1.1 \gamma_{ov} \Omega M_{Ed,E,2}$$

$$M_{Ed,3} = M_{Ed,G,3} + 1.1 \gamma_{ov} \Omega M_{Ed,E,3}$$

$$V_{Ed,2} = V_{Ed,G,2} + 1.1 \gamma_{ov} \Omega V_{Ed,E,2}$$

$$V_{Ed,3} = V_{Ed,G,3} + 1.1 \gamma_{ov} \Omega V_{Ed,E,3}$$

o brevemente

$$S'_{Ed} = S_{Ed,G} + 1.1 \gamma_{ov} \Omega S_{Ed,E}$$

Nella precedente relazione:

$S'_{Ed}$  è lo stato di sollecitazione da impiegare per le verifiche

$S_{Ed,G}$  è lo stato di sollecitazione che, nella combinazione sismica, è associato ai carichi non sismici

$\gamma_{ov}$  è il fattore di sovrarresistenza

$\Omega$  è il minimo fattore che porta qualche elemento dissipativo al primo snervamento

$S_{Ed,E}$  è la quota parte di sollecitazioni dovuta ai meri carichi sismici

La prima cosa da osservare è che le verifiche non possono essere solo verifiche sezionali e non possono essere solo verifiche di resistenza: dunque l'unico modo per eseguirle efficacemente non è semplicemente verificare che nella sezione affluente al nodo la sezione estrema soddisfi un qualche criterio di resistenza, *ma occorre di fatto rieseguire le verifiche complete alla luce di una qualche opportuna distribuzione di azioni interne.*

Una tale opportuna distribuzione di azioni interne potrebbe essere ottenuta *generando un insieme di combinazioni nuovo (OVS), nelle quali i fattori originariamente previsti per i casi sismici, chiamiamoli C, siano ulteriormente moltiplicati per il fattore  $1.1 \gamma_{ov} \Omega$  che dipende dalla combinazione sismica in considerazione.* Se quindi la combinazione originaria prevedeva

$$A \times \text{Permanenti} + B \times \text{Variabili} + C_1 \times \text{SismaX} + C_2 \times \text{SismaY},$$

la nuova combinazione sarà

$$A \times \text{Permanenti} + B \times \text{Variabili} + 1.1 \gamma_{ov} \Omega C_1 \times \text{SismaX} + 1.1 \gamma_{ov} \Omega C_2 \times \text{SismaY},$$

A valle della generazione di un tale nuovo insieme di combinazioni, si potrà eseguire una nuova verifica, *la quale però avrà senso solo per gli elementi non dissipativi* (che dovranno risultare verificati).

Il calcolo del fattore  $\Omega$  secondo la normativa deve essere fatto nel seguente modo:

$$\Omega = \min\{M_{pl,Rd,i} / M_{Ed,i}\}$$

dove "i" è il generico elemento (trave) dissipativo, ed  $M_{Ed}$  la sollecitazione totale calcolata in condizioni sismiche.

Alcune osservazioni:

- L'idea che questo moltiplicatore porti alla condizione plastica è verificata solo e soltanto in condizioni di flessione semplice. Ma gli elementi dissipativi delle strutture reali sono soggetti a sestuple di sollecitazione, e quindi si dovrebbe piuttosto cercare una condizione ben più complessa, almeno trinomia.
- Se l'amplificazione avviene rispetto ai carichi totali, sismici e non sismici, essa è in contraddizione con le formule precedenti, che invece amplificano la sola quota parte dovuta al sisma. E' probabile che la incoerenza sia legata alla ipotesi che i carichi non sismici non producano effetti sugli elementi dissipativi, una ipotesi che pare peregrina.
- Se nella struttura sono presenti elementi due diversi sistemi di controvento dissipativi, uno a momento e l'altro, nell'altra direzione, ad azione assiale, il ciclo deve necessariamente contenere anche gli elementi che dissipano in altro modo e deve pertanto essere generalizzato come segue

$$\Omega = \min\{M_{pl,Rd,i} / M_{Ed,i}, N_{pl,Rd,j} / N_{Ed,j}\}$$

non si può infatti escludere che, a causa di un sisma agente in direzione inclinata, o a causa di una struttura non perfettamente disaccoppiata, il sisma generi azioni plastiche prima sugli elementi di un sistema che in quelli dell'altro.

- La prima plasticizzazione di un elemento dissipativo nulla dice in merito alle sollecitazioni ulteriori che nascono allorché la plasticizzazione va diffondendosi (tale problema resta per



ogni analisi di tipo lineare, e resta anche in caso di analisi statica non lineare dato che il sistema di forze cessa di essere attendibile).

Le considerazioni precedenti portano a concludere che i metodi normati difettano di un eccesso di specificazione, inapplicabile al caso generale.

L'ulteriore famoso requisito di normativa, ovvero che la somma dei momenti plastici provenienti dalle travi sia congruamente inferiore ai momenti elastici resistenti delle colonne

$$\Sigma M_{C,pl,Rd} \leq \gamma_{ov} \Sigma M_{b,pl,Rd}$$

è anch'esso una grossolana semplificazione.

- $M_{C,pl,Rd}$  è il "momento resistente della colonna calcolato per i livelli di sollecitazione assiale presenti nella colonna nelle combinazioni sismiche", ma in realtà tale momento resistente è influenzato anche dall'altro momento, dai tagli, e dalla torsione: piuttosto che una verifica a momento sarebbe necessaria una verifica completa delle sezioni; la norma suppone implicitamente che le altre sollecitazioni siano trascurabili, il che però va adeguatamente verificato e garantito dal progetto.
- $M_{b,pl,Rd}$  è il "momento resistente delle travi che convergono nel nodo trave-colonna", momento plastico resistente nel monoassiale e senza interazioni, e quindi certamente un limite superiore di quello effettivamente possibile, ma che non tiene conto dei tagli e delle azioni assiali che anche gli elementi dissipativi vanno certamente a consegnare.
- Perché la formula abbia senso, tutti gli elementi devono avere asse principale coinvolto parallelo, ma ciò in generale può non avvenire.

### Strutture a controventi concentrici

Un primo insieme di verifiche riguarda la classificazione dei profili ed il fatto che la loro snellezza adimensionale sia entro certi intervalli (che dipendono dal tipo di controvento).

Regole speciali sui rapporti larghezza-spessore si applicano ai tubi tondi e quadri e rettangolari.

La regola seguente impone che i fattori

$$\Omega_j = N_{pl,Rd,j} / N_{Ed,j}$$

non differiscano troppo tra loro. Deve infatti verificarsi che il rapporto tra il minimo ed il massimo non superi 1.25. Questa condizione impone gravosi e potenzialmente infiniti ricicli, dovuti al fatto che un cambio di sezione dei controventi porta ad un cambio di periodi, spostamenti, azioni. Nè sembra agevole inventare un qualche sistema di ciclo automatico stante il fatto che le variazioni delle sezioni (a meno di non usare piatti rettangolari) sono di fatto discrete e non continue, ovvero l'area si può solo variare "a salti". Il possibile *escamotage* costituito dal fatto di indebolire un breve tratto di sezione (così che la rigidezza sia poco o punto perturbata) non sembra accettabile dato che ridurrebbe a una frazione della lunghezza la quota di elemento che sarebbe plasticizzata e con essa l'energia dissipata.

Se e solo se gli elementi diagonali dissipativi vengono modellati con elementi biella (truss) la regola precedente di calcolo di  $\Omega_j$  può essere implementata facilmente. Nel caso invece in cui l'elemento sia modellato con elementi beam, l'insorgenza di sollecitazioni parassite o spurie la rende sostanzialmente errata. Quindi, si fa l'ipotesi che tali sistemi di controvento siano modellati con elementi biella e non con elementi trave.

La susseguente prescrizione impone, in analogia con quanto visto in precedenza, che gli elementi non dissipativi limitrofi a quelli dissipativi possano portare le sollecitazioni causanti la (prima) plasticizzazione degli elementi dissipativi, opportunamente incrementate (NTC 2008, 7.5.14). La prescrizione in NTC 2008 / 2018 sembra alludere alla inopinata trasformazione del telaio in struttura reticolare, tal che nelle travi e nelle colonne finirebbe, per equilibrio, una mera azione assiale, che sarebbe poi (7.5.14) quella da controllare tenendo conto però illogicamente del momento che nella struttura originaria è effettivamente applicato. Si tratta di una procedura inutilmente tortuosa. Al contrario, sembra molto più logico generare un nuovo insieme di combinazioni "OVS" nel modo già chiarito nella sezione precedente (e quindi tutte le azioni interne degli elementi non dissipativi saranno amplificate, e la verifica sarà fatta mediante verificatore con tutte le modalità di crisi e non seguendo il formato 7.5.14, che appare inapplicabile al caso generale e non pertinente).

Non agevole è il tener conto di azioni di compressione pari a  $0.3 N_{pl}$  negli elementi diagonali compressi: una tale sollecitazione, infatti, non è coerente con alcun calcolo formale e non se ne vede la possibile applicazione a contesti strutturali 3D complessi: la prescrizione risulta quindi sostanzialmente inapplicabile a contesti strutturali realistici, almeno sino a quando non si sarà trovato un modo per generare automaticamente quadri di sollecitazione equilibrati che portino  $N_{pl}$  nei diagonali tesi (cosa ottenibile con una analisi non lineare elastica perfettamente plastica) e  $0.3N_{pl}$  in quelli compressi (cosa forse ottenibile con leggi elastiche perfettamente plastiche asimmetriche, certo non con mezzi banali). E' probabile che il normatore avesse in mente un calcolo semi-manuale limitato a schemi tipici di controvento, prescindendo completamente dai risultati di una analisi agli elementi finiti.

### Strutture a controventi eccentrici

Nelle strutture EBF chi dissipa sono i link, che possono essere corti (dissipazione per taglio), lunghi (dissipazione per momento) o intermedi. Le Norme Tecniche per le Costruzioni danno dei limiti per la lunghezza dei link, che però sono funzione del rapporto tra i momenti attesi agli estremi del link stesso (tramite il parametro  $\alpha$ ). Il valore di tale rapporto varia in generale da combinazione a combinazione, ma probabilmente la norma intende riferirsi a quanto avviene su sotto schemi semplificati caricati in modo convenzionale, e vuole tener conto di possibili asimmetrie di schema.

Relativamente alle verifiche di resistenza degli elementi link, si devono usare le seguenti quantità ultime, rispettivamente per i link corti e per quelli lunghi:

$$V_u = 1,5V_{l,Rd}$$

$$M_u = 0,75 \cdot e \cdot V_{l,Rd}$$

$$V_u = 2 \frac{M_{l,Rd}}{e}$$

$$M_u = 1,5 \cdot M_{l,Rd}$$

dove  $V_{l,Rd}$  e  $M_{l,Rd}$  sono le resistenze a taglio ed a momento che tengono conto di eventuali riduzioni dovute alle altre sollecitazioni (in particolare la norma cita l'azione assiale), ed  $e$  è la lunghezza del link. Nel caso di link intermedi, si adottano delle resistenze interpolate usando come parametro di interpolazione la lunghezza del link,  $e$ , ed il limite per link corti e lunghi.

Il fattore di sovrarresistenza di sistema  $\Omega$ , è definito per i link lunghi ed intermedi come

$$\Omega = \frac{1,5M_{l,Rd}}{M_{Ed2}}$$

adottando quindi il momento 2 come azione interna plasticizzante, e per i link corti  $\Omega$  è definito come

$$\Omega = \frac{1,5V_{l,Rd}}{V_{Ed3}}$$

adottando quindi il taglio 3 come azione plasticizzante.

Come per i controventi dissipativi, il massimo ed il minimo valore di  $\Omega$  dei link in ogni combinazione sismica non devono essere troppo diversi, ovvero non devono differire più del 25%.

### 2.27.3 Modalità di implementazione in Sargon

## 3.Modalità di implementazione in Sargon

### 3.0 Premessa e ipotesi di base

La verifica di capacità ha senso solo in ambito sismico. Quindi, il modello deve avere almeno un caso di carico etichettato "SISMA STATICA EQUIVALENTE" o "SISMA MODALE". Inoltre, la verifica è applicata al [combiset](#)<sup>[1079]</sup> attivo, e dunque tale combiset deve contenere almeno una combinazione sismica. Una combinazione è dichiarata sismica se al suo interno esiste almeno un caso di carico sismico con fattore moltiplicativo non nullo.

Perché la verifica di capacità abbia senso devono essere state definite delle zone dissipative. Le zone dissipative sono gli estremi degli elementi nel caso degli elementi beam, o l'intero elemento nel caso di elementi truss.

Gli elementi link delle strutture con sistemi EBF (eccentric bracing frames) sono individuati da queste condizioni:


1. Sono elementi beam.
2. Hanno zone dissipative ad entrambi gli estremi.
3. Il valore minimo e massimo delle lunghezze di link (in [questo dialogo](#)<sup>[1310]</sup>) sono diversi da zero.

Si danno i seguenti casi di combinazione di sistemi EBF (eccentric bracing frame) e MRF (moment resisting frames):

- Nel caso in cui nella struttura siano presenti solo sistemi MRF, basterà dare valori nulli alle lunghezze limite dei link (in [questo dialogo](#)<sup>[1310]</sup>) perché nessun elemento beam sia individuato come link.
- Nel caso in cui nella struttura siano presenti solo sistemi EBF, basterà dare valori non nulli alle lunghezze limite dei link, e determinarli in modo che i link abbiano lunghezza tale da ricadere nella appropriata zona (link corti, lunghezza minore del minimo, link lunghi lunghezza maggiore del massimo, link intermedi, lunghezza intermedia tra il minimo ed il massimo). Ogni link è un elemento finito con entrambi gli estremi dichiarati dissipativi. La lunghezza del link è la lunghezza dell'elemento finito.
- Se nella struttura sono presenti sia sistemi MRF che EBF bisogna fare in modo che i beam MRF non abbiano entrambi gli estremi dissipativi, cosa che si fa facilmente se necessario interponendo un nodo. Al contrario, i link hanno sempre entrambi gli estremi dissipativi.

Nel caso di elementi beam la norma fa implicitamente l'ipotesi che la dissipazione avvenga per momento flettente  $M_2$  nei telai MRF, mentre essa può avvenire per momento  $M_2$  nei link "lunghi" delle strutture EBF e per taglio  $V_3$  nei link corti. Sorge dunque da qui la necessità di distinguere le zone dissipative dei link dei telai EBF dalle zone dissipative delle travi nei telai MRF. In effetti tale distinzione avviene perché per convenzione gli elementi link hanno sempre entrambi gli estremi dissipativi, mentre le travi dissipative dei sistemi MRF, ove nel modello siano anche presenti elementi link, hanno un solo estremo dichiarato dissipativo.



Nel secondo caso (elementi truss) la dissipazione è associata alla azione assiale (strutture CBF).

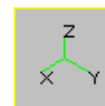
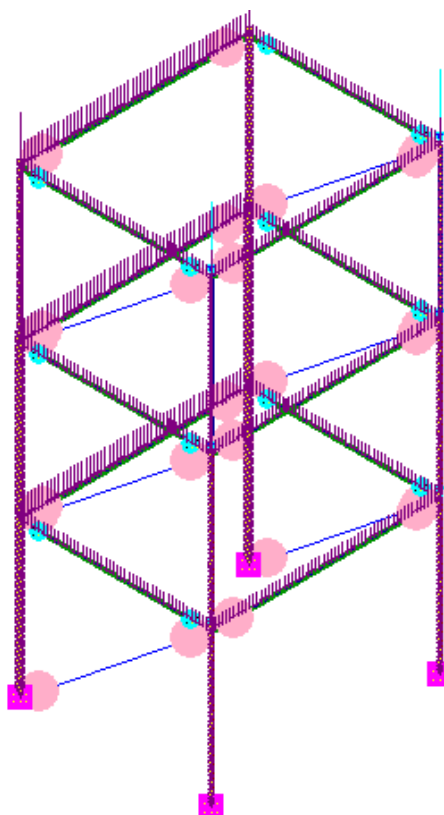
Il comando per assegnare le zone dissipative agli elementi è [Struttura-Gerarchia-Aggiungi DZONE](#).

Per alcune verifiche il programma assume che gli elementi dissipativi siano del tipo: ad H simmetrico laminato; ad H anche asimmetrico saldato; tubi circolari; box rettangolari o quadrati; Rhs.

Relativamente agli elementi di link, il programma assume che questi abbiano sezione a doppio T simmetrica laminata o saldata, e se tale circostanza non si verifica viene dato un Warning.

### **3.2 Definizione e rimozione delle Zone Dissipative**

Come accennato la assegnazione delle zone dissipative e la sua rimozione si possono realizzare con il comando [Struttura-Gerarchia-Aggiungi DZONE](#). Il comando [Struttura-Gerarchia-Rimuovi!](#) serve invece per eliminare rapidamente le zone dissipative precedentemente assegnate dagli elementi selezionati.



Sargon® - by Castalia srl - www.castaliaweb.com - ver. 11.60 11-2014 - sr100101

### Zone dissipative in una struttura a telaio in direzione X e CBF in direzione Y

La assegnazione delle zone dissipative è fatta dall'utente sulla base del suo progetto, non è una operazione compiuta dal programma. Le zone dissipative sono individuate da un cerchio pieno di colore rosa, il cui diametro è il doppio del corrispondente diametro dei simboli per gli svincoli e per i segni di connessione. Tra le possibili opzioni relative alla visualizzazione degli oggetti nella finestra grafica, vi è anche quella che sceglie di far vedere o di non far vedere i simboli per gli elementi dissipativi ([qui](#)<sup>695</sup>).

### 3.3 Verifiche: criteri generali

I criteri generali a cui ci si dovrebbe attenere sono i seguenti:

1. Verifiche di classe e di snellezza per gli elementi dichiarati dissipativi. Per i link verifiche sulla lunghezza e loro classificazione in "lunghi", "corti" ed "intermedi".
2. Determinazione, per ogni combinazione sismica, di un pertinente fattore di sovrarresistenza  $\Omega$ , e del corrispondente fattore complessivo  $K=1.1 \gamma_{ov} \Omega$ , che dipende dalla combinazione.

3. Verifiche sulle azioni affluenti negli elementi dissipativi: limitazione delle sollecitazioni spurie e valori sotto quelli limite per le componenti principali della sollecitazione.
4. Verifiche degli elementi non dissipativi con sollecitazioni di calcolo opportunamente amplificate rispetto a quelle delle combinazioni sismiche.
5. Verifiche di omogeneità degli sfruttamenti degli elementi dissipativi (diagonali per sistemi CBF, link per sistemi EBF), mediante la verifica che i fattori  $\Omega$  non siano troppo diversi tra loro.

Le verifiche richiedono alcune scelte preliminari che ne orientano il funzionamento. Tali scelte preliminari vengono compiute con il comando [Struttura-Gerarchia-Imposta](#)<sup>1309</sup>. Tra le scelte da fare, il valore dei coefficienti parziali, la classe di duttilità (alta o bassa), la modalità di classificazione da adottare per la verifica di classe degli elementi beam dissipativi, la lunghezza delle travi dissipative da considerare per il calcolo dei tagli plastici, l'intervallo di snellezza adimensionale che le bielle dissipative devono soddisfare, le lunghezze limite per la classificazione dei link, e le soglie che le sollecitazioni spurie degli elementi dissipativi non devono superare (si tratta di  $V_2$ ,  $M_3$  ed  $M_1$ ).

### 3.4 Verifiche: descrizione passo-passo (metodo 1)

Nella versione attuale del programma è rilasciato il solo metodo 1, teso a sposare, per quanto possibile, le regole di normativa. In futuro è previsto che siano aggiunti altri metodi, più generali di quelli previsti dalla normativa, ma in scia con essa per quanto attiene ai principi generali (che sono poi quelli che contano).

La versione attuale del programma (11.70) tiene conto delle strutture a telaio (MRF), con controventi concentrici (CBF), o con controventi eccentrici (EBF).

1. Per prima cosa vengono calcolati e stampati i fattori di sovrarresistenza  $\Omega$  per ogni combinazione sismica. Se tali fattori risultano minori di 1 ciò implica che le sollecitazioni di



progetto superino i valori plastici per gli elementi dissipativi, il che è di per sé inaccettabile. La formula al momento impiegata per valutare  $\Omega$  in una data combinazione è la seguente

$$\Omega = \min \{ M_{pl,Rd,i} / M_{Ed,i}, N_{pl,Rd,j} / N_{Ed,j}, 1,5 M_{l,Rd,2,k} / M_{Ed,2,k}, 1,5 V_{l,Rd,3,m} / V_{Ed,3,m} \}$$

e tiene conto sia degli elementi trave che degli elementi biella dissipativi, che dei link presenti nel modello. L'indice "i" si riferisce alla travi dissipative dei telai MRF. L'indice "j" alle bielle dissipative dei sistemi CBF. L'indice "k" ai link lunghi ed intermedi dei sistemi EBF. L'indice "m" ai link corti dei sistemi EBF.

Se nella struttura sono presenti solo elementi dissipativi di un certo tipo (travi dissipative, bielle, link lunghi o intermedi, link corti) il ciclo riguarderà evidentemente solo questi elementi. Ciò implica che il sistema di controvento sia (MRF,MRF) o (CBF, CBF) o (EBF, EBF) nelle due direzioni. Se invece i due sistemi sono diversi, allora verranno controllati sia gli elementi beam che i truss che i beam che agiscono come link. In questo caso, se la struttura è disaccoppiata e se la direzione del sisma è allineata con uno degli assi, allora il fattore  $\Omega$  minimo sarà quello relativo agli elementi impegnati su quella direzione, e non relativo agli altri elementi. Per le direzioni inclinate non è possibile dire a priori quel che può succedere, anche se è da attendersi che per strutture ben progettate "vinca" sempre il sistema della direzione prevalente.

$M_{Ed}$  ed  $N_{Ed}$  solo le sollecitazioni in macchina in quella combinazione sismica così com'è.

$N_{pl,Rd}$  è pari a  $A \cdot f_y / \gamma_{M0}$ .

$M_{pl,Rd}$  è il momento plastico limite degli elementi beam dissipativi. Esso è pari a  $W_{2pl} \cdot f_y / \gamma_{M0}$ . Si usa quindi il momento secondo l'asse 2 (anche per  $M_{Ed}$ ). Non si tiene conto di alcuna riduzione così come indicato dalla normativa, che indica il medesimo simbolo per il momento plastico (e del resto richiede precise limitazioni sulle altre sollecitazioni "piane").

Va notato che il momento letto è quello all'estremo (dissipativo) preso in considerazione, in valore assoluto.

$M_{l,Rd}$  è il momento ridotto per tener conto della presenza della azione assiale e del taglio.

Viene calcolato in questo modo.

Se  $n=N_{Ed}/N_{pl,Rd} < 0,15$

$$se V < 0,5V_{pl} \quad \rho = 0$$

$$altrimenti \quad \rho = (2V_{Ed}/V_{pl} - 1)^2$$

$$M_{l,Rd} = M_{pl,Rd} (1 - \rho)$$

altrimenti

$$a = (A_g - 2bt_f)/A_g$$

$$M_{l,Rd} = M_{pl,Rd} (1 - n - \rho)/(1 - 0,5a)$$

Il valore  $b$  è la larghezza della flangia,  $t_f$  il suo spessore e  $A_g$  l'area lorda della sezione.

$V_{lRd}$  è il taglio ridotto per tener conto della azione assiale e viene calcolato così:

Se  $n=N_{Ed}/N_{pl,Rd} < 0,15$

$$V_{lRd} = V_{pl}$$

altrimenti

$$V_{lRd} = (1 - n) V_{pl}$$

2. Mentre viene determinato, in ogni combinazione, il fattore  $\Omega$ , si tiene anche conto del minimo  $\Omega$  e del massimo  $\Omega$  relativo agli elementi biella, ed ai link, in modo da eseguire la verifica sulla omogeneità dello sfruttamento richiesta dalla normativa. Viene quindi stampato il minimo  $\Omega_{truss}$  ed il massimo  $\Omega_{truss}$ , nonché il minimo  $\Omega_{link}$  ed il massimo  $\Omega_{link}$ , per ogni combinazione sismica.

3. Vengono individuati tutti i nodi ai quali affluiscono elementi trave o biella dissipativi. Da questo momento comincia un ciclo su tutti questi nodi "dissipativi".

4. Comincia un ciclo su tutti gli elementi beam connessi al generico nodo dissipativo. Questi vengono divisi in beam dissipativi (nel nodo) (a loro volta distinti in link e non link) e beam non dissipativi (nel nodo). Per ogni elemento beam (dissipativo o no) si calcola il fattore di sovraresistenza per il suo materiale e si memorizza per compararlo con il massimo al variare

degli elementi strutturali dissipativi ( $\gamma_{ov,max}$ ). Si calcolano i massimi di ciascuna sollecitazione elementare, in quell'estremo di quell'elemento, al variare delle combinazioni sismiche (involuppo sismico). Si fa lo stesso per tutte le combinazioni sismiche, ma trascurando gli effetti del sisma e considerando solo gli altri carichi, al variare delle combinazioni sismiche.

5. Elemento beam dissipativo (non link). Si calcolano e dichiarano stampandoli i valori plastici senza riduzioni dovuti alla interazione delle sollecitazioni dei momenti  $M_2$  ed  $M_3$ . Nel caso in cui l'elemento dissipativo sia dei tipi previsti (H, O, box, cosa peraltro auspicabile), si fa la classificazione della sezione dell'elemento dissipativo per le sollecitazioni elementari, e si verifica la classe massima o la prescelta classe di sollecitazione elementare fatta dall'utente, nei riguardi del massimo previsto per gli elementi dissipativi. Il massimo previsto è 2 per la classe di duttilità bassa, e 1 per quella alta. Si verifica che la massima azione assiale complessiva, per tutte le combinazioni sismiche, precedentemente calcolata, rispetti la limitazione  $N_{Ed} < 0.15 N_{pl}$ . Si verifica che il massimo momento secondo l'asse 2,  $M_{2Ed}$  sia minore del momento plastico secondo l'asse 2. Si fa la stessa verifica per il momento secondo l'asse 3. Si calcola un taglio secondo l'asse 3 dato da due contributi: il massimo taglio dovuto ai carichi non sismici nelle combinazioni sismiche,  $V_{3Ed,G}$ , precedentemente calcolato; il taglio plastico  $V_{3Ed,M}$  dato da  $2M_{2pl}/L$ , dove  $M_{2pl}$  è il momento plastico secondo l'asse 2, ed  $L$  una lunghezza introdotta dall'utente (la lunghezza delle travi dissipative, che può non coincidere con la lunghezza dell'elemento finito). Tale taglio ( $V_{3Ed,G} + V_{3Ed,M}$ ) si verifica sia minore di  $0.50 V_{3pl,Rd}$ . Si fa la stessa identica cosa sul taglio  $V_2$  ma considerando il momento  $M_3$ . Queste verifiche sono una generalizzazione delle 7.5.3, 7.5.4, 7.5.5 delle NTC 2008 (o 7.5.4 7.5.5. e 7.5.6 delle NTC 2018). Se la zona dissipativa dell'elemento dissipativo non soddisfa qualcuna di queste verifiche, la zona dissipativa viene marcata come non verificata.

5. Elemento beam dissipativo (link). Si cataloga il link in "corto" (se la sua lunghezza è minore della lunghezza limite minima), "lungo" (se la sua lunghezza è maggiore della lunghezza limite massima) o "intermedio". Si calcolano e dichiarano stampandoli i valori plastici senza riduzioni dovuti alla interazione delle sollecitazioni dei momenti  $M_2$  ed  $M_3$ . Nel caso in cui l'elemento dissipativo sia dei tipi previsti (H, O, box, cosa peraltro auspicabile), si fa la classificazione della sezione dell'elemento dissipativo per le sollecitazioni elementari, e si

verifica la classe massima o la prescelta classe di sollecitazione elementare fatta dall'utente, nei riguardi del massimo previsto per gli elementi dissipativi. Il massimo previsto è 2 per la classe di duttilità bassa, e 1 per quella alta. Si calcolano le sollecitazioni limite  $V_u$  e  $M_u$  in funzione della catalogazione del link in corto, intermedio o lungo. Si verifica che le sollecitazioni massime  $M_{2Ed}$  e  $V_{3Ed}$  siano inferiori rispettivamente a  $M_u$  e  $V_u$ . Si verificano le componenti "spurie"  $M_{3Ed}$ ,  $V_{2Ed}$  e  $M_{1Ed}$  rispetto ai massimi limiti dati da  $k_1 M_{3pl}$ ,  $k_2 V_{2pl}$  e  $k_3 M_{1pl}$ .

6. Elemento beam non dissipativo. Si calcola un fattore riduttivo del momento elastico pari a  $K_{red} = (1 - |N_{max}| * \gamma_{M0} / [A * f_y])$ . Se tale fattore è negativo si pone eguale a zero. Il fattore riduttivo usa una semplice formula di interazione elastica di presso o tenso flessione retta (come implicitamente richiesto dalla normativa). Si calcolano dei momenti elastici ridotti massimi come  $K_{red} W_2 f_y / \gamma_{M0}$  e  $K_{red} W_3 f_y / \gamma_{M0}$ . Si esegue, sulla sola sezione non dissipativa dell'elemento beam non dissipativo affluente al nodo dissipativo, una verifica di resistenza fatta in questo modo. Si esegue un ciclo sulle combinazioni sismiche. Si calcolano le sollecitazioni non sismiche  $S_G$  e quelle totali  $S_{Ed}$  affluenti alla sezione non dissipativa nella generica combinazione sismica. Per differenza si calcolano quelle sismiche  $S_E$ . Dato il fattore di sovrarresistenza  $\gamma_{ov}$  per il materiale dell'elemento non dissipativo, e dato il fattore di sovrarresistenza  $\Omega$  della combinazione, si calcola la sestupla di sollecitazioni:  $S'_{Ed} = S_G + 1,1 \gamma_{ov} \Omega S_E$ . Si esegue una verifica sezionale di resistenza calcolando il seguente sfruttamento  $E$ :  $E = [(N_{Ed}' / N_{el}) + (M_{2Ed}' / M_{2el}) + (M_{3Ed}' / M_{3el})] / (1 - \rho)$ . Si noti l'uso dei limiti elastici (con  $\gamma_{M0}$ ). Il fattore  $\rho$  si calcola come segue.  $\rho = \max\{\rho_2, \rho_3\}$ . Se  $V_{3Ed}' < 0.5 V_{3pl}$ ,  $\rho_3 = 0$ , altrimenti  $\rho_3 = (2V_{3Ed}' / V_{3pl} - 1)^2$ . Analogamente per  $V_2$ . In altre parole, si tiene in conto la presso o tenso flessione biassiale e l'interazione coi tagli, *ma non si considera la torsione*. Si usa quindi una quintupla di azioni interne e non la terna prevista (in modo secondo noi eccessivamente semplicistico) dalla normativa. Dato che la verifica è solo di resistenza e solo relativa a una sezione, occorrerà cautelarsi eseguendo verifiche complete con un combiset opportunamente creato (se ne parla dopo). Dopo aver eseguito il ciclo su tutte le combinazioni,

si stampa il massimo coefficiente di sfruttamento per quell'elemento non dissipativo di quel nodo dissipativo.

7. Si fa ora un ciclo su tutti gli elementi truss connessi al nodo dissipativo. Questi vengono divisi in truss dissipativi (nel nodo) e truss non dissipativi (nel nodo). Per ogni elemento truss (dissipativo o no) si calcola il fattore di sovrarresistenza per il suo materiale e si memorizza per compararlo con il massimo al variare degli elementi strutturali dissipativi ( $\gamma_{ov,max}$ ). Si calcolano i massimi della azione assiale, in quell'estremo di quell'elemento, al variare delle combinazioni sismiche. Si fa lo stesso per tutte le combinazioni sismiche, ma trascurando gli effetti del sisma e considerando solo gli altri carichi, al variare delle combinazioni sismiche.

8. Elemento truss dissipativo. Si calcola e dichiara stampandolo il valore plastico senza riduzioni di sorta di  $N$ . Nel caso in cui l'elemento dissipativo sia dei tipi previsti (H, O, box), si fa la classificazione della sezione dell'elemento dissipativo per la  $N$ , e si verifica nei riguardi del massimo previsto per gli elementi dissipativi. Il massimo previsto è 2. Si verifica che la massima azione assiale complessiva, per tutte le combinazioni sismiche, precedentemente calcolata, rispetti la limitazione  $N_{Ed} < N_{pl}$ . Si verifica la limitazione di snellezza dell'elemento truss dissipativo. Se la zona dissipativa dell'elemento dissipativo non soddisfa qualcuna di queste verifiche, la zona dissipativa viene marcata come non verificata.

9. Elemento truss non dissipativo. Si esegue, sull'elemento truss non dissipativo affluente al nodo dissipativo, una verifica di resistenza fatta in questo modo. Si esegue un ciclo sulle combinazioni sismiche. Si calcolano le sollecitazioni non sismiche  $N_G$  e quelle totali  $N_{Ed}$  affluenti alla sezione non dissipativa nella generica combinazione sismica. Per differenza si calcolano quelle sismiche  $N_E$ . Dato il fattore di sovrarresistenza  $\gamma_{ov}$  per il materiale dell'elemento non dissipativo, e dato il fattore di sovrarresistenza  $\Omega$  della combinazione, si calcola la sollecitazione:  $N'_{Ed} = N_G + 1,1\gamma_{ov}\Omega N_E$ . Si esegue una verifica sezionale di resistenza calcolando il seguente sfruttamento  $E$ :  $E = (N'_{Ed}/N_{pl})$ . Dato che la verifica è solo di resistenza, occorrerà cautelarsi eseguendo verifiche complete con un combiset opportunamente creato (se ne parla dopo). Dopo aver eseguito il ciclo su tutte le combinazioni, si stampa il massimo coefficiente di sfruttamento per quell'elemento non dissipativo di quel nodo dissipativo.

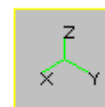
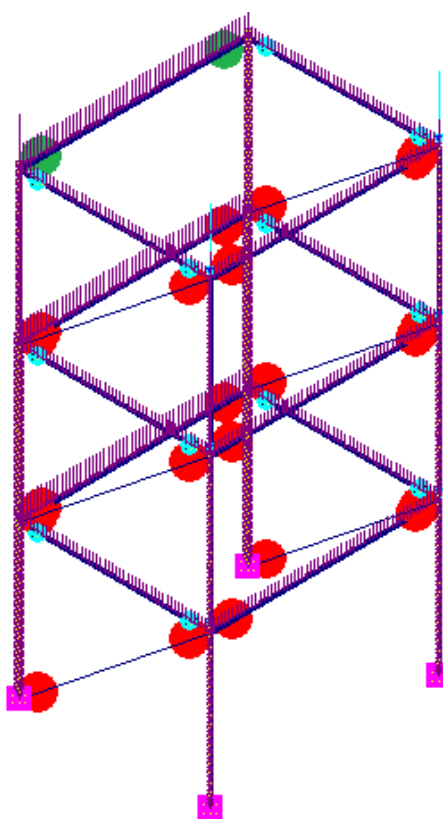
10. Terminato il ciclo sugli elementi affluenti al nodo, si verifica se qualche elemento non dissipativo affluente al nodo è risultato non verificato. Se sì, allora tutte le zone dissipative degli elementi dissipativi affluenti al nodo vengono marcate come non verificate. La verifica dei singoli elementi dissipativi è già stata fatta nel corso del ciclo. In questo modo, è possibile che alcuni elementi risultino verificati ed altri no, se ad essere non verificati sono elementi non dissipativi. Invece, se non sono verificati elementi non dissipativi, tutte le zone dissipative degli elementi affluenti al nodo, nel nodo, sono marcate non verificate (rosse).

11. Terminato il loop sugli elementi affluenti al nodo si stampano dei dati relativi al nodo dissipativo (quanti elementi dissipativi, quanti no, e di che tipo).

12. Infine, viene eseguita una verifica sui momenti nel seguente modo. Se gli elementi beam (dissipativi o no) hanno un asse principale parallelo con l'asse X, viene calcolato il loro momento di riferimento e sommato o a uno o all'altro di due addendi, a seconda che l'elemento sia dissipativo o no: quello degli elementi dissipativi e quello degli elementi non dissipativi. Il momento di riferimento è così calcolato. Per gli elementi dissipativi, è  $W_{pl} \times f_y / \gamma_{M0}$ , prendendo il  $W_{pl}$  del pertinente asse principale (2 se è l'asse 2 ad essere parallelo ad X, 3 se è il 3, nulla altrimenti). Per gli elementi non dissipativi, prendendo il pertinente momento elastico ridotto  $K_{red} W_{el} \times f_y / \gamma_{M0}$  (2 se è l'asse 2 ad essere parallelo, 3 se è l'asse 3, nulla altrimenti). La stessa operazione viene compiuta per l'asse globale Y e per l'asse globale Z. Se avviene, per una certa direzione, che tutti gli elementi beam connessi al nodo dissipativo hanno almeno un asse principale parallelo a quell'asse (e dunque le somme non trascurano alcun elemento beam) allora si esegue la verifica che il momento totale elastico ridotto degli elementi beam non dissipativi, superiori di F volte il momento totale (plastico) degli elementi beam dissipativi. Il fattore F vale 1.1 in classe di duttilità bassa e 1.3 in classe di duttilità alta. La verifica tiene conto della riduzione di momento elastico dovuta alla azione assiale negli elementi non dissipativi, ma non tiene conto di una loro flessione biassiale, come del resto previsto dalla normativa, che somma i momenti agenti su un piano. Per quanto riguarda gli elementi dissipativi, considerare il loro momento plastico privo di riduzioni è a favore di sicurezza. La verifica in questione è una generalizzazione della formula 7.5.11 di NTC 2008 (gerarchia delle resistenze trave-colonna):

$$\Sigma M_{C,pI,Rd} \leq \gamma_{ov} \Sigma M_{b,pI,Rd}$$

13 Al termine delle verifiche di tutti i nodi dissipativi, viene chiesto se creare un nuovo combiset, *che si potrà convenientemente usare per le verifiche di resistenza e stabilità degli elementi NON dissipativi*. Il combiset viene creato (e la domanda proposta) solo se c'è un combiset libero (ovvero uno dei 5 combiset è vuoto), o se esiste già un combiset marcato "OVS" (overstrength). Se il combiset viene creato, esso viene generato con queste regole. Si chiama "OVS" (OVER Strength). E' identico al combiset di partenza in tutte le combinazioni non sismiche. Nelle combinazioni sismiche, i fattori C associati ai casi sismici vengono amplificati del fattore  $1.1 \gamma_{ov,max} \Omega$ , dove  $\gamma_{ov,max}$  è il massimo fattore di sovrarresistenza dei materiali presenti nel modello, e  $\Omega$  è il fattore di sovrarresistenza della combinazione presa in esame, calcolato al punto 1.



Sargon® - by Castalia srl - www.castaliaweb.com - ver. 11.00 11-2014 - s.r.l. 100101

Al termine delle verifiche si può vedere una mappa a colori, con le zone dissipative colorate in funzione della verifica: verde per verifica soddisfatta, e rosso per verifica non soddisfatta. Il comando da usare è [Struttura-Gerarchia-Mostra Risultati](#)<sup>1313</sup>. Il comando è un flag e può essere attivato o meno.

### 3.5 Verifiche: il tabulato

Il tabulato è un file TXT che si chiama "MODELLO.CAPACITY.TXT", dove "MODELLO" è il nome del modello. Di seguito si commentano i tipici blocchi di stampa reperibili nel tabulato. Si fa presente che i numeri di questo esempio sono del tutto casuali.

Questo blocco enumera le scelte fatte prima di lanciare le verifiche:

```
Gamma,M0 = 1.00
Gamma,M2 = 1.25
Dissipative beam elements will be checked for maximum cross-section class
Ductility class: LOW
Assumed fixed length of dissipative beams:      2000.00 mm
Minimum non dimensional slenderness for dissipative truss elements:    1.30
Maximum non dimensional slenderness for dissipative truss elements:    2.00
```

Questo blocco dice per una certa combinazione sismica quale sia il suo fattore  $\Omega$  (Omega), ed a causa di quale elemento dissipativo affluente a quale nodo:

```
Computed Omega (min{Npl,Rdi / NEd,i}) to apply to seismic combination 4, is 4.35 (node 7,
truss 4)
```

Qui viene data l'informazione relativa al massimo e minimo coefficiente  $\Omega$  per una certa combinazione sismica, sugli elementi truss dissipativi:

```
Combi      4.Omega,Truss,Min=      4.35 Truss,Min=      4 Omega,Truss,Max=      7.64 Truss,Max
=      6 WARNING!!! CHECK NOT PASSED!!
```

Questo blocco segnala l'inizio di un nuovo nodo dissipativo:

```
*****
Node number    12 is connected to dissipative elements.
*****
```

Questo blocco si riferisce a un beam dissipativo:

```
Beam #      5 is      dissipative. IPE 200-S235:
Mpl2,Rd=  51850295.63 Mpl3,Rd=  10483328.9
Class is ok. (Class Max = 1 )
Maximum seismic axial force NEd is lower than 0.15 Npl,Rd (NEd =      1411.11,
Npl,Rd=  669278.65 )
Maximum seismic bending moment M2Ed is higher than Mpl,Rd (M2Ed =  88182838.52,
Mpl,Rd= 51850295.63 )
```



```

Maximum seismic bending moment M3Ed is lower than Mpl,Rd (M3Ed =      238.70,
Mpl,Rd= 10483328.90 )
Maximum capacity shear V3 is lower than 0.5 V3pl,Rd (V3 =      67566.22,
V3pl,Rd= 189893.59 )
Maximum capacity shear V2 is lower than 0.5 V2pl,Rd (V2 =      10483.33,
V2pl,Rd= 196514.63 )

```

Questo blocco si riferisce a un beam NON dissipativo:

```

Beam #      4 is NOT-dissipative. HE 220 B-S235
maxN,Ed=      36852.74 Redf= 0.98 Mel2,Red= 169874106.43 Mel3,Red= 59696361.4
This beam maximum capacity expl is 1.29, in combi 6, gov = 1.20 WARNING EXPL
> 1 !!!

```

Questo blocco si riferisce a un truss dissipativo:

```

Truss #      6 is      dissipative. O 33.7x3-S235: Npl=      67994.93
Class is ok. (Class N = 1 )
Slenderness check NOT PASSED: lam,s =      6.25
Maximum seismic axial force NEd is lower than Npl,Rd (NEd =      44480.02,
Npl,Rd= 67994.93 )

```

Questo blocco si riferisce ai dati riepilogativi sugli elementi affluenti al nodo dissipativo:

```

Number of column (z) dissipative elements:      0
Number of horizontal (xy) beam dissipative elements:      1
Number of truss dissipative elements:      1
Number of other dissipative elements:      0
Total number of dissipative elements:      2

Number of column (z) NOT-dissipative elements:      2
Number of horizontal (xy) beam NOT-dissipative elements:      1
Number of truss NOT-dissipative elements:      0
Number of other NOT-dissipative elements:      0
Total number of NOT-dissipative elements:      3

```

Questo blocco si riferisce al controllo sul bilanciamento tra momenti elastici e plastici afferenti al nodo. Il controllo viene eseguito in tutte le direzioni, ma spesso ha senso solo per una direzione soltanto (in questo caso, momento diretto come Y, sismi diretti come X). Il controllo su Z è messo per completezza, ma normalmente non ha significato.

```

X dir moment capacity check: MelX=      118426932 (Nmm) MplX=      0 (Nmm) gRD= 1.1
Expl =      0.00
Y dir moment capacity check: MelY=      336999923 (Nmm) MplY=      51850296 (Nmm) gRD= 1.1
Expl =      0.15
Z dir moment capacity check: MelZ=      0 (Nmm) MplZ=      10483329 (Nmm) gRD= 1.1
Expl =      99.00 !!!!!

```

## 2.28 Come gestire il report


### Come... gestire il report

Sargon è in grado di creare automaticamente un report, ovvero un documento che riassume i risultati più importanti opportunamente formattati con anche immagini tratte automaticamente dal programma, e spiegazioni. Il report è creato nel formato [ePUB](#), che è un nuovo formato molto utile per diverse ragioni che saranno ora spiegate, oppure nel formato **ODT** che è il formato di Open Office, compatibile con Word™.

Sia ePUB che ODT sono formati aperti non proprietari, che possono essenzialmente essere visti come HTML+JPG+ZIP. Se un file .ePUB o .ODT è rinominato cambiando la estensione in .ZIP sarà possibile strarre i file e dare uno sguardo alla struttura interna. Idealmente si possono modificare i file (html o xml) e poi ri-zippare il contenuto, rinominare lo ZIP ePUB, ed ottenere così il file aggiornato.

### ODT

Questo formato è direttamente apribile da Word, senza bisogno di conversione.

Quando viene eseguito il comando [File - Report](#)  <sup>654</sup>, il programma crea una sottocartella nella cartella dove si trova il modello .CSE, ed in quella cartella scrive il contenuto unzippato del file ePUB.

Se il modello si chiama "**MICKEY**", la cartella si chiamerà "**MICKEY.ODTDIR**". Il report in ODT format, già zippato e pronto all'uso, si chiamerà "**MICKEY.ODT**" e si troverà nella cartella del modello. Quindi alla fine della creazione del report si avrà:

<b>MIKEY.ODT</b>	il file con il report pronto all'uso nella cartella del modello.
<b>MIKEY.ODTDIR</b>	una sottocartella con una <b>copia</b> del file con il report, già unzippato per comodità

Tutta la informazione è contenuta nel file ODT, la sottocartella contiene invece una copia del file in formato unzippato..

Nella sottocartella si potranno trovare i file che, una volta zippati, danno luogo al file ODT stesso. Ciò può essere utile al fine di scorrere rapidamente le immagini ed i file html. La struttura del file ODT è questa:

#### **CARTELLA RADICE DELL' ODT**

content.xml	una lista di tutti i file che sono contenuti dentro l'ODT
settings.xml	impostazioni generali del file ODT
mimetype	un file che specifica il formato, non deve essere modificato
styles.xml	stili di formattazione del testo e delle tabelle
meta.xml	meta informazioni sul file

#### **META-INF (SOTTOCARTELLA)**

manifest.xml	non modificare
--------------	----------------

#### **OPF (SOTTOCARTELLA)**

tutti i file html e jpeg che sono usati dal file ePUB, *più altre immagini che sono create automaticamente e non usate*

#### **PICTURES (SOTTOCARTELLA)**

tutti i file con le immagini referenziate nel documento

#### **CONFIGURATIONS2 (SOTTOCARTELLA)**

non modificare

### **ePUB**

Ci sono diversi programmi gratuiti che possono essere usati per aprire un file ePUB, scorrendo il suo contenuto (uno particolarmente rapido è Adobe Digital Editions, gratuito; altri sono SIGIL, CALIBRE, ed altri ancora, tutti gratuiti). Dato che il formato ePUB è stato concepito per piccoli dispositivi come smart phone, o tablet, le pagine non hanno margini, o hanno margini ridotti a seconda del lettore utilizzato. I file EPUB sono molto compatti e possono essere letti usando tablets, nonché facilmente spediti via email.

Se il file ePUB deve essere modificato, o aggiornato dall'utente al fine di completarlo, il modo migliore è convertire il file ePUB in un file .DOC o .DOCX, o anche un .RTF, e poi aprirlo con l'editor preferito. Al fine di eseguire tale conversione dal formato di file ePUB ad altri formati (incluso PDF), raccomandiamo caldamente lo strumento AVS converter, che può essere acquistato ad un costo molto basso (39€ in Europa) e che sarà certamente utile anche per altre ragioni (conversioni da PDF a DOC, ad esempio). Per acquistare il prodotto di possono usare i seguenti link:

**Descrizione del prodotto:** <http://www.av4you.com/AVS-Document-Converter.aspx?sct=aff&ct=avangate&cid=40144>

**Demo download:** [http://www.av4you.com/download\\_product\\_direct.aspx?product=AVSDocumentConverter&sct=aff&ct=avangate&cid=40144](http://www.av4you.com/download_product_direct.aspx?product=AVSDocumentConverter&sct=aff&ct=avangate&cid=40144)

**Acquisto:** <http://www.av4you.com/Register.aspx?sct=aff&ct=avangate&cid=40144>

Il convertitore che abbiamo estensivamente usato per i nostri test si chiama "Document Converter". Si può aprire il file ePUB usando il convertitore, scegliere la cartella ove scrivere il file convertito a un altro formato, scegliere il formato preferito e poi, premendo un tasto, avviare la conversione. E' molto facile. Se si usa il formato DOC e DOCX, la prima cosa che si vorrà fare è applicare i margini alle pagine (menu: Layout di pagina-Margini in Word™). Si sarà quindi in grado di stampare il report in modo adeguato.

Se non si vogliono spendere i soldi del convertitore, si può usare il programma gratuito Sigil per editare e stampare con i margini desiderati. I margini possono essere aggiunti usando la anteprima di stampa. Sigil può essere gratuitamente scaricato qui:

**Sigil:** <http://code.google.com/p/sigil/downloads/list>

Quando viene eseguito il comando [File - Report](#)<sup>[654]</sup>, il programma crea una sottocartella nella cartella dove si trova il modello .CSE, ed in quella cartella scrive il contenuto unzippato del file ePUB.

Se il modello si chiama "**MICKEY**", la cartella si chiamerà "**MICKEY.EPUBDIR**". Il report in ePUB format, già zippato e pronto all'uso, si chiamerà "**MICKEY.EPUB**" e si troverà nella cartella del modello. Quindi alla fine della creazione del report si avrà:

**MIKEY.EPUB** il file con il report pronto all'uso nella cartella del modello.

**MIKEY.EPUBDIR** una sottocartella con una **copia** del file con il report, già unzippato per comodità

Tutta la informazione è contenuta nel file ePUB, la sottocartella contiene invece una copia del file in formato unzippato..

Nella sottocartella si potranno trovare i file che, una volta zippati, danno luogo al file ePUB stesso. Ciò può essere utile al fine di scorrere rapidamente le immagini ed i file html. La struttura del file ePUB è questa:

## CARTELLA RADICE DELL' EPUB

content.opf	una lista di tutti i file che sono contenuti dentro l'ePUB
mimetype	un file che specifica il formato, non deve essere modificato
toc.ncx	sommario ed istruzioni di navigazione

#### **META-INF (SOTTOCARTELLA)**


com.apple.ibooks.display-options.xml	non modificare
container.xml	non modificare

#### **OPF (SOTTOCARTELLA)**

tutti i file html e jpeg che sono usati dal file ePUB, *più altre immagini che sono create automaticamente e non usate*

La prima pagina del file ePUB è la copertina, con una tabella di dati.

Il report ePUB è attualmente alla prima release e sarà ulteriormente migliorato nelle prossime versioni del programma.

Il comando per creare il report ePUB è [File-Crea Report](#)  <sup>6541</sup>.

## **2.29 Come eseguire analisi di pushover e di verifica delle capacità**

# **Come... eseguire analisi di pushover e di verifica delle capacità**

## **Inquadramento**

### **Pushover: una analisi per tutti i fini**

La analisi di pushover (PA) è stata introdotta nella nostra normativa ormai 12 anni fa, nel 2003, con la Ordinanza PCM 3274/2003. Considerata da molti ambienti accademici e non come una specie di anello intermedio tra l'analisi modale e la time history non lineare, essa mostra soprattutto molti limiti, che però spesso vengono taciuti volentieri in vista dell'ottenimento di una serie di risultati molto suggestivi e tali da far apparentemente trarre conclusioni molto importanti.

Di fatto l'analisi fa uso delle forze apparenti coerenti con una analisi modale e a spettro di risposta, per caricare la struttura in modo da portarla a collasso. Quindi, il punto di partenza di una analisi di pushover è sempre una analisi modale, che dà luogo tramite spettro di risposta a forze che sono impiegate, opportunamente riscalate, per snervare sino al collasso la struttura.

Nella sua versione originale, la PA fa uso di un solo modo, quello dominante, e quindi ai fini della individuazione del sistema di forze fa implicitamente uso di un modello a un grado di libertà (SDOF). Tale forte ipotesi è anche mantenuta per ottenere da un sistema a molti gradi di libertà una sola curva di tipo carico-spostamento, la quale è impiegata per ottenere le caratteristiche meccaniche di un sistema SDOF (massa e rigidezza). Lo spostamento è quello di un particolare nodo strutturale, detto *nodo di controllo*, e la forza è il taglio alla base applicato, ovvero, in buona sostanza, la risultante delle forze ottenute con la analisi a spettro di risposta, moltiplicate per un fattore amplificativo variabile.

Scopo della analisi è determinare lo spostamento richiesto al sistema e da questo ottenere le duttilità di curvatura ed altre misure di impegno cinematico locali, che devono poi essere raffrontate con opportune soglie dipendenti dalla tipologia strutturale (ad esempio, travi o colonne in c.a., travi o colonne in acciaio, edifici con o senza tamponamenti, e così via) e dallo stato limite considerato.

La ragione per cui questa sezione è così intitolata è da ricercare nell'ampio spettro di compiti che è assegnato a questa analisi, anche quando mancherebbero le premesse per poterla applicare. Così, in letteratura si vede scritto che la pushover:

- è utile per determinare i fattori di struttura da assegnare a una certa costruzione (magari incapace di comportamento plastico);
- è utile per stimare la domanda di duttilità globale e locale e la progressiva invasione della plasticità nella struttura;
- è utile per dare più margini a strutture (esistenti) che altrimenti con altri sistemi sarebbero condannate, e quindi è il sistema di elezione per strutture esistenti.
- ... e così via.

Tali generose generalizzazioni dimenticano volentieri i considerevoli limiti della analisi, in parte legati alla incertezza dei dati di ingresso (tipicamente gli spettri, e i periodi, i legami

costitutivi, il contributo delle parti non strutturali, le masse, eccetera) ed in parte intrinsecamente legati al metodo in quanto tale, anche in presenza della divinatoria capacità di valutare con precisione i dati di ingresso: effetto delle irregolarità in pianta ed elevazione, perdita di linearità all'attingimento della prima plasticizzazione, effetti legati alla variabilità dei risultati con il nodo di controllo, con la distribuzione delle forze, eccetera.

### **Tipologie di pushover**

Essendo chiari a tutti i limiti della analisi di pushover classica, non ultimo tra i quali il fatto che non vi sono motivazioni teoriche effettivamente coerenti e solide dietro di essa, negli anni sono state proposte diverse metodologie atte a superare, nelle intenzioni di chi le ha proposte, i limiti originari.

Le principali metodologie proposte come alternativa o integrazione alla PA unimodale classica sono:

- Le analisi di PA multimodali, le quali eseguono una PA unimodale su vari modi importanti separatamente, e poi calcolano un risultato finale, per ogni grandezza di interesse, mediante tecniche di SRSS o CQC.
- Le analisi di PA adattive, che ricalcolano i modi e le ordinate spettrali, nonché la distribuzione delle forze, via via che l'analisi progredisce in campo plastico.

Entrambi i rimedi sono discutibili.

Il primo perché eredita la approssimazione basata sulla radice quadrata del vecchio metodo di analisi a spettro di risposta, per di più con errori che si rivelano molto forti su strutture irregolari.

Il secondo perché a fronte di un significativo maggior onere computazionale non ha da offrire molto in termini di miglior metodologia, giacché alcuni limiti sostanziali del metodo, come l'uso di un solo punto di controllo e la variabilità dei risultati in sua funzione, la necessità di strutture altamente regolari, e l'uso di un solo modo anziché tutti, restano sostanzialmente immutati.

### **Criticità legate all'uso della pushover**

Sebbene propagandata come panacea, l'analisi di pushover dà informazioni affette da gravi errori rispetto ai risultati ottenibili con time history non lineare. Ciò è in specie vero per la stragrande maggioranza delle strutture esistenti che sono altamente irregolari in pianta e spesso in elevazione e non dispongono di un comportamento duttile tale da consentire una vera analisi plastica.

Sargon la include per evitare che i propri clienti se ne trovino sprovvisti a fronte di richieste in questo senso provenienti dalle terze parti, ma deve essere chiaro che l'analisi in questione dà risultati sempre da considerare con critica attenta. Non solo sul fronte della domanda, stimata mediante le metodologie che sono state brevemente richiamate, ma anche sul fronte della capacità, dove la proposta di valori di soglia per gli spostamenti relativi di interpiano e per i valori limite della rotazione rispetto alla corda, deve essere coniugata con la estrema variabilità del costruito, l'effetto benefico o malefico delle parti non strutturali, l'interazione tra le varie componenti di sollecitazione (spesso trascurata o valutata sommariamente, in specie dai modelli a plasticità concentrata), l'incertezza sulle leggi costitutive, eccetera. Pertanto assegnare la suggestiva etichetta di "stato limite di collasso" al raggiungimento di certe soglie di drift di piano o di rotazione plastica, appare come una sostanziosa convenzione più che come una puntuale attribuzione di una qualifica sulla base di comportamenti misurabili.

### **Scopo della analisi di pushover**

Scopo della analisi di pushover è trovare il punto di prestazione, o *performance point*, sulla curva unidimensionale carico-spostamento. A tale punto corrisponderà un campo di spostamenti e deformazioni nella struttura 3D originaria (*domanda*), che potrà essere puntualmente raffrontato con le soglie previste per ciascun stato limite (*capacità*).

Il performance point viene trovato stabilendo una analogia con il comportamento di un oscillatore elasto-plastico equivalente.

Sono fondamentali:

- La rigidezza e la massa del sistema equivalente (vari i criteri possibili per stabilire la equivalenza).
- Lo spettro di risposta adoperato per l'oscillatore equivalente e la domanda di spostamento ad esso associata (sito, PGA, effetti di suolo ecc.: hazard sismico).



- La corretta modellazione del comportamento strutturale (masse, rigidezze, leggi costitutive, sorgenti delle non linearità).
- La significatività del punto di controllo.
- La distribuzione (costante, lineare, modale, ecc.) delle forze applicate.

### **Limiti di applicabilità**

Di fatto la struttura dovrebbe essere altissimamente regolare, e tale quindi da appiattirsi in modo sostanziale sul comportamento del primo modo. Effetti multimodali o torsionali abbattano considerevolmente la affidabilità del metodo.

I piani dovrebbero essere membranalmente rigidi, in modo da poter considerare un punto di controllo come effettivamente rappresentativo.

La modellazione delle leggi costitutive e delle sedi di plasticizzazione deve essere accurata. Si dovrebbe tener conto della interazione tra le varie componenti di sollecitazione, cosa assai difficile con modelli a cerneiere plastiche concentrate (Sargon usa invece la plasticità diffusa, con modelli a fibre).

La determinazione delle soglie di spostamento locale e di drift (capacità) in funzione della tipologia strutturale dovrebbe essere molto attenta, o in alternativa si dovrebbero considerare opportuni margini di incertezza.

Lo studio della sensitività della risposta alla scelta del punto di controllo, della distribuzione ed intensità di massa, delle modalità di stabilire l'equivalenza con l'oscillatore semplice, delle distribuzioni di forze, e delle forme spettrali (hazard sismico) sarebbe consigliata, ma porterebbe a un onere computazionale forte, in parte mitigato, usando Sargon, dalla disponibilità di comandi specifici.

## **La preparazione del modello di partenza**

### **Stati limite e terremoti**

Normalmente, ad ogni diverso stato limite deve essere associato uno spettro di risposta (nelle sue tre componenti X, Y e Z), figurativamente in relazione con un certo possibile terremoto di progetto. L'analisi di pushover, comunque, utilizza solo le direzioni X ed Y.

Se si devono eseguire le verifiche per ogni stato limite, a ciascuno stato limite dovrà essere associato un certo livello di severità di scuotimento.

A tale severità di scuotimento sarà possibile associare un *performance point* mediante una specifica analisi pushover, ed eseguire le verifiche di capacità locali conseguenti (drift di piano, elongazioni delle bielle o loro accorciamenti, e rotazioni plastiche).

In tal modo:

1. Ad ogni terremoto corrispondono varie analisi di pushover, corrispondenti alle diverse direzioni del sisma (X ed Y) ed alle diverse scelte delle modalità di esecuzione delle analisi di pushover (ad esempio la distribuzione delle forze lungo l'altezza della struttura).
2. Ad ogni singola analisi di pushover corrispondono una quantità di "prestazioni", ciascuna letta localmente in corrispondenza agli elementi dissipativi e ai drift di piano.
3. Tutte queste verifiche devono essere contemporaneamente soddisfatte.

### **Prerequisiti per le analisi di pushover**

Dato che le analisi di pushover sono analisi non lineari, è necessaria la disponibilità del modulo non lineare CURAN. La versione CURAN LIGHT è sempre disponibile e tratta la non linearità di materiale e geometrica di elementi biella e molla. Per la non linearità di materiale degli elementi beam (trave, modello a fibre) è necessaria la versione FULL di CURAN.

Pertanto:

- Per strutture CBF (Concentrically Braced Frames) o BRBF (Buckling Restrained Bracing Frames) si può usare CURAN LIGHT, sempre disponibile.
- Per strutture MRF (Moment Resisting Frames) ed EBF (eccentrically Braced Frames) è necessario disporre di CURAN FULL.

### **Preparazione del modello per le pushover**

Dato un modello originario usato per le normali analisi statiche e modali, questo deve essere opportunamente preparato, verosimilmente salvandolo con altro nome, ai fini delle analisi di pushover. Questo modello modificato sia il modello "padre".

La preparazione del modello comporta essenzialmente i seguenti passi:

- Attribuzione di materiali non lineari a tutti quegli elementi che potrebbero snervarsi sotto l'azione dei carichi di pushover applicati. Qui è molto importante anche che le soglie di deformazione ultima siano realistiche perché al loro attingimento corrisponde la rottura (di fibre per gli elementi beam, o di elementi per i truss). Si possono scegliere modelli costitutivi perfettamente plastici o incrudenti. Ovviamente la risposta ne sarà fortemente influenzata.
- Incremento della discretizzazione nelle zone dove sono verosimili cerniere plastiche (elementi beam), al limite, nella intera struttura. Una buona scelta, per le ragioni chiarite più sotto, è dividere in elementi in modo che l'elemento strutturale sia lungo circa sei volte l'elemento finito.
- Inserimento della combinazione "quasi permanente", atta a descrivere i carichi concomitanti al sisma, se non presente.
- Definizione degli spettri di risposta (sino a 5) per le analisi di pushover desiderate, ed in corrispondenza con gli stati limite desiderati. Gli spettri di risposta saranno identificati con etichette di tre lettere come "SLV", "SLC", "EA1", eccetera.
- Definizione delle zone dissipative (estremi di elementi trave o biella), mediante il comando [Struttura-Aggiungi DZONA](#)<sup>[1309]</sup>.
- Esecuzione della analisi modale sul modello padre.
- Scelta delle impostazioni delle analisi non lineari, in particolar modo per scegliere che tipo di non linearità attivare: solo di materiale, solo geometrica, o di materiale e geometrica. E' anche possibile scegliere le tolleranze e in generale varie impostazioni specifiche per le analisi non lineari.

### **Impostazione delle analisi di pushover**

Una volta preparato il modello padre, ed eseguita la analisi modale su di esso, è possibile impostare le analisi di pushover. Ciò si fa con il comando [Post-Pushover-Imposta](#)<sup>[1216]</sup>, il quale dà accesso ad un dialogo che consente di impostare le pushover per ogni famiglia di spettri: ad

esempio per SLV, SLC, SLO ed SLD. Le impostazioni della analisi non lineare propriamente detta si fanno invece altrove, [nelle impostazioni del solutore CURAN](#)<sup>[621]</sup>.

Date le cinque famiglie di spettri (normalmente associate a stati limite diversi), si può scegliere per quali di esse attivare la richiesta di analisi di pushover e si può scegliere come impostare tali analisi di pushover.

Sono possibili due strategie alternative:



1. Attivare ed impostare le pushover per spettri diversi, associati a stati limite diversi. Ad esempio con le norme italiane per SLD ed SLV, o per SLO, SLD, SLV ed SLC.
2. Attivare ed impostare più spettri identici relativi allo stesso stato limite (ad esempio LV1, LV2...) *ma usando modi diversi*. Ciò consente, come vedremo, di eseguire una MPA (modal pushover analysis, ovvero una analisi pushover multimodale). Possono essere richiesti sino a 5 modi diversi.

Scelta una famiglia di spettri (ad esempio SLV) si devono impostare le sue analisi pushover. Ciò si fa specificando:

1. Il numero del nodo di controllo.
2. Il numero della combinazione che corrisponde ai carichi quasi permanenti.
3. Il numero di modo per la pushover in direzione X.
4. Il numero di modo per la pushover in direzione Y.
5. Il fattore di amplificazione delle azioni spettrali per la direzione X. Un fattore unitario applica lo spettro *elastico* con smorzamento al 5%.
6. Il fattore di amplificazione delle azioni spettrali per la direzione Y. Un fattore unitario applica lo spettro *elastico* con smorzamento al 5%.
7. Se per l'equivalenza che tara le proprietà dell'oscillatore semplice usare il metodo dell'Eurocodice 8 o quello delle NTC 2008/2018.

8. I livelli di prestazione richiesti per quello stato limite. Ovvero: le rotazioni rispetto alla corda nelle cerniere plastiche (elementi trave), i limiti di deformazione in trazione e compressione (elementi biella), e i limiti di drift.

Per definire quali elementi e nodi dovranno essere monitorati ai fini delle analisi di capacità, Sargon usa la seguente convenzione:

- Verranno monitorati gli elementi beam (trave) dichiarati dissipativi mediante il comando [Struttura-Gerarchia-Aggiungi DZona](#) 
- Verranno monitorati gli elementi truss (biella) dichiarati dissipativi mediante il comando [Struttura-Gerarchia-Aggiungi DZona](#) 
- Verranno memorizzati e monitorati i nodi selezionati al momento della esecuzione del comando e esplicitamente importati come estremi di drift da considerare all'interno del comando stesso. Quindi, prima di eseguire il comando di impostazione della pushover, è opportuno selezionare i nodi che corrispondono ai drift ai quali si è interessati.

### **Modelli padre e figli**

Una volta avuta la disponibilità del modello padre, e impostate le pushover, Sargon può generare automaticamente molti modelli "figlio", che hanno le seguenti caratteristiche:

1. Hanno un primo caso di carico che corrisponde a un primo step non lineare, nel quale sono applicati i carichi quasi permanenti definiti dalla combinazione del modello padre. I modelli figlio assumono che tutti i casi di carico che definiscono la combinazione "quasi permanente" agiscano contemporaneamente ed esplicitamente come azioni (e non più come combinazioni), scalate al valore di combinazione definito nel modello padre.
2. Hanno un secondo caso di carico la cui piena applicazione corrisponderebbe alla assegnazione delle forze coerenti con il modo scelto (secondo il profilo di carico scelto), amplificate per la quantità predeterminata dall'utente (forze della pushover). Un fattore 1 corrisponde alle azioni spettrali relative allo spettro *elastico* ( $q=1$ , smorzamento del 5%).

3. Sono pronti per la esecuzione di una analisi non lineare, in cui sono attivate le stazioni. Quindi prima sarà applicato il primo caso di carico corrispondente ai carichi quasi permanenti, e poi da lì il secondo corrispondente alle analisi di spinta.
4. Sono tali da consentire la memorizzazione su disco di tutte le curve carico spostamento o carico deformazione necessarie a ricostruire i valori della "domanda" al crescere del carico.
5. Sono preimpostati in modo da usare l'*arc length* come metodo di analisi, in modo da procedere lungo eventuali rami discendenti o piatti.

## **Creazione dei modelli per le pushover e loro esecuzione**

Dato un modello padre chiamato MODELLO, un certo spettro, ad esempio SLV, mediante in comando [Post-Pushover-Crea Modelli!](#)<sup>[1220]</sup> Sargon crea i seguenti modelli:

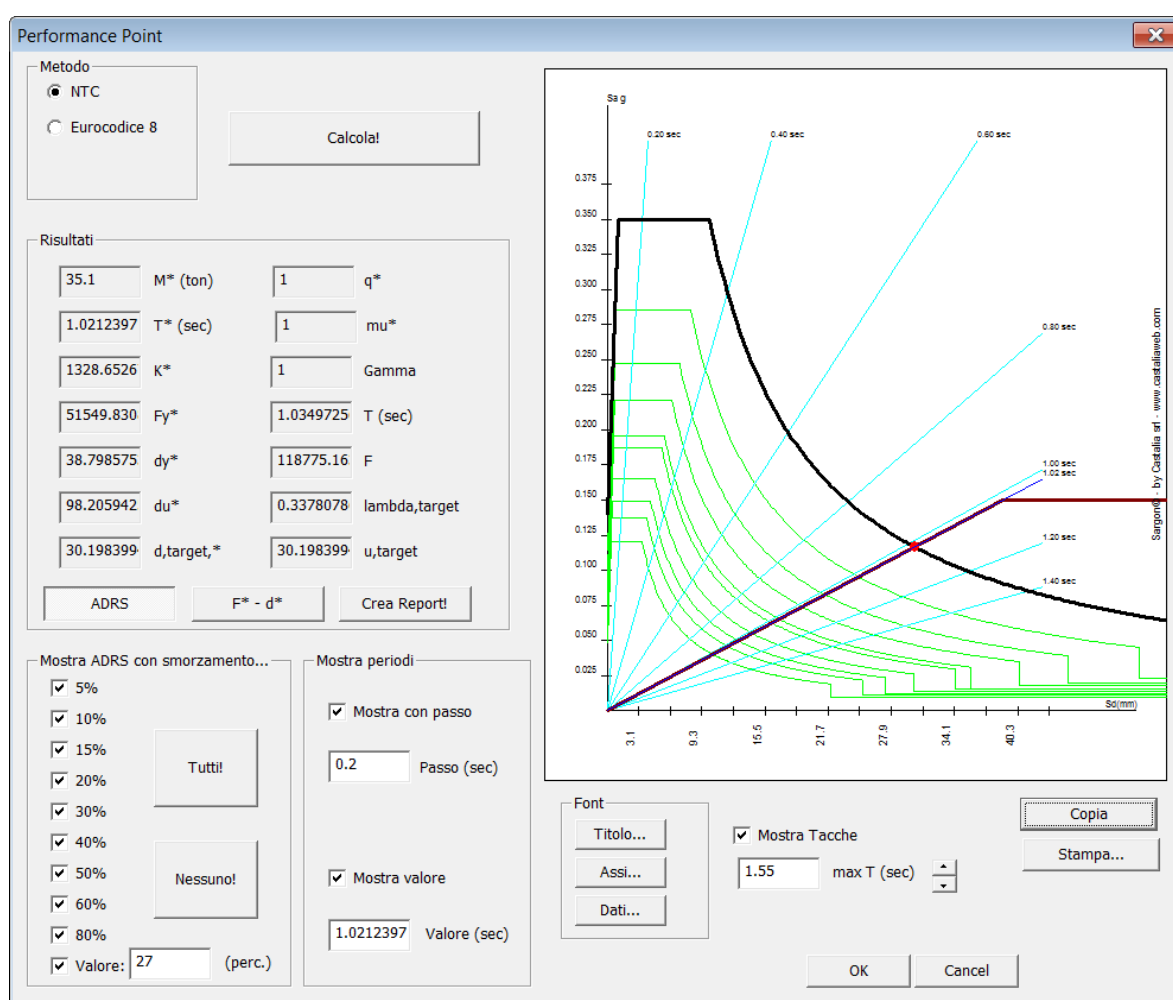
MODELLO_SLV_PUSHOVER_PX_MODAL.WSR distribuzione modale.	Direzione	X	positiva,
MODELLO_SLV_PUSHOVER_MX_MODAL.WSR distribuzione modale.	Direzione	X	negativa,
MODELLO_SLV_PUSHOVER_PX_CONSTANT.WSR distribuzione costante.	Direzione	X	positiva,
MODELLO_SLV_PUSHOVER_MX_CONSTANT.WSR distribuzione costante.	Direzione	X	negativa,
MODELLO_SLV_PUSHOVER_PY_MODAL.WSR distribuzione modale.	Direzione	Y	positiva,
MODELLO_SLV_PUSHOVER_MY_MODAL.WSR distribuzione modale.	Direzione	Y	negativa,
MODELLO_SLV_PUSHOVER_PY_CONSTANT.WSR distribuzione costante.	Direzione	Y	positiva,

MODELLO\_SLV\_PUSHOVER\_MY\_CONSTANT.WSR  
distribuzione costante.

Direzione Y negativa,

La esecuzione di tutte le analisi non lineari corrispondenti a tutti gli spettri richiesti, viene eseguita automaticamente mediante il comando [Post-Pushover-Analizzali!](#)<sup>[222]</sup>.

## Esame delle singole analisi di pushover



Una volta lanciate le analisi di pushover, sarebbe buona norma controllare i risultati della analisi per ciascuna di esse. Dato che il numero di queste analisi può essere molto elevato (sino a 40 in un sol colpo), è evidente che un tale lavoro può essere molto ingente. Comunque,

se ci si limita ad una sola analisi per ciascuna direzione, verso e distribuzione di azioni, il numero di questi controlli scende a 2 per ciascuno stato limite con un massimo di 10 controlli totali.

Per controllare i risultati di una singola analisi occorre aprire il modello creato automaticamente ed eseguire il comando [Post-Pushover-Prestazione](#)<sup>1227</sup>. Questo comando non è accessibile sul modello padre, dato che non sarebbe chiaro a quale particolare pushover delle molte eseguite, esso si dovrebbe riferire.

Il comando corrisponde di fatto alla disponibilità del dialogo della figura precedente, ed alla disponibilità di un report come quello elencato qui di seguito (botone Crea Report).

```
-----
-                                     -
-                               Pushover Results                               -
-                                     -
-                                     -
-                                     -
- Sargon © by Castalia srl - www.castaliaweb.com -
-----
```

```
Model                                     path:                               C:
\ANALISI\SARGON\1190\Mensola.SLC.PUSHOVER_PX_MODAL.STATION_0002
.pmc
```

```
Spectrum:    SLC
Direction X
```

Original structure data

```
Period                                     = 1.035 sec
Mode number                               = 1
Control node                              = 8
Combination                               = 1
Elastic spectrum force amplification factor= 3.000
```



Total applied shear (lambda = 1.)	=	118775.163195
N		
Partecipation mass	=	35.10
ton		
Conversion factor (Gamma)	=	1.000

-----  
 Method: NTC Norme Tecniche per le Costruzioni (N2)  
 -----

Equivalent stiffness	K,star	=	1328.652672
N/ mm			
Equivalent mass	M,star	=	35.100000
ton			
Equivalent period	T,star	=	1.021 sec
Equivalent displacement at yield	dy,star	=	38.798575
mm			
Equivalent force at yield	Fy,star	=	
51549.830847 N			
Equivalent ultimate displacement	du,star	=	98.205943
mm			
Equivalent q factor	q,star	=	1.00
Equivalent mu factor	mu,star	=	1.00
Equivalent target displacement	d,target,star	=	30.198399
mm			
Equivalent target force	F,target,star	=	
40123.184173 N			
Target displacement	u,target	=	30.198399
mm			
Fraction of total applied shear	lambda,target	=	0.338

Di fatto è molto importante considerare la forma della curva SDOF carico spostamento (tasto  $F^*-d^*$ ), per esaminare se l'analisi è stata spinta a sufficienza, e per verificare già a colpo d'occhio se la risposta è duttile o no.

I risultati sono dati in due piani: piano ADRS e piano  $F^*-d^*$ .

In quest'ultimo piano si dà sia la curva SDOF carico spostamento, sia la sua linearizzazione.

Nel piano ADRS (acceleration-displacement response spectrum), si danno le accelerazioni in funzione degli spostamenti. Lo spettro di risposta in accelerazione  $S_a(T)$  e in spostamento  $S_d(T)$  possono essere messi in relazione eliminando  $T$  dando luogo allo spettro ADRS, dove  $S_a$  è funzione di  $S_d$ :  $S_a(S_d)$ .

La curva carico spostamento dell'oscillatore SDOF, dividendo le ordinate (forza) per la massa equivalente  $M^*$  può anch'esso dar luogo a una curva accelerazione-spostamento (curva rossa), che viene rappresentata nel medesimo piano.

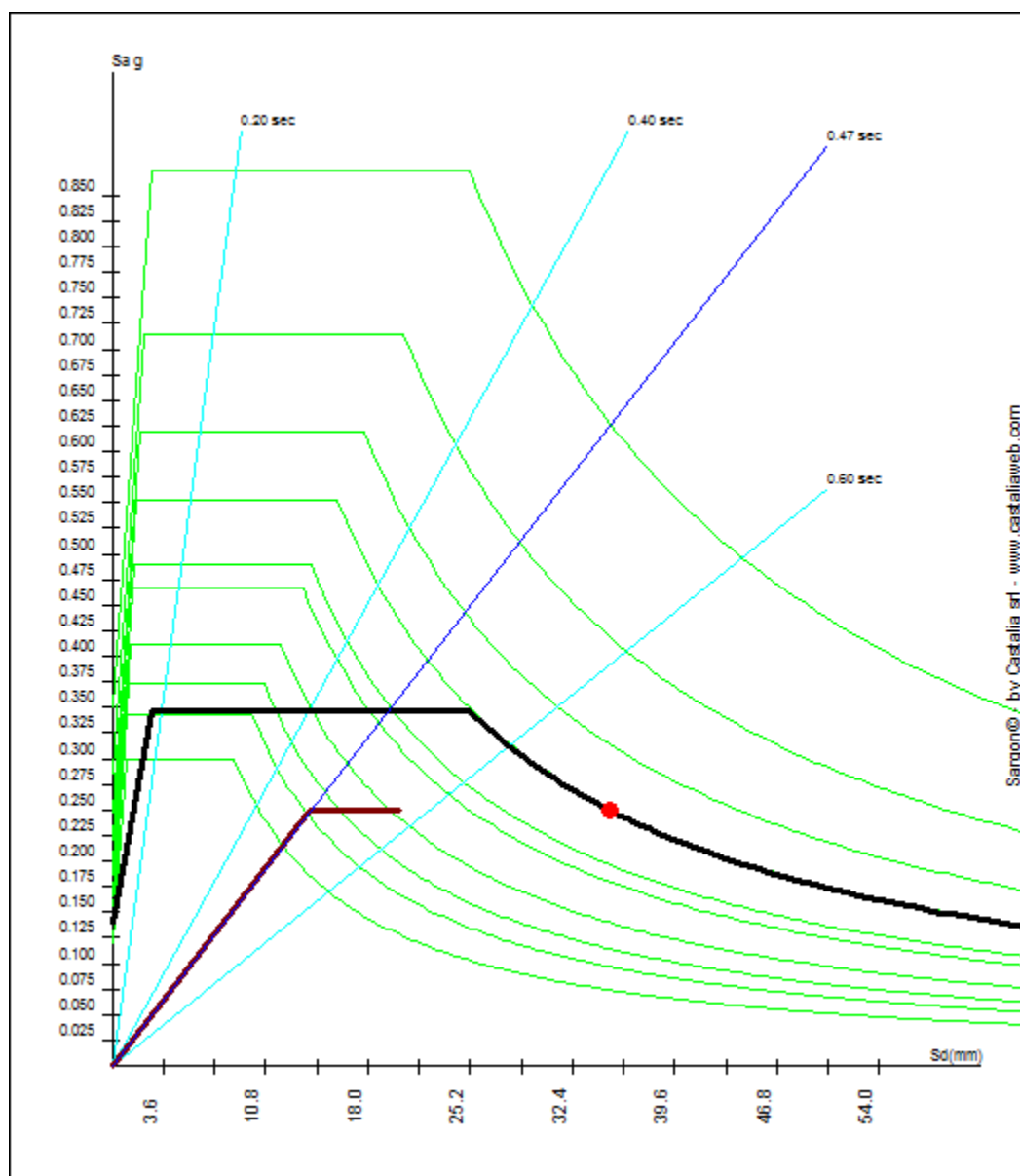
Il punto di intersezione tra le due curve rappresenta il *performance point*.

Considerando quindi il piano ADRS, ovvero accelerazione-spostamento, è possibile osservare se l'intersezione della curva di capacità (curva rossa) con quella di domanda (curva nera) avviene nel ramo elastico o in quello plastico dell'oscillatore semplice equivalente. Il punto di intersezione è il *performance point*, e lo spostamento del sistema SDOF corrispondente è il punto della analisi non lineare che corrisponde allo stato di deformazione della struttura originaria al quale si è interessati. In tutte le curve di risposta in funzione del parametro di carico, in corrispondenza a quel punto sarà possibile leggere il valore corrispondente e così stimare le domande per le rotazioni delle cerniere e per le elongazioni o accorciamenti delle bielle, così come per i drift di piano.

Tale ricerca, comunque, sarebbe molto laboriosa, e un [comando specifico](#)<sup>[223]</sup> consente di automatizzarla per tutte le analisi di pushover e per tutti gli indicatori di cimento.

Possono avvenire alcune situazioni particolari:

- Il punto di intersezione è nel ramo elastico della curva rossa. Ciò implica che non vi è escursione plastica (vedi figura precedente).

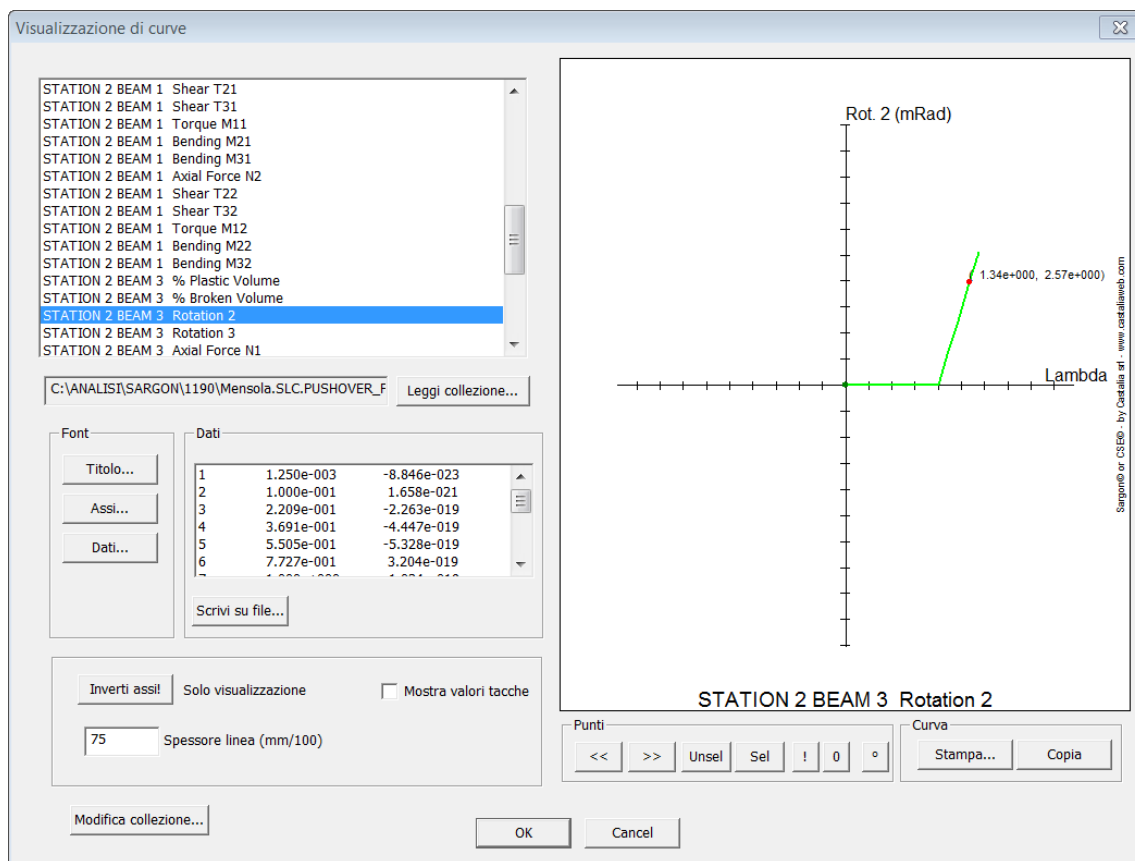


- il performance point sia al di là di quanto effettivamente calcolato con la analisi non lineare. In tal caso, o si deve aumentare l'entità della amplificazione (se l'analisi in arc length si è arrestata per il raggiungimento della lunghezza di arco richiesta), o si deve constatare che la struttura non è in grado di arrivare al performance point (ottenuto intersecando la estrapolazione della curva bilineare equivalente: ciò avviene per il raggiungimento di rotture o per la impossibilità di convergere, eventualmente anche a causa di fenomeni del secondo ordine, se attivati). In questo caso nel report sarà detto:

\*\*\* Target displacement higher than ultimate displacement!! \*\*\*

## Verifica delle capacità

Lo scopo finale delle analisi di pushover è verificare che localmente la domanda di spostamento non ecceda la capacità. Ad una singola analisi di pushover possono essere associate dozzine di diversi indicatori da controllare, ad ognuno dei quali è associata una distinta curva in funzione del parametro di carico.



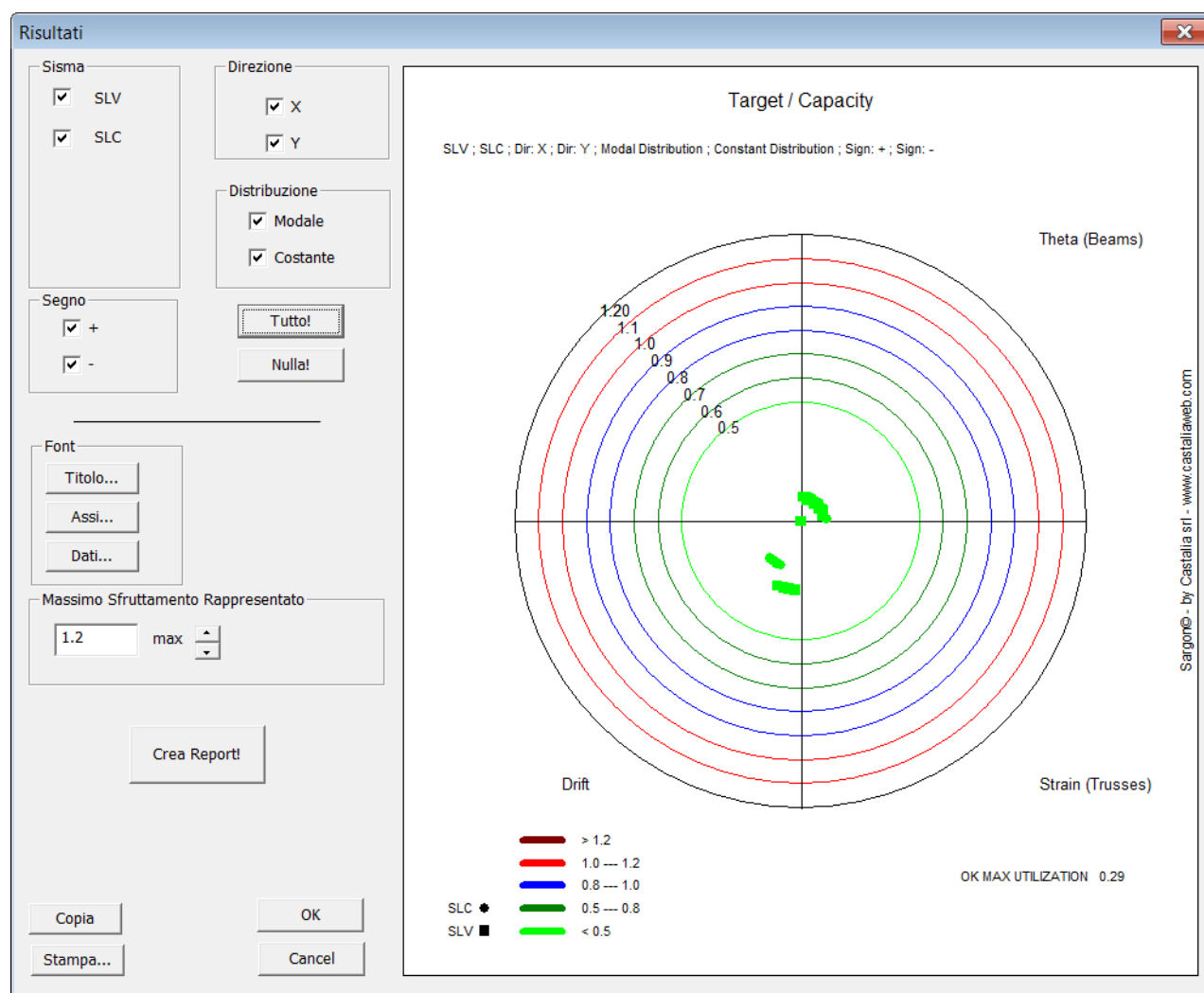
Se si considera per esempio un singolo indicatore, come può essere la rotazione plastica in una cerniera, si vede che occorrerebbe aprire la curva corrispondente (con il comando [Post-Curve](#)<sup>[1250]</sup>) alla stazione 2, elemento beam corrispondente, e verificare il punto corrispondente al performance point ad esempio della rotazione 2. Una delle operazioni compiute dal programma quando si esegue una pushover, è quella di aprire i file .pmc con le curve ed aggiungere a tutte queste curve memorizzate su file il punto corrispondente al performance point. Tale punto viene aggiunto e selezionato, e così appare in rosso aprendo la curva. E' da

notare che l'ascissa è maggiore di 1 dato che siamo nella stazione 2, che va da 1 a 2, applicata al termine della stazione 1 che va da 0 ad 1 (nella figura che precede il performance point è 1.34-2.57mRad, dunque corrisponde a 0.34 volte la applicazione dei carichi della stazione 2).

Una tale operazione, da ripetersi per ogni indicatore e per ogni pushover sarebbe alquanto onerosa.

Quindi, a tale fine, è possibile adoperare il comando [Post-Pushover-Risultati](#)<sup>[223]</sup>, che essenzialmente fa questa operazione in modo automatico:

- Per tutte le analisi di pushover richieste.
- Per tutti gli indicatori di danno richiesti.



***Il comando è accessibile solo dal modello padre.***

Alla esecuzione del comando compare il dialogo della figura precedente, che unifica la rappresentazione delle verifiche di danno.

1. I controlli posti a sinistra consentono di aggiungere o rimuovere dai risultati rappresentati in figura sismi (stati limite), direzioni (X o Y), Distribuzioni (costante o modale) e Segni (positivo o negativo).
2. Il piano è diviso in 4 quadranti, tre dei quali sono associati a famiglie di indicatori di danno. Il primo quadrante è associato alle *rotazioni delle cerniere plastiche*. Il secondo quadrante *alle deformazioni delle bielle*. Il terzo quadrante *ai drift di piano*. Il quarto quadrante è al momento inutilizzato.
3. La distanza dal centro (lunghezza del raggio) dà la misura dello *sfruttamento*, espresso come *rapporto tra la domanda (calcolata dalla pushover) e la capacità (impostata dall'utente per le varie tipologie di danno)*. Circonferenze iso sfruttamento aiutano a capire la entità dei danneggiamenti.
4. Il colore dei simboli è in relazione con la entità dello sfruttamento, come ricordato dalla legenda.
5. La forma del simbolo, è in relazione con lo stato limite/sisma.
6. Tanto più i punti sono vicini al centro tanto meglio l'analisi.
7. Dato che le soglie (capacità) dipendono dallo stato limite (e crescono con gli stati limite più severi) non è in generale detto che le verifiche più severe siano quelle corrispondenti agli stati limiti annessi a sismi con scuotimenti maggiori.

Questa rappresentazione consente a colpo d'occhio di tenere sotto controllo molte decine di indicatori di danno, e dà una chiara idea della severità del cimento. La possibilità di isolare singoli stati limite, direzioni, distribuzioni e segni, consente di specializzare le rappresentazioni selettivamente. Il pulsante Crea Report dà luogo alla creazione di un file, in cui le quantità sono puntualmente indicate. Di seguito un esempio di tale file.

```

-----
-
-           Target vs Capacity Pushover Results
-
-
-
- Sargon © by Castalia srl - www.castaliaweb.com
-----

```

Model path: C:\ANALISI\SARGON\1190\Mensola.

```

-----
Caption
-----

```

```

C:          capacity
const:      constant
Dir:        direction
F:          force distribution
mod:        modal
T:          target
U:          utilization ratio
V:          verse of the applied forces (positive or negative)

```

```

-----
-

SLV Dir:X F=    mod V=+
SLV Dir:X F=    mod V=+ Beam 1, axis 2 Rotation (rad) T= 2.049e-
003 C= 2.014e-002 U=0.10
SLV Dir:X F=    mod V=+ Beam 1, axis 3 Rotation (rad) T=
0.000e+000 C= 2.014e-002 U=0.00
SLV Dir:X F=    mod V=+ Beam 3, axis 2 Rotation (rad) T= 1.833e-
003 C= 2.014e-002 U=0.09
SLV Dir:X F=    mod V=+ Beam 3, axis 3 Rotation (rad) T=
0.000e+000 C= 2.014e-002 U=0.00

```

```

SLV Dir:X F= const V=+
SLV Dir:X F= const V=+ Beam 1, axis 2 Rotation (rad) T= 2.049e-
003 C= 2.014e-002 U=0.10
SLV Dir:X F= const V=+ Beam 1, axis 3 Rotation (rad) T=
0.000e+000 C= 2.014e-002 U=0.00
SLV Dir:X F= const V=+ Beam 3, axis 2 Rotation (rad) T= 1.833e-
003 C= 2.014e-002 U=0.09
SLV Dir:X F= const V=+ Beam 3, axis 3 Rotation (rad) T=
0.000e+000 C= 2.014e-002 U=0.00
SLV Dir:X F= mod V=-
SLV Dir:X F= mod V=- Beam 1, axis 2 Rotation (rad) T=-2.049e-
003 C= 2.014e-002 U=0.10
SLV Dir:X F= mod V=- Beam 1, axis 3 Rotation (rad) T=
0.000e+000 C= 2.014e-002 U=0.00
SLV Dir:X F= mod V=- Beam 3, axis 2 Rotation (rad) T=-1.833e-
003 C= 2.014e-002 U=0.09
SLV Dir:X F= mod V=- Beam 3, axis 3 Rotation (rad) T=
0.000e+000 C= 2.014e-002 U=0.00
SLV Dir:X F= const V=-
SLV Dir:X F= const V=- Beam 1, axis 2 Rotation (rad) T=-2.049e-
003 C= 2.014e-002 U=0.10
SLV Dir:X F= const V=- Beam 1, axis 3 Rotation (rad) T=
0.000e+000 C= 2.014e-002 U=0.00
SLV Dir:X F= const V=- Beam 3, axis 2 Rotation (rad) T=-1.833e-
003 C= 2.014e-002 U=0.09
SLV Dir:X F= const V=- Beam 3, axis 3 Rotation (rad) T=
0.000e+000 C= 2.014e-002 U=0.00
SLC Dir:X F= mod V=+
SLC Dir:X F= mod V=+ Beam 1, axis 2 Rotation (rad) T= 2.869e-
003 C= 2.686e-002 U=0.11
SLC Dir:X F= mod V=+ Beam 1, axis 3 Rotation (rad) T=
0.000e+000 C= 2.686e-002 U=0.00
SLC Dir:X F= mod V=+ Beam 3, axis 2 Rotation (rad) T= 2.567e-
003 C= 2.686e-002 U=0.10
SLC Dir:X F= mod V=+ Beam 3, axis 3 Rotation (rad) T=
0.000e+000 C= 2.686e-002 U=0.00
SLC Dir:X F= const V=+
SLC Dir:X F= const V=+ Beam 1, axis 2 Rotation (rad) T= 2.869e-
003 C= 2.686e-002 U=0.11
SLC Dir:X F= const V=+ Beam 1, axis 3 Rotation (rad) T=
0.000e+000 C= 2.686e-002 U=0.00

```



```

SLC Dir:X F= const V=+ Beam 3, axis 2 Rotation (rad) T= 2.567e-
003 C= 2.686e-002 U=0.10
SLC Dir:X F= const V=+ Beam 3, axis 3 Rotation (rad) T=
0.000e+000 C= 2.686e-002 U=0.00
SLC Dir:X F= mod V=-
SLC Dir:X F= mod V=- Beam 1, axis 2 Rotation (rad) T=-2.869e-
003 C= 2.686e-002 U=0.11
SLC Dir:X F= mod V=- Beam 1, axis 3 Rotation (rad) T=
0.000e+000 C= 2.686e-002 U=0.00
SLC Dir:X F= mod V=- Beam 3, axis 2 Rotation (rad) T=-2.567e-
003 C= 2.686e-002 U=0.10
SLC Dir:X F= mod V=- Beam 3, axis 3 Rotation (rad) T=
0.000e+000 C= 2.686e-002 U=0.00
SLC Dir:X F= const V=-
SLC Dir:X F= const V=- Beam 1, axis 2 Rotation (rad) T=-2.869e-
003 C= 2.686e-002 U=0.11
SLC Dir:X F= const V=- Beam 1, axis 3 Rotation (rad) T=
0.000e+000 C= 2.686e-002 U=0.00
SLC Dir:X F= const V=- Beam 3, axis 2 Rotation (rad) T=-2.567e-
003 C= 2.686e-002 U=0.10
SLC Dir:X F= const V=- Beam 3, axis 3 Rotation (rad) T=
0.000e+000 C= 2.686e-002 U=0.00

```

## **Osservazioni sugli indicatori di danno**

Al momento in Sargon sono disponibili tre famiglie di indicatori di danno: le rotazioni plastiche, le deformazioni degli elementi biella e i drift. Nel seguito saranno date alcune spiegazioni in merito a questi indicatori.

### **Rotazioni plastiche**

In fase di assegnazione delle capacità viene richiesto un numero puro, pari al rapporto tra la "rotazione della corda" e la "rotazione della corda allo snervamento".

La rotazione della corda allo snervamento può essere valutata con la formula

$$\theta_y = \frac{M_y L}{3EJ}$$

dove  $M_y$  è il momento allo snervamento,  $L$  la "luce di taglio",  $E$  il modulo di elasticità e  $J$  il momento di inerzia (nel piano di flessione considerato). La "luce di taglio" è definita come  $M/V$ , dove  $M$  è il momento applicato e  $V$  il taglio. Alcune fonti la definiscono più precisamente come lunghezza del moncone di trave sino ad arrivare al punto di momento nullo. Ma allora  $L=M/V$  è una relazione in realtà assai discutibile, dato che viene trascurato l'effetto dei carichi trasversali. Comunque, di solito tale lunghezza non è molto dissimile da  $L_M/2$ , dove  $L_M$  è la lunghezza dell'elemento strutturale. Pertanto si può scrivere che grosso modo (precisioni molto elevate sono comunque prive di senso):

$$\theta_y = \frac{M_y L_M}{6EJ}$$

***Dato che Sargon non utilizza un modello a plasticità concentrata, ma un modello a plasticità distribuita, la lunghezza degli elementi finiti non è più in relazione con la lunghezza degli elementi costruttivi originari.*** Ciò che viene memorizzato, è la rotazione plastica dell'intero elemento, ovvero l'integrale della curvatura plastica sulla lunghezza dell'elemento finito  $L_e$ . Assumendo che la lunghezza dell'elemento  $L_e$  sia intorno a  $L_M/6$  (il che implica aver diviso per 6 l'elemento originario nella fase di preparazione del modello), si può ottenere

$$\theta_y = \frac{M_y L_M}{6EJ} = \frac{6M_y L_e}{6EJ} = \frac{M_y L_e}{EJ}$$

Tale formula è impiegata dal programma per valutare la rotazione rispetto alla corda elastica, ed utilizza solo la lunghezza dell'elemento finito  $L_e$ . La rotazione rispetto alla corda plastica  $\theta_p$  è data dalla rotazione plastica dell'elemento, ottenuta integrando la curvatura plastica (si suppone implicitamente che tutta la rotazione plastica sia all'interno dell'elemento considerato. Ciò implica che non sia opportuno discretizzare con elementi troppo piccoli. Se la lunghezza della cerniera plastica è 1 o 2 volte l'altezza della sezione e questa è circa (1/15-1/20) di  $L_M$ , si ha che la plasticizzazione non dovrebbe essere superiore a  $L_M/7.5$ - $L_M/10$ , quindi ben entro il limite di  $L_M/6$ ). Per quanto detto la divisione in 6 sottoelementi è la scelta di elezione nella trattazione della pushover in Sargon.

Se in generale è  $k$  il fattore che moltiplicato per la lunghezza di elemento finito dà la lunghezza dell'elemento costruttivo, allora la rotazione rispetto alla corda elastica sarebbe  $(k/6)$  volte quella calcolata dal programma con la formula precedente. Ciò implica che gli sfruttamenti debbano essere moltiplicati per  $(6/k)$ , dato che la rotazione rispetto alla corda elastica è al denominatore dello sfruttamento. Quindi ad esempio se  $k=10$ , gli sfruttamenti andranno moltiplicati per  $6/10 = 0.6$ , sempre nella ipotesi che la plasticizzazione non abbia invaso altri elementi oltre a quello considerato.

Ulteriori migliorie ed ampliamenti sono previsti nelle versioni successive.

In effetti, sarebbe molto più semplice e più logico riferirsi, nei modelli a plasticità diffusa, alla deformazione della fibra più snervata, un indice molto più fisicamente associato al comportamento del materiale. Tuttavia, la legge non ne fa menzione.

I valori attualmente suggeriti da Sargon per  $\theta_p/\theta_y$  sono:

SLD	1	(stato limite di danno norme europee)
SLV	6	(stato limite vita norme europee)
SLC	8	(stato limite collasso norme europee)
IO	1	(stato limite "immediate occupancy" norme USA)
LS	6	(stato limite "life safety" norme USA)
CP	8	(stato limite "collapse prevention" norme USA)

L'utente può scegliere valori differenti.

### **Deformazioni delle bielle**

Per definire la capacità di questi elementi viene fornito il rapporto tra la deformazione di trazione  $\varepsilon$  e quella allo snervamento  $\varepsilon_y$ , e, per gli elementi compressi, il rapporto tra la deformazione di compressione e la deformazione che porterebbe l'elemento alla instabilità  $\varepsilon_c$ .

Mentre per la prima definizione non vi è problema, dato che

$$\varepsilon_y = \frac{N_y}{EA}$$

per la determinazione della deformazione corrispondente alla instabilità il programma deve usare delle opportune curve di stabilità, dato che il carico critico euleriano non sarebbe cautelativo. Detto  $N_c$  il massimo valore di compressione sostenibile sull'elemento (una biella) si ha (valore positivo)

$$\varepsilon_c = \frac{N_c}{EA}$$

Nella versione attualmente rilasciata, il programma valuta  $N_c$  mediante le curve di stabilità dell'Eurocodice 3 / NTC 2008 / NTC 2018. Mediante le seguenti assunzioni:

- La lunghezza di libera inflessione è determinata mediante i coefficienti di libera inflessione stabiliti dall'utente.
- Se la forma sezionale è un angolare semplice si usa la curva b.
- Se la forma sezionale è un tubo tondo o Rhs si usa la curva a.
- Se la forma sezionale è a doppio T laminato, allora: se  $h/b > 1.2$  e  $t_f < 40$ , la curva è la b. Se  $t_f > 40$  la curva è la c. Se  $h/b < 1.2$  e  $t_f < 100$  curva c, se no curva d.
- Altrimenti la curva è la c.

I valori attualmente suggeriti da Sargon per  $\varepsilon/\varepsilon_y$  in trazione sono:

SLD	0.25	(stato limite di danno norme europee)
SLV	7	(stato limite vita norme europee)
SLC	9	(stato limite collasso norme europee)
IO	0.25	(stato limite "immediate occupancy" norme USA)
LS	7	(stato limite "life safety" norme USA)
CP	9	(stato limite "collapse prevention" norme USA)

I valori attualmente suggeriti da Sargon per  $\varepsilon/\varepsilon_c$  in compressione sono:

SLD	0.25	(stato limite di danno norme europee)
SLV	4	(stato limite vita norme europee)
SLC	6	(stato limite collasso norme europee)
IO	0.25	(stato limite "immediate occupancy" norme USA)
LS	5	(stato limite "life safety" norme USA)
CP	7	(stato limite "collapse prevention" norme USA)

L'utente può scegliere valori differenti.

### **Drift di piano**

I drift sono definiti da coppie di nodi aventi la medesima ascissa e ordinata. I nodi posti su uno stesso allineamento in pianta, e selezionati al momento della impostazione della pushover, vengono su richiesta dell'utente ordinati per quota crescente, e se  $n$  è il numero di nodi trovato su un allineamento in pianta, il numero di drift richiesti su quell'allineamento sarà  $(n-1)$ .

La valutazione dei limiti dei drift di piano, dipende da una moltitudine di fattori, non ultima la tipologia strutturale. In letteratura si sono trovati valori assai dispersi.

I valori attualmente suggeriti da Sargon per i drift sono:

SLD	4/1000	(stato limite "di danno" norme europee)
SLV	25/1000	(stato limite "vita" norme europee)
SLC	50/1000	(stato limite "collasso" norme europee)
IO	4/1000	(stato limite "immediate occupancy" norme USA)
LS	25/1000	(stato limite "life safety" norme USA)
CP	50/1000	(stato limite "collapse prevention" norme USA)

E' opportuno segnalare la spiccata fiabesca convenzionalità delle etichette "danno", "vita", "collasso" assegnate a tali valori limite.

L'utente può scegliere valori differenti.

## **2.30 Come utilizzare la versione a 64 bit**

A partire dalla versione 12.00 rilasciata nel Luglio del 2016, Sargon ha una versione a 64 bit che diventerà presto la versione di riferimento da impiegare.

Sono state fatte profonde modifiche a tutti i moduli che compongono il programma, volte ad ottenere questi obiettivi:

1. Ricompilare tutti i moduli (anche Samba ed i verificatori), a 64 bit. Ovviamente per far funzionare le versioni a 64 bit il sistema operativo deve anche essere a 64 bit.
2. Consentire il puntamento e l'indirizzamento di file aventi dimensione superiore a 4Gb.
3. Consentire l'allocazione di memoria maggiore di 2Gb, in specie per i moduli solutori CLEVER (solutore sparse), LEDA (solutore sparse), CURAN (sempre sparse), WBUCKL (sempre sparse).

La necessità legata al punto 2 ha richiesto la modifica del formato di svariati file binari di output, che a partire dalla versione 12.00 è diversa. La versione 12.00 è in grado di leggere i risultati ottenuti con versioni precedenti, ma non così le versioni precedenti i risultati della versione 12.00. Tali modifiche hanno riguardato anche le versioni a 32 bit (12.00).

E' stata eseguita una ampia messe di test per verificare che non ci siano problemi, in particolare circa 800 test di regressione sui solutori e sui verificatori (CLEVER, LEDA, CURAN, WEURO).

Nel periodo di inter regno tra la versione a 32 e quella a 64 entrambe le versioni saranno disponibili.

Scaduto tale periodo (di durata presumibilmente compresa tra i 6 ed i 12 mesi) l'unica versione rilasciata sarà a 64 bit.

Luglio 2016

## 2.31 Come gestire gli accelerogrammi

### Come gestire gli accelerogrammi

La gestione degli accelerogrammi, in Sargon, non consiste solo nella facoltà di introdurre a corredo di un modello alcuni accelerogrammi, al fine di utilizzarli per specifiche [analisi di time history](#)<sup>[254]</sup>. In Sargon, la gestione degli accelerogrammi consiste anche nella possibilità di sottoporre gli accelerogrammi introdotti a controlli che ne indichino meglio la natura e le caratteristiche.

Sargon può gestire centinaia di accelerogrammi per volta, per esempio [per estrarre uno spettro di risposta che li involuppi con certi percentili](#)<sup>[553]</sup>, o [per ordinarli per energia di deformazione massima decrescente](#)<sup>[503]</sup>, così evidenziando quelli più pericolosi per la particolare struttura in esame.

Lo studio della natura di un accelerogramma si può fare sostanzialmente in due modi e per due fini.

Un primo modo è quello di estrarre, per un dato accelerogramma, il suo spettro di risposta. Tale metodo consente di stabilire quali siano i periodi degli oscillatori maggiormente sollecitati, osservando che la forma dello spettro di risposta di un vero accelerogramma non è quella regolare delle normative, ma presenta picchi e valli in diverse zone sull'asse delle ascisse, ovvero in corrispondenza a intervalli di periodi diversi. Quindi, un dato segnale potrà presentare una specifica amplificazione (o riduzione) proprio nell'intervallo di periodi più importante per la struttura allo studio. Inoltre, l'estrazione dello spettro di risposta consente anche di utilizzare quel singolo spettro come "spettro utente" e quindi realizzando una analisi a spettro di risposta utilizzando lo spettro di risposta del singolo accelerogramma allo studio. Lo spettro calcolato in Sargon può essere quello di accelerazione o quello di spostamento, o la versione combinata dei due (ADS), utile per le analisi di pushover. E' anche possibile avere un report (tabulato) con le caratteristiche dell'accelerogramma studiato.

Un secondo modo è quello di calcolare la risposta di un oscillatore di dato periodo e smorzamento, al segnale descritto dall'accelerogramma. Una tale attività non dice nulla di diverso in termini di picco di spostamento rispetto a quanto dice una estrazione di spettro, ma può invece dare altre importanti informazioni, come il numero e l'ampiezza dei cicli, e la durata della risposta in zona severa. Tali informazioni, a loro volta, possono dare una misura dell'impegno in termini di ripetizione della escursione elastica (o plastica), e quindi suggerire non solo quanto avviene in un dato istante, informazione di per sé non necessariamente esaustiva e definitiva, ma anche quanto spesso e quanto a lungo il segnale imponga escursioni in zona pericolosa alle varie risposte modali elementari della struttura .

Per gestire gli accelerogrammi secondo la prima modalità, e per introdurli nel corredo di accelerogrammi di un modello, si deve usare il comando [Edit-Azioni-Accelerogrammi](#)<sup>1045</sup>. Una volta che l'accelerogramma che interessa sia stato aggiunto al modello, è poi possibile avere la risposta dell'oscillatore semplice mediante il comando [Struttura-Oscillatore-Risposta](#)<sup>1314</sup>.

Si sottolinea che si possono aggiungere anche molte centinaia di accelerogrammi per volta. Ciò può succedere, ad esempio, se si stanno studiando i terremoti di scenario, mediante segnali sintetici neodeterministici.

Si veda anche: [Come affrontare le analisi sismiche con i segnali](#)<sup>483</sup>

## 2.32 Come eseguire la verifica di bulloni e saldature

### Come eseguire la verifica di bulloni e saldature

Questa attività è da considerare solo utilizzando modelli preparati da CSE ([www.castaliaweb.com/CSE](http://www.castaliaweb.com/CSE) ).

Nell'ambito del calcolo dei collegamenti delle strutture in acciaio, sono possibili vari approcci. Approcci ibridi, che utilizzano modelli fem semplificati e le formule di normativa, ed approcci *pure fem* (PFEM), nei quali il calcolo consente anche di ottenere le azioni affluenti nei singoli mezzi di unione (singoli cordoni di saldatura e singoli bulloni).

L'argomento è specialistico e sarà trattato nel volume



**Paolo Rugarli, Steel Connection Analysis, John Wiley & Sons, 2017**

di prossima pubblicazione.

Al momento i comandi che consentono la verifica di bulloni e saldature all'interno di Sargon, e quindi utilizzando un modello PFEM generato da CSE, sono i seguenti:

[Sfruttamento](#) 

[Bulloni: usa momento](#) 

[Inviluppo](#) 



[Interroga](#) 

Questi comandi si aspettano di trovare elementi beam alla Timoshenko, opportunamente marcati per essere considerati bulloni e parti di cordoni di saldatura. Al momento la ricerca sui metodi di modellazione migliori è ancora in corso. I comandi esistenti vanno quindi presi come in una fase intermedia di sviluppo.

L'idea è quella di leggere lo stato di sforzo degli elementi in una certa combinazione a seguito della analisi PFEM, ed utilizzare tale stato di sforzo per eseguire la verifica secondo le normative AISC ed Eurocodice, le uniche ad essere state al momento implementate. I comandi sono quindi sensibili a quale sia il verificatore attivo.

## **2.33 Come eseguire analisi sismiche di time history**

### **Come eseguire analisi sismiche di time history**

L'argomento è trattato nella sezione relativa alla [time history modale](#) , e alla [time history non lineare](#) .

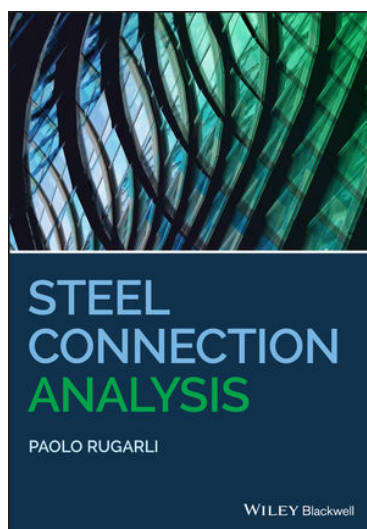
Si veda anche: [Come affrontare le analisi sismiche con i segnali](#) 

## **2.34 Come gestire i jnodi**

### **Come gestire i jnodi**

## Introduzione

Il concetto di *jnodo* è stato utilizzato da Paolo Rugarli a partire dai primi anni 2000 nell'ambito della sua ricerca per i collegamenti delle strutture in acciaio, ed ormai è stato usato da molti anni. Si parla diffusamente dei jnodi, e di tutte le questioni connesse ad essi, nel capitolo 2 del libro *Steel Connection Analysis*, di cui è autore Paolo Rugarli per John Wiley & Sons - Blakwell. Qui il riferimento al sito dell'editore:



[Paolo Rugarli - Steel Connection Analysis - Wiley Blakwell](#)

I jnodi sono stati usati diffusamente a partire dai primi anni 2000 all'interno del programma [C.S.E. Connection Study Environment](#), la naturale evoluzione di Sargon per il calcolo dei collegamenti. La definizione di jnodo, tratta dal libro citato, è la seguente:

*Un jnodo è un nodo di un modello agli elementi finiti dove almeno una membratura è connessa ad una o più altre membrature o a una differente parte della struttura. Esso include le informazioni relative alla posizione originaria del nodo, ai suoi vincoli ed alle membrature connesse, con i loro identificatori univoci, le loro sezioni trasversali, materiali, orientazioni, codici di connessione e svincoli. Se in una struttura ci sono due jnodi identici, essi saranno considerati come due istanze differenti dello stesso jnodo, ed a essi sarà assegnato un identificatore univoco.*

Paolo Rugarli, *Steel Connection Analysis*, Cap. 2, par. 2.3.3 (Traduzione dell'autore)

© John Wiley & Sons - riprodotto con permesso

Quindi il *j*nodo è di fatto l'anello intermedio tra un normale modello agli elementi finiti (denominato *BFEM*, *Bar Finite Element Model* perché la ricerca delle connessioni è esplicitamente limitata agli elementi trave e biella, anche se il modello *BFEM* può contenere anche elementi di altro tipo), ed il *renodo*, ovvero il nodo reale, con tutti i suoi componenti, connettori e con tutte le lavorazioni del caso (tagli, smussi, ecc.). Il *j*nodo non va confuso con il *nodo*: non tutti i *nodi* sono *j*nodi.

Con la versione 12.70, rilasciata nel Novembre 2017 anche Sargon acquisisce la capacità di cercare i *j*nodi, di visualizzarli e di avere informazioni su di essi. Le funzionalità sono identiche a quelle già sperimentate da molti molti anni in CSE. Si tratta di una modifica tesa ad avvicinare Sargon a CSE ed a rendere il passaggio dall'uno all'altro programma più semplice. E' verosimile che i due programmi in futuro saranno sempre più integrati. Anche chi non usa CSE si potrà avvantaggiare, in Sargon, dell'enorme vantaggio costituito dalla ricerca automatica dei *j*nodi eguali, e dalla disponibilità di tutte le metriche create per i *j*nodi dalla ricerca di Paolo Rugarli, fatta all'interno di Castalia.

Al momento in cui si scrive CSE è l'unico programma esistente al mondo con questa caratteristica, che ora viene anche aggiunta a Sargon.

La ricerca dei *j*nodi di fatto dà conto del problema della ricerca dei nodi eguali. Si può sapere quanti (*j*)nodi diversi ci sono e dove sono collocati. Si possono anche conoscere, se l'analisi è già stata fatta e sono disponibili combinazioni, i valori di inviluppo delle sollecitazioni nelle aste omologhe delle diverse istanze del *j*nodo al variare delle combinazioni, una informazione assolutamente preziosa perché consente un predimensionamento di massima. Ogni *j*nodo ha alcuni indicatori numerici che danno una idea della sua complessità:

1. La *frequenza* del *j*nodo dice quanto frequente è il *j*nodo nella struttura.
2. La *connettività* del *j*nodo dice quante unioni elementari (membratura-membratura o membratura-riferimento) sono presenti in esso.
3. La *complessità* del *j*nodo è una misura della difficoltà complessiva legata alla progettazione del nodo e dipende dalla tipologia del *j*nodo e dalla sua connettività.

Molto importanti, ai fini della comprensione preliminare della difficoltà del lavoro di progettazione delle connessioni relativo alla intera struttura, sono i numeri indice *connettività totale* e *complessità totale* che, come suggerito nel cap. 2 del libro citato, possono essere messi in relazione con i valori di offerta secondo una tabella propria a ciascuna società o studio di progettazione.

### Aspetti teorici

Non è questa la sede per spiegare nel dettaglio i criteri usati dal programma per il riconoscimento dei jnodi: si rimanda al libro citato, Capitolo 2. Qui basti dire che la ricerca dei jnodi presume che sia stata fatta prima la ricerca delle membrature, e che questa è sensibile a:

- Le sezioni trasversali assegnate agli elementi trave e biella.
- I materiali assegnati agli elementi trave e biella.
- La orientazione degli elementi trave.
- Gli svincoli degli elementi trave.
- Le estremità rigide degli elementi trave.
- I codici di connessione degli elementi trave.

Se uno o più di questi dati cambia, anche se per un solo elemento, la ricerca dei jnodi deve essere rifatta. La ricerca dei jnodi avviene al termine della modellazione, di solito, quanto il modello è già stato fatto analizzare. Tuttavia, posto che tutte le aste abbiano sezione e materiale, una condizione imprescindibile, è possibile chiedere al programma di cercare i jnodi in ogni istante.

Le membrature sono classificate nel nodo a cui si connettono nel seguente modo:

- *Passanti*, se il nodo è interno alla membratura. Negli altri casi il nodo è all'estremo della membratura.
- *Interrotte*, se esiste un segno di connessione. Un segno di connessione non implica uno svincolo, mentre uno svincolo implica sempre un segno di connessione.

- *Cuspidali* se non c'è un segno di connessione (e di conseguenza nemmeno uno svincolo).

I jnodi sono classificati nel seguente modo:

- *Gerarchici*
- *Cuspidali*
- *Tangenti*
- *Centrali*
- *Semplici*

I jnodi gerarchici sono jnodi nei quali una membratura abbia il ruolo di master e le altre di slave. Di fatto ciò implica che ci sia una sola membratura passante o cuspidale nel nodo.

I jnodi cuspidali sono sempre evitabili e sono jnodi dove più di una membratura è cuspidale nel nodo.

I jnodi tangenti sono jnodi in cui due o più membrature sono passanti nel nodo.

I jnodi centrali sono jnodi in cui tutte le membrature sono interrotte.

I jnodi semplici sono jnodi in cui esiste una e una sola membratura connessa al riferimento o ad altre parti strutturali.

La stragrande maggioranza dei jnodi reali sono gerarchici. Alcuni sono semplici o centrali. I jnodi cuspidali o tangenti si dovrebbero sempre evitare, assegnando appropriatamente i segni di connessione (cfr. *Steel Connection Analysis*, cap. 2). CSE è in grado di verificare i jnodi gerarchici, quelli centrali e quelli semplici.

I jnodi sono identificati da un marcatore alfabetico a due lettere, sensibile alle maiuscole e minuscole. Validi e diversi marcatori di jnodi potrebbero essere AC, DJ, dJ, Dj.


### **Aspetti operativi**

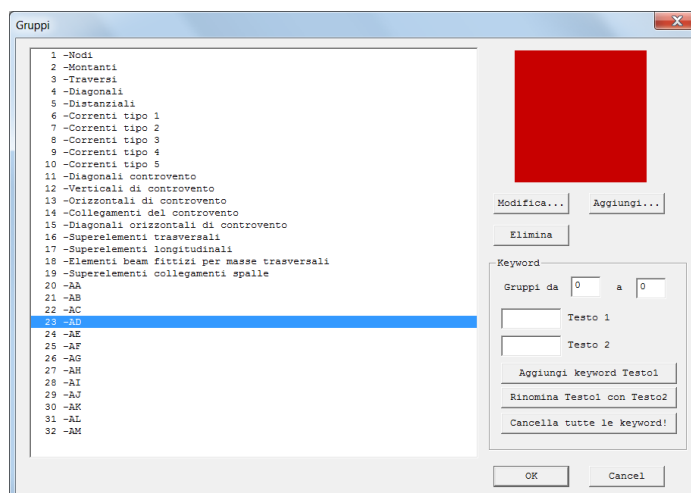
La collezione dei jnodi, a differenza di quanto avviene con CSE, non è salvata su disco con il file .wsr, e ciò per risparmiare spazio. Il vettore dei jnodi esistenti viene creato a richiesta e resta disponibile nel corso di ogni sessione di lavoro. La esecuzione di qualsiasi comando che comporti la perdita dei risultati (modifiche della mesh o delle proprietà, o anche dei carichi), implica la perdita del vettore dei jnodi. Il vettore dei jnodi può essere rigenerato in ogni momento. La ricerca dei jnodi e la corrispondente generazione del vettore dei jnodi richiede da pochi secondi a qualche decina di secondi, a seconda della complessità della struttura.

I comandi relativi alla gestione dei jnodi sono tutti sotto il menu Struttura-Jnodi, introdotto a partire dalla versione 12.70. Con l'occasione è anche stata creata una nuova barra di bottoni, denominata barra *Struttura*. Questa include sia i comandi relativi ai jnodi sia i comandi relativi alle zone dissipative ed alla verifica di capacità.

I comandi relativi alla gestione dei jnodi sono:

- [Cerca!](#)<sub>1297</sub>
- [Mostra](#)<sub>1306</sub>
- [Interroga](#)<sub>1297</sub>
- [Crea listato!](#)<sub>1307</sub>
- [Apri listato!](#)<sub>1307</sub>

Il primo comando ([Cerca!](#)<sub>1297</sub>) genera il vettore dei jnodi eguali. La sua esecuzione è la premessa indispensabile per poter accedere alle informazioni sui jnodi.

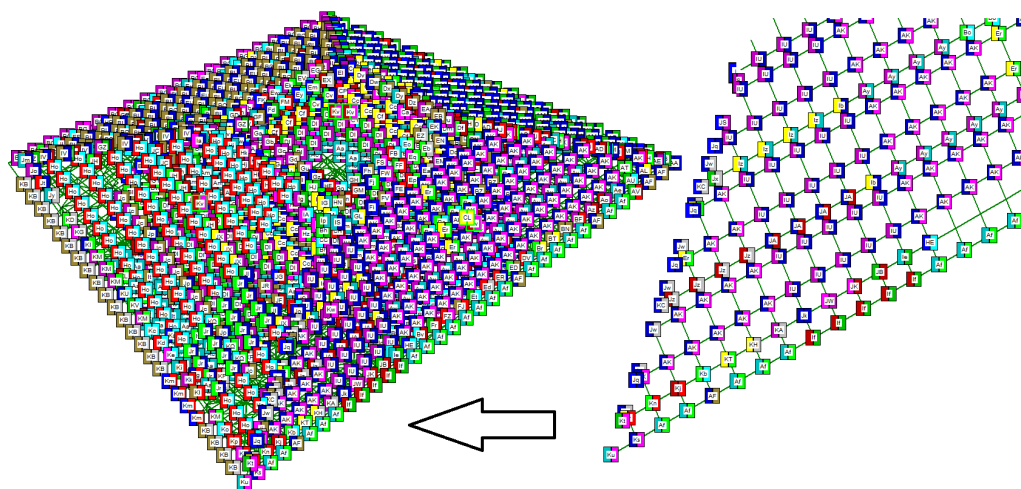


Al termine della ricerca è possibile attivare una opzione che crea dei nuovi gruppi, assegnando a questi nuovi gruppi tutti e soli i nodi delle istanze di ciascun jnodo. Ogni nuovo gruppo è messo in corrispondenza ad un jnodo, e, dato che dalla versione 12.70 i gruppi possono ricevere delle parole chiave, è possibile assegnare in questo modo a ciascun jnodo sino a sette parole chiave. Quindi, se per esempio vengono trovati 4 jnodi, uno con 3 istanze, uno con 5 istanze ed uno con 1 sola istanza, saranno creati tre nuovi gruppi, il cui identificatore sarà identico alla marca del jnodo (ad esempio "AA", "AB", "AC"), e contenenti il primo, 3 nodi, il secondo 5 nodi, ed il terzo 1 solo nodo.

Assegnando a ciascun gruppo un colore diverso, ed attivando la visualizzazione dei nodi (comando Mostra-Oggetti), si vedranno i nodi dei diversi jnodi colorati in modo differente.

La assegnazione delle keyword ai gruppi è stata pensata in vista della automatica assegnazione, in CSE, dei renodi parametrici ai jnodi. In pratica, a ciascun jnodo trovato sarà assegnato il prenodo (renodo parametrico) che ha le stesse keyword del gruppo assegnato al jnodo (se esistente). Ad esempio se la ditta ALFA crea la sua biblioteca di nodi, ed a un certo gruppo assegnato a un jnodo assegna le keyword "SALDATO", "NO COSTOLE", "ALFA", "TIPO1", sarà più facile per CSE assegnare automaticamente il prenodo desiderato al jnodo. Questa funzionalità apre di fatto la strada alla generazione automatica dei collegamenti ed è al momento in fase di studio e sviluppo.

Il comando [Mostra](#)  serve a rendere visibili i jnodi come nella figura seguente:



Nuova Mediateca, Colle val d'Elsa. *Fabbrichina*. Architects Atelier Jean Nouvel. Cortesia Studio Ingegneria Galluzzi e Associati, Firenze.

Da Steel Connection Analysis, John Wiley & Sons ©. Riprodotta con permesso.

Durante la visualizzazione dei jnodi, la selezione dei nodi diventa una selezione dei jnodi (con tutte le loro istanze). Per uscire da questa modalità di visualizzazione (senza perdere i jnodi) è sufficiente ricliccare sul bottone corrispondente. La dimensione del simbolo è il doppio di quella fissata dall'utente per il simbolo dei vincoli nodali. Quindi, è possibile modificare l'una, quella dei jnodi, modificando l'altra, quella dei vincoli.

Il comando [Interroga](#)<sup>[1297]</sup> consente di avere dettagliate e importanti informazioni sia sulla lista dei jnodi (come la complessità totale dei nodi o la loro connettività), sia sui jnodi singoli, per i quali vengono date importanti informazioni relative ai nodi delle diverse istanze, ed alle azioni interne di involuppo degli elementi omologhi. Queste informazioni sono presenti in CSE sin dai primi anni 2000.

Il comando [Crea Listato!](#)<sup>[1307]</sup> crea un file e lo apre automaticamente. Questo file, ASCII (estensione .txt) lista tutte le caratteristiche dei jnodi e dà una prima distinta dei pezzi (ovvero delle membrature) senza tener conto di accorciamenti o allungamenti rispetto al punto di estremo, dei tagli o delle lavorazioni, che sono tipicamente gestite in CSE.

Il comando [Apri listato!](#)<sup>[1307]</sup> consente di aprire un listato che sia stato generato in precedenza.

Il listato dei jnodi è molto importante e molto utile, ma ovviamente non può sostituire CSE che è il programma di Castalia espressamente concepito allo scopo di progettare e verificare le connessioni metalliche.



## 2.35 Come saperne di più sul metodo neodeterministico per la determinazione della pericolosità sismica

### Cenni al metodo Neo Deterministico per la valutazione della Pericolosità Sismica

Non è ovviamente questa la sede per fornire informazioni di dettaglio in merito al metodo neodeterministico. A questo fine, la EPC ha pubblicato nel 2016 il testo ***Difendersi dal Terremoto Si Può***, di [Giuliano Panza](#) ed [Antonella Peresan](#). A questo importante testo divulgativo, scritto da due degli studiosi che hanno messo a punto il metodo neodeterministico, ed in particolare dal suo primo ideatore prof. Panza, il lettore è rimandato per i necessari approfondimenti.

Nel seguito sarà data una informazione molto sintetica e necessariamente schematica, scritta da un non specialista della materia. I lettori interessati ad approfondire dovrebbero farlo consultando il testo citato.

Il metodo neodeterministico per la valutazione della pericolosità sismica (NDSHA Neo Deterministic Seismic Hazard Assessment) si basa sulla simulazione, ovvero sulla modellazione fisica, di un certo numero di *scenari* sismici. Il punto di partenza è dunque l'esame della zona di interesse per trovare le zone sismogenetiche prossime ad essa e tali da generare, potenzialmente, terremoti di magnitudo maggiore di 5.

Una sorgente sismica è [...] un oggetto di dimensioni finite, rappresentabile come una porzione di faglia immersa nella litosfera, ove il fronte della frattura si propaga lungo il piano di faglia con una serie di dislocazioni che hanno origine nell'ipocentro. Le modalità di propagazione della frattura dipendono dalla geometria e dalla reologia (cioè dalle caratteristiche di deformazione sotto l'azione delle forze tettoniche) della porzione di litosfera ove ha luogo l'evento sismico, perché il fronte della dislocazione cambia velocità quando incontra barriere od asperità presenti sulla faglia stessa (Panza e Peresan, 2016).

La ricerca delle zone sismogenetiche si avvale, oltre che delle informazioni geologiche e geodinamiche disponibili, di due strumenti fondamentali.

Il primo è l'impiego dei cataloghi dei terremoti storici. L'Italia dispone probabilmente del catalogo storico più vasto di ogni altra Nazione, dato che esistono documenti scritti da circa 25 secoli. Le informazioni nei cataloghi sono preziose, ma necessariamente incerte ed imprecise.

Il secondo è la zonazione morfostrutturale, vale a dire l'analisi della morfologia e della struttura superficiale della crosta terrestre e la ricerca dei "nodi morfostrutturali", cioè di intersezioni tra linee che separano aree con caratteristiche morfologiche diverse (ad esempio, le aree pianeggianti e quelle montuose, oppure aree con diversa orientazione dei corsi d'acqua). Benché non sempre (ma spesso) esistano evidenze storiche di una attività sismica pregressa nei nodi identificati come sismogenetici, qui si ipotizza che in futuro possano manifestarsi slittamenti di faglia.

Nella zonazione morfostrutturale, il territorio è suddiviso in un sistema di blocchi di vario rango, separati da lineamenti, generalmente, ma non necessariamente, costituiti da zone (fasci) di faglie, il cui ordine gerarchico dipende dal rango del blocco da essi delimitato. Questa operazione utilizza le informazioni di tipo tettonico e geologico, con particolare attenzione alla geomorfologia, ovvero il rilievo topografico attuale. I lineamenti possono essere longitudinali o trasversali a seconda dell'andamento della struttura tettonica e topografica; generalmente i lineamenti longitudinali comprendono le faglie principali (Panza e Peresan 2016).

“Il riconoscimento dei nodi sismogenetici (zone soggette a terremoti superiori ad una certa magnitudo) si basa sull'ipotesi che i nodi all'interno dei quali si è già verificato un forte terremoto abbiano caratteristiche morfostrutturali simili a quelle dei nodi all'interno dei quali non si ha ancora notizia di eventi storici e strumentali ma che si ritiene abbiano la potenzialità di generare un forte evento” (Panza e Peresan, 2016).

L'analisi geologica e geofisica dà modo di stimare (non di valutare con precisione) la magnitudo attesa per il generico nodo sismogenetico di interesse. Ciò è fatto comparando le informazioni dei cataloghi storici e le informazioni desumibili a livello geofisico (la dimensione di una faglia è in relazione con la magnitudo dei terremoti che essa può generare) e prendendo il valore massimo.

Una volta individuato un nodo sismogenetico (attorno ad ogni sito di interesse ve ne possono essere svariati) ed un meccanismo di faglia significativo, si simula lo scorrimento di faglia con un modello meccanico, applicando due coppie di forze eguali e contrarie sui due fronti della faglia, ed agenti su due piani tra loro ortogonali (piano di faglia e piano ausiliario), forze la cui intensità è legata alla magnitudo stessa.

La magnitudo di riferimento  $M_{max}$ , la massima tra quelle desumibili dai dati oggettivi, può essere ulteriormente incrementata considerando un opportuno  $\Delta M$ . Tale  $\Delta M$  può essere preso eguale alla deviazione standard *globale* delle magnitudo di tutti i sismi registrati  $\sigma_M$ , che è una misura della incertezza sulla stima della magnitudo, moltiplicata

per un opportuno fattore di sicurezza  $\gamma_{ME}$ . Il valore normalmente assunto per  $\sigma_M$  è  $\sigma_M \approx 0.2$ . In pratica

$$M_{progetto} = M_{max} + \gamma_{ME} \sigma_M$$

Il fattore di sicurezza  $\gamma_{ME}$  deve essere deciso sulla base delle osservazioni, in modo tale che non avvenga mai, in un dato nodo sismogenetico, che la magnitudo registrata  $M_r$  sia maggiore di quella di progetto  $M_{progetto}$  associata al nodo. Diversi valori di  $\gamma_{ME}$  portano a diversi valori di scuotimento, ma la funzione di  $\gamma_{ME}$  è meramente quella di garantire un inviluppo.

La mappe fornite qui di seguito sono state ottenute assumendo

$$M_{progetto} = M_{max}$$

ovvero  $\gamma_{ME} = 0$ . Altre mappe sono state messe a punto con un valore  $\gamma_{ME} = 2$ .

Una volta determinata la magnitudo di riferimento, questa determina il valore delle azioni da applicare al modello meccanico della sorgente.

Questo modello meccanico, a differenza di quanto avviene nei modelli deterministici o in quelli probabilistici, non fa uso di relazioni di attenuazione, ma utilizza le leggi della meccanica dei solidi al fine di calcolare come le onde sismiche si propagano dalla sorgente al substrato roccioso in corrispondenza al sito di interesse.

La modellazione degli strati profondi tra sorgente e substrato roccioso del sito è uno degli aspetti unici e di assoluta rilevanza del metodo neodeterministico. Tale modellazione è tarata sia in base alla sismicità di fondo (microsismi) ovvero il rumore sismico ambientale, sia in base a terremoti di entità intermedia. Si tratta quindi dell'analisi ed elaborazione di numerosi veri segnali, che hanno veramente attraversato la zona in esame, fornendone indirettamente una specie di "calco" strutturale. Si usa un modello meccanico stratificato degli strati profondi tarato in modo che le simulazioni numeriche sposino correttamente la variazione dei segnali nel viaggio dalla sorgente al sito. Il modello è messo a punto esaminando un gran numero di segnali della sismicità di fondo e non fa quindi uso di relazioni di attenuazione che non considerano se non in modo grossolanamente approssimato le caratteristiche meccaniche degli strati profondi.

La modellazione della propagazione delle onde sismiche sta alla base delle metodologie NDSHA per la stima della pericolosità sismica e richiede la preventiva caratterizzazione delle proprietà meccaniche del mezzo attraversato dalle onde stesse. La novità (da cui la N nell'acronimo) principale di NDSHA rispetto a DSHA consiste proprio nell'uso della modellazione realistica della propagazione delle onde sismiche. Tale modellazione è eseguita seguendo le leggi fondamentali della fisica e non ricorrendo a relazioni empiriche molto popolari, ma che violano le leggi della meccanica del continuo che stanno alla base della teoria dell'elasticità, note come relazioni di attenuazione (Panza e Peresan, 2016).

In pratica, da come il treno d'onde del modo fondamentale delle onde di superficie viene disperso, non dissipato, si deducono le caratteristiche meccaniche degli strati attraversati dal treno stesso. Sono poi state sviluppate ed applicate tecniche di ottimizzazione volte all'individuazione del modello strutturale (proprietà meccaniche) rappresentativo della zona di studio. I dati così ottenuti forniscono non solo informazione essenziale per la modellazione della propagazione delle onde sismiche, che sta alla base delle metodologie NDSHA, ma anche un punto di riferimento fondamentale per la comprensione della geodinamica dell'area in esame (Panza e Peresan, 2016).

Si ottengono in questo modo delle "mappe" tridimensionali semplificate ma coerenti con i dati sperimentali, nelle quali ad ogni area di  $1^\circ \times 1^\circ$  sono associati degli strati supposti orizzontali, di diverso spessore, caratterizzati da diverse densità e proprietà meccaniche, e ciò sino a una profondità di 300 km. Tali "gessetti" costituiscono la base per le simulazioni successive. Il fatto che "gessetti" diversi ed anche contigui abbiano delle stratigrafie diverse fa sì che su grandi dimensioni si possano simulare le proprietà meccaniche della crosta, un po' come con tanti pixel su uno schermo si possono simulare immagini complesse o come con tanti elementi finiti a deformazione costante (Constant Strain Triangle, CST) si può simulare un gradiente di sforzo (Panza e Peresan 2016).

Quindi una volta identificato un modello meccanico adeguato, cioè in grado di riprodurre soddisfacentemente come un segnale sismico venga trasmesso dalla sorgente al sito per terremoti di bassa intensità, questo modello viene applicato al segnale sismico generato dalla sorgente modellata. In questo modo si calcola, per mezzo di analisi modali, il segnale sismico al substrato roccioso in corrispondenza al sito di interesse.

Le incertezze relative allo specifico meccanismo di sorgente attivato (una faglia non è un punto, ed il susseguirsi delle rotture lungo di essa non è determinabile in modo

deterministico), vengono trattate generando una ampia messe di casi, nei quali tutti i parametri in gioco vengono variati all'interno di ampi intervalli.

L'insieme di tutte queste realizzazioni (essendo ogni realizzazione legata ad una specifica scelta dei parametri, a parità di magnitudo) è poi utilizzata per generare degli involuppi, che sono considerati uno dei risultati fondamentali del metodo.

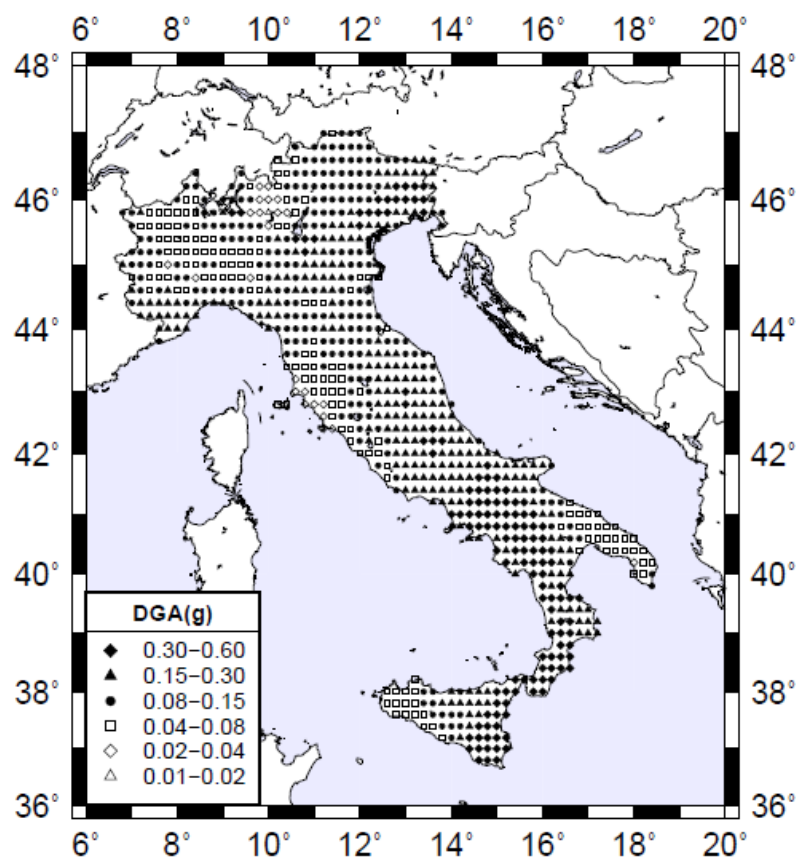
L'ulteriore passaggio dal substrato roccioso alla superficie, è compiuto mediante la aggiunta esplicita degli strati superficiali nel modello meccanico, così da trasferire il segnale dal substrato roccioso alla superficie. Tale passaggio, che dipende dalle caratteristiche degli strati superficiali e dalle relative indagini geognostiche, è assolutamente fondamentale per poter effettuare simulazioni in grado di involuppare gli scuotimenti attesi in un dato sito.

Generati i segnali in superficie, due sono i possibili modi di utilizzare questi dati.

Un primo modo, che sempre più sarà usato in futuro, consiste nell'utilizzare un ampio insieme di accelerogrammi, al fine di eseguire analisi di time history. Fronti aperti di ricerca sono la selezione di un sottoinsieme degli accelerogrammi generati che sia significativo per la specifica struttura in esame, e la velocizzazione delle analisi di time history al fine di sottoporre la specifica struttura, nello specifico sito, alla più ampia possibile messe di segnali.

Un secondo modo, denominato MCSI (Maximum Credible Seismic Input, Fasan et al. 2015, 2016 e 2017) consiste nel mettere a punto uno spettro di risposta di involuppo, con tutte le realizzazioni disponibili, per lo specifico sito in esame. La disponibilità di uno spettro di involuppo consente in sostanza di sostituire agli spettri convenzionali descritti dalla normativa (ed affetti dal grave problema della determinazione probabilistica della accelerazione di ancoraggio), spettri che sono l'involuppo finale degli spettri di segnali che individualmente hanno un ben preciso senso fisico, dato che sono relativi a ben precisi meccanismi di sorgente ed ai ben precisi strati profondi esistenti tra la sorgente presa in esame, ed il sito. E' utile osservare che la forma di questi spettri di involuppo è in genere molto diversa dalla forma degli spettri di normativa, ovvero non ha quel tipo di andamento (si veda ad esempio il caso di Norcia in Fasan *et al.* 2016). Quindi, per esempio, può capitare che nell'intervallo dei periodi di interesse per la struttura in esame (per esempio 0.8-1.0 sec), le ordinate dello spettro MCSI siano molto più alte di quelle dello spettro di normativa, che invece decresce con regolarità prestabilita al crescere dei periodi propri.

Nella figura seguente si vede la mappa ottenuta dal gruppo degli studiosi triestini e relativa al così detto Model 2 con  $\gamma_{ME}=0$ .



Nella mappa viene data la DGA, Design Ground Acceleration, al substrato roccioso, considerando intervalli piuttosto ampi del parametro rappresentato (fra un intervallo ed il successivo c'è un raddoppio dei valori).

Non viene dato un valore preciso di DGA per svariate ragioni:

1. Perché la gran parte dei dati disponibili sui terremoti storici è affetta da incertezze che crescono in progressione geometrica. I dati disponibili dai cataloghi storici, infatti, sono dati di intensità macrosismica (Scala Mercalli Cancani Sieberg I=I-XII). Questa scala presenta un fattore moltiplicativo 2 ad ogni incremento, come gli intervalli qui presentati, che sono in unità  $g$ :
  - a. 0.01-0.02
  - b. 0.02-0.04
  - c. 0.04-0.08

d. 0.08-0.15

e. 0.15-0.30

f. 0.30-0.60

Inoltre, va tenuto presente che, come spiegato nel testo citato, anche le valutazioni di magnitudo fatte per mezzo di strumenti sono affette da errori nell'ordine di 0.2-0.3, e pertanto spingere la precisione della DGA oltre una certa soglia non ha senso.

Va osservato che l'errore tipico con cui è possibile determinare  $M$  è pari a circa  $\pm 0,3$ , quindi due eventi sono realmente distinguibili sulla scala di magnitudo solo se le loro magnitudo differiscono per una quantità maggiore. L'errore sulle magnitudo è regolarmente ma colpevolmente taciuto e, di regola, è dato solo il valor medio; pertanto si è diffuso l'erroneo concetto che due terremoti, ad esempio con  $M=5,0$  e  $M=5,3$ , hanno entità diversa, quando invece, a causa degli inevitabili errori di misura, sono indistinguibili nella scala delle magnitudo (Panza e Peresan 2016).

2. Perché mancando le informazioni dettagliate sugli strati superficiali, da determinarsi con specifiche indagini di microzonazione e geognostiche, non è possibile fornire il valore di accelerazione in superficie.

I dati qui forniti non possono essere direttamente usati per la progettazione, perché mancano le fondamentali informazioni e le corrispondenti variazioni legate allo specifico sito della costruzione. Essi possono tuttavia fornire un'indicazione utile a grande scala.

In particolare, se la PGA al substrato roccioso in un dato sito (suolo A), determinata mediante i metodi probabilistici delle NTC 2018 per il progetto di una costruzione, o per il suo consolidamento, è inferiore al valore *minimo* dell'intervallo valutato con sistemi neodeterministici (e con  $\gamma_{ME}=0$ ), è ragionevole che il progettista valuti se non sia il caso di integrare con valutazioni neodeterministiche i dati probabilistici di norma.

Nel caso in cui la PGA di norma sia ricompresa nell'intervallo neodeterministico, a seconda della collocazione del valore della norma rispetto al limite superiore ed inferiore delle DGA, e della sua sensibilità al problema, il progettista valuterà come procedere.

Nei casi, rari ma presenti, in cui la PGA di norma sia superiore al massimo previsto dall'intervallo di DGA, tenendo presente che la norma obbliga a non avere uno scarto superiore al 20%, si è di fatto obbligati a tenere la PGA probabilistica.

Dati più precisi richiedono specifiche elaborazioni numeriche. Come segnalato anche nel software NTCISMA, il gruppo di studiosi della Università di Trieste ha messo a disposizione delle Amministrazioni Pubbliche e dei Privati un sito, [www.xeris.it](http://www.xeris.it)<sup>[475]</sup>, dove è possibile richiedere sia spettri MCSI che accelerogrammi relativi a ben specifici siti.

(1)Ciò da un lato spiega il frequente balletto di cifre a proposito della magnitudo dei sismi, dall'altro rende chiaramente fuori scala certe valutazioni numeriche che impiegano tre o quattro cifre, specialmente viste nella conversione tra intensità macrosismica  $I$  e magnitudo  $M$ , o nella stima della magnitudo  $M$  di sismi storici, anche nello stesso sito della INGV. Una differenza di magnitudo pari a 0.2 corrisponde a un fattore di variazione di energia liberata pari a circa 2.

## Riferimenti

Accademia Nazionale dei Lincei, La Resilienza delle Città d'Arte ai Terremoti, 3-4/11/2015 Roma.

<https://www.youtube.com/watch?v=ZRMpNMR0C4s><sup>[475]</sup>

Beni Culturali Regione Veneto, Prevenzione Sismica in Area Veneta

<https://www.veneto.beniculturali.it/prevenzione-sismica-area-veneta><sup>[475]</sup>

Fasan, M., C. Amadio, S. Noè, G. F. Panza, A. Magrin, F. Romanelli, and F. Vaccari. 2015. A new design strategy based on a deterministic definition of the seismic input to overcome the limits of design procedures based on probabilistic approaches. Pages 1–11, XVI Convegno ANIDIS. L'Aquila.

Fasan, M., A. Magrin, C. Amadio, F. Romanelli, F. Vaccari, and G. F. Panza. 2016. A seismological and engineering perspective on the 2016 Central Italy earthquakes. *International Journal of Earthquake and Impact Engineering* 1:395–420.

Fasan, M., A. Magrin, C. Amadio, G. F. Panza, F. Romanelli, and F. Vaccari. 2017. A possible revision of the current seismic design process. Pages 1–12 16th World Conference on Earthquake Engineering. Santiago, Chile.

Kahneman D, 2011, Thinking Fast and Slow, Macmillan (in Italiano *Pensieri Lenti e Veloci*, Saggi Mondadori 2012)

Kossobokov, V. e Nekrasova, A., 2012, Global Seismic Hazard Assessment Program Maps Are Erroneous, *Seismic Instrum.*, 48, 162-170, Allerton Press, Inc., doi: 10.3103/S0747923912020065.

Mulargia F., Stark P. B., Geller R. J., Why is Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) still used?, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 264, Marzo 2017, <https://doi.org/10.1016/j.pepi.2016.12.002><sup>[475]</sup>

Panza P, Peresan A, 2016, Difendersi dal Terremoto Si Può, *I Diagonali*, EPC, Roma



Pierotti P, 2016, Sismografia Storica, *I Diagonali*, EPC, Roma

Rugarli P, 2008, Zone Griglie o...Stanze, *Ingegneria Sismica*, **1**

Rugarli P, 2014, Validazione Strutturale, *I Diagonali*, EPC, Roma

Società Geologica Italiana, Comunicati e Notizie, 14/9/2015

[http://www.socgeol.it/300/3330/news/il\\_programma\\_di\\_verifiche\\_sismiche\\_della\\_provincia\\_di\\_triESTE\\_sugli\\_edifici\\_di\\_propria\\_competenza.html](http://www.socgeol.it/300/3330/news/il_programma_di_verifiche_sismiche_della_provincia_di_triESTE_sugli_edifici_di_propria_competenza.html) 

Spagnuolo R, 2014, Il Convitato di Vetro, *I Diagonali*, EPC, Roma

## 2.36 Come affrontare le analisi sismiche con i segnali

La gestione delle verifiche sismiche in Italia è diventata sempre più importante con il passare degli anni. Ciò è dipeso sia dalla evoluzione delle normative, sia dal fatto che numerosi terremoti avvenuti in Italia hanno messo in luce i danni spesso irreparabili che questi provocano al Paese.

Parallelamente a questa accresciuta consapevolezza, è emersa in modo sempre maggiore la convinzione che gli approcci usati dalla normativa (detti PSHA, *Probabilistic Seismic Hazard Assessment*) siano inattendibili e implicino verifiche di tipo "probabilistico" sostanzialmente prive di base. Tutto il sistema usato per 40 anni per verificare le strutture contro i terremoti è entrato in crisi, e nel momento in cui si scrive (Novembre 2018), si ha la sensazione di essere in una fase di cambiamento.

L'argomento è vasto e complesso, in questa sezione si vuole fornire agli utenti del programma una guida sintetica che possa aiutare a orientarsi.

Questa sezione illustra aspetti metodologici e teorici. Le due sezioni seguenti, invece, illustrano gli aspetti operativi:

[Come gestire gli spettri di inviluppo dei segnali](#) 

[Come utilizzare EDEM](#) 

[Come fare analisi dinamiche non lineari](#) 

### 1. PSHA vs NDSHA

In sostanza la differenza tra i due approcci è la seguente: PSHA valuta terremoti che abbiano una certa probabilità di avvenire in un certo luogo e durante un certo lasso di tempo ed utilizza relazioni empiriche di attenuazione per modificare i segnali dalla sorgente al sito, NDSHA valuta i possibili eventi nelle faglie limitrofe al sito in esame, stimandone la magnitudo per eccesso e poi calcolando, con modelli meccanici robusti, i segnali sino alla superficie, senza l'uso di relazioni di attenuazione ma per mezzo di modellazione meccanica diretta degli strati attraversati dal treno d'onde nella sua propagazione dalla sorgente al sito.

Il metodo probabilistico valuta (presumendo di poterlo fare) la severità che un certo terremoto può avere stabilita la sua "probabilità" di occorrenza ed un certo "periodo di riferimento". Dalle due si deriva, utilizzando praticamente le stesse regole valide per il lancio dei dadi (la distribuzione Poissoniana e la binomiale quasi coincidono nel campo di interesse), il "periodo di ritorno". Dal "periodo di ritorno", usando i cataloghi ed altre fonti tra le quali il "giudizio di esperti" e l' "albero logico", si arriva a determinare una certa PGA (peak ground acceleration) che è impiegata come il principale indicatore della severità del terremoto.

Il metodo neodeterministico parte da una valutazione involupante della magnitudo del terremoto che può avvenire in una certa faglia. Recentemente nell'articolo seguente:

**Seismogenic nodes as a viable alternative to seismogenic zones and observed seismicity for the definition of seismic hazard at regional scale,**

di Paolo Rugarli, Franco Vaccari e Giuliano Panza,

appena presentato alla rivista *Engineering Geology*, è stato mostrato in modo rigoroso che incrementare la magnitudo alla faglia di un certo quid, valutato come  $\gamma_{EM} \Delta\sigma$ , nell'ordine di 0.4-0.5 ( $\Delta\sigma$  è l'errore tipico commesso nella valutazione delle magnitudo, nell'ordine di 0.2-0.25,  $\gamma_{EM}$  è un fattore di sicurezza nell'ordine di 2.0-2.8), è del tutto equivalente a fattorizzare il *momento meccanico* scambiato alla faglia con un fattore  $\gamma_p$  compreso tra 3 e 6. Una tale osservazione, molto importante da un punto di vista teorico, riconnette quanto fatto da anni

nella pratica NDSHA ai metodi per fattori parziali applicati alle azioni, già in uso ad esempio negli Eurocodici. Solo che anziché usare un valore caratteristico della magnitudo stimato per mezzo di una (impossibile) statistica, il metodo NDSHA, come del resto contemplato dallo stesso Eurocodice 0, utilizza una stima di un suo limite superiore basata su evidenze sismologiche, storiche e geotettoniche.

Approfondimenti in merito al metodo NDSHA ed al suo confronto con PSHA possono essere trovati qui;

[Come saperne di più sul metodo neodeterministico](#)<sup>[475]</sup> (in questa stessa guida)

[Paolo Rugarli Validazione Strutturale EPC Libri, 2014](#) (il pertinente capitolo è liberamente scaricabile dal sito dell'Editore)

[Giuliano F. Panza Antonella Peresan, Difendersi dal Terremoto si Può, EPC Libri, 2016](#)

[Norme Tecniche per le Costruzioni NTC 2018 - presentazione al volume EPC](#)

[Neo-Deterministic Scenario-Earthquake Accelerograms and Spectra: a NDSHA Approach to Seismic Analysis, di Rugarli P, Amadio C., Peresan A., Fasan M., Vaccari F., Magrin A., Romanelli F. Panza G.F., Capitolo nel libro "Structural Engineering in Vibrations, Dynamics and Impacts" CRC press, Taylor & Francis Group, Junbo Jia and Jeom Kee Paik Editors](#)

## 2. SPETTRI DI NORMATIVA E SPETTRO COMPATIBILITÀ

Qualsiasi sia il metodo impiegato per pre-selezionare un certo numero di accelerogrammi da usare per le analisi sismiche, le normative in vigore in Italia (ed anche in molti altri Paesi del mondo) impongono il requisito della *spettro-compatibilità*. Per spettro-compatibilità si intende il fatto che ogni segnale impiegato (o molto spesso la media di un certo numero di segnali) deve comportare delle ordinate spettrali, almeno nel range di periodi significativo per la struttura in esame, non inferiori di un certo valore percentuale rispetto alle ordinate spettrali dello spettro elastico di normativa, calcolato con il medesimo smorzamento relativo al critico di riferimento. Precisamente, nel caso delle Norme Tecniche per le Costruzioni, un tale requisito è richiamato al par. 3.3.6.

Nel caso di **accelerogrammi artificiali** (ovvero generati per via numerica puramente in modo da essere spettro compatibili) l'ordinata spettrale *media* dei vari segnali utilizzati non deve presentare uno scarto in difetto superiore al 10%, in alcun punto compreso tra gli intervalli 0.15-2.0 o 0.15-2T, dove T è il periodo del primo modo della struttura (agli SLU).

Nel caso di **accelerogrammi generati per simulazione del meccanismo di sorgente** (ovvero proprio gli NDSHA) l'ordinata spettrale *media* non può essere in difetto per più del 20%. Ciò vale negli stessi intervalli di periodo indicati per i segnali artificiali (ovvero anche per periodi nei quali la struttura in esame non ha modi).

Nel caso degli **accelerogrammi naturali** (selezionati e scalati in modo opportuno) lo scarto in difetto non può essere superiore al 10% e quello in eccesso non può essere superiore al 30%. Tuttavia non vale lo stesso intervallo di periodi, ma solo, genericamente, vien detto "in alcun punto dell'intervallo di periodi propri di vibrazione di interesse per l'opera in esame".

Queste stringenti prescrizioni si prestano a svariati commenti.

In primo luogo il requisito che lo spettro *medio* soddisfi certi criteri non appare né fondato né sensato. Infatti, ciascun accelerogramma sarà utilizzato singolarmente, ai fini delle TH (time history) e quindi ciò che conta sarà semmai (ma neppure questo come si vedrà tra breve) il valore delle ordinate spettrali *massime* di ciascun segnale ed il suo contenuto in frequenza. Dire che la media di un carico è 100, se il massimo è 200 non ha molto senso. E nemmeno ha senso misurare gli effetti di un certo insieme di segnali prendendo il valore *medio* della risposta riferita a un certo indicatore (come talvolta si vede fare). L'unico approccio condivisibile è che *la maggior parte* dei segnali ipotizzati *non* deve comportare effetti disastrosi per la struttura in esame o verifiche inaccettabili. Ciò è peraltro coerente con il concetto di base di NDSHA. La pretesa di calcolare "probabilità" (in qualsiasi punto del processo, anche a valle delle stime iniziali di NDSHA), o di riferirsi ai valori medi come indicatori fisici di un qualcosa, in questo caso appare del tutto infondata. Queste "probabilità" sono artefatti numerici privi di alcun contenuto fisico. Il loro uso, teso a mettersi il cuore in pace per aver stimato qualcosa di *improbabile* introduce una falla logica sostanziale in un metodo, quello NDSHA, che ha come obiettivo la stima di un ragionevole inviluppo, senza la pretesa di valutarne quantitativamente la verosimiglianza. Un inviluppo è un inviluppo: bisogna prendere sistematicamente il massimo in tutti gli stadi del processo, o un adeguatamente alto

percentile (che non c'entra con la probabilità). Che senso ha, a valle di una procedura che parte stimando un involuppo per la magnitudo dell'evento di riferimento, prendere poi il valore medio degli effetti dei segnali involuppati?

In secondo luogo è evidente il *trucco* che penalizza i segnali NDSHA, costringendoli ad avere spettro compatibilità in un intervallo di periodi anche molto diverso da quello effettivamente ricompreso nella gamma dei periodi della struttura.

In terzo luogo, è proprio il requisito della spettrocompatibilità ad essere sbagliato per ragioni di principio. Infatti, la forma dello spettro di normativa è stata invalidata frequentemente dai segnali registrati nel corso di terremoti violenti (e.g. Ischia, Norcia), e quindi imporre che i segnali NDSHA vi si adattino significa esattamente buttare via (obbligare a buttare via) la parte più significativa ed informativa del metodo NDSHA, che, modellando direttamente gli strati attraversati dal treno d'onde nella sua propagazione dalla ipotizzata sorgente al sito, è anche in grado di filtrare in modo attendibile quanto avvenuto alla sorgente, dando luogo a più realistici segnali (e spettri di risposta di segnali) al sito di interesse. Di conseguenza, anche nei casi in cui - e ci sono - i segnali NDSHA risultino significativamente meno severi di quelli PSHA, il progettista è obbligato a mettere non meno del 20% di quanto previsto dalla normativa. Il bicchiere mezzo pieno è che questo 20% può essere molto importante in certi casi, in specie quando si tratti di verificare strutture esistenti.

In quarto e fondamentale luogo, come si vedrà [nella sezione relativa al metodo EDEM](#)<sup>[503]</sup> (*Elastic Deformation Energy Maximization*), i valori delle ordinate spettrali per i vari modi (ovvero i picchi di risposta dei vari modi ad un certo segnale), non sono in relazione che indiretta con l'energia di deformazione effettivamente incassata dalla struttura (e quindi con il cemento a cui è sottoposta), la quale dipende in modo sostanziale dalle *fasi* e quindi dalle *sfasature* che le varie armoniche in cui si può decomporre ciascun accelerogramma hanno tra loro. Può infatti accadere che un segnale che abbia la PGA maggiore di un altro, e ordinata spettrale per il primo modo (e anche il secondo) maggiore di un altro, comporti, quando effettivamente sperimentato in una TH, una energia di deformazione di picco *minore*, di quella di un altro segnale, con PGA minore e con picco spettrale minore. Dunque se la domanda è "quale di questi accelerogrammi provoca gli effetti peggiori alla mia struttura", la risposta non è "quello che comporta ordinata spettrale massima per il modo dominante", ma, a fasi ormai

date e obiettivamente presenti nei segnali, più verosimilmente "quello che implica in un certo istante la massima energia di deformazione del sistema".

Tutte queste importanti osservazioni convergono a far concludere che la spettro compatibilità è un concetto errato, in quanto esso poteva avere un valore quando la ricerca sismologica fondamentale non aveva raggiunto lo sviluppo odierno. Oggi è evidente che si va verso una situazione nella quale ogni struttura, posta in un certo luogo, sarà assoggettata a certi segnali scelti proprio in modo di massimizzare gli effetti proprio su quella struttura.

### **3. SCELTA INIZIALE DEGLI ACCELEROGRAMMI**

#### **3.1 Approcci basati su similitudini di segnali naturali**

In questo caso viene selezionato un certo numero di accelerogrammi naturali che abbiano certi requisiti in comune con il terremoto (o i terremoti) di scenario attesi. I terremoti di scenario attesi non fanno parte della informazione esplicitamente data dai metodi probabilistici (che *mescolano* vari scenari tra loro per dare le probabilità finali) e quindi si ottengono con un procedimento "al contrario" che è detto disaggregazione. Di fatto si tratta di tornare a considerare le singole faglie ed i singoli possibili terremoti, che è quanto già NDSHA fa nativamente.

I terremoti di scenario scelti devono avere certe caratteristiche di magnitudo  $M$ , di distanza epicentrale  $D$ , di profondità ipocentrale  $H$ . Devono inoltre avere una certa PGA. All'interno dei cataloghi mondiali dei terremoti avvenuti e registrati, si cercano quindi terremoti aventi caratteristiche simili, considerando quei segnali come segnali significativi per il (diverso) sito in esame. E' possibile che siano applicati metodi numerici di riscalatura per tener conto di vari possibili problemi, come il tipo di suolo, o le caratteristiche specifiche della faglia.

## Waveforms Search

Simple search	Advanced search
Magnitude ( $M_W$ or $M_L$ )	from $\geq$ : <input type="text"/> to $<$ : <input type="text"/>
Epicentral distance [Km]	from $\geq$ : <input type="text"/> to $<$ : <input type="text"/>
Corrected PGA [ $\text{cm/s}^2$ ]	from $\geq$ : <input type="text"/> to $<$ : <input type="text"/>
PGV [ $\text{cm/s}$ ]	from $\geq$ : <input type="text"/> to $<$ : <input type="text"/>
Event id	<input type="text"/>
Date (YYYY-MM-DD)	from $\geq$ : <input type="text"/> to $<$ : <input type="text"/>
Station Code	<input type="text"/>
Station Name	<input type="text"/>
EC8	-- Any value -- $\nabla$

Ad esempio nel sito di INGV (ITACA: <http://itaca.mi.ingv.it> , waveforms), si possono specificare la PGA, la distanza epicentrale, la magnitudo e il tipo di suolo secondo EC8. Nella ricerca avanzata, si possono indicare anche altre caratteristiche.

Waveform	click to show-hide
Magnitude ( $M_W$ or $M_L$ )	from $\geq$ : <input type="text"/> to $<$ : <input type="text"/>
Epicentral distance [Km]	from $\geq$ : <input type="text"/> to $<$ : <input type="text"/>
$R_{jb}$ [km]	from $\geq$ : <input type="text"/> to $<$ : <input type="text"/>
Corrected PGA [ $\text{cm/s}^2$ ]	from $\geq$ : <input type="text"/> to $<$ : <input type="text"/>
Uncorrected PGA [ $\text{cm/s}^2$ ]	from $\geq$ : <input type="text"/> to $<$ : <input type="text"/>
PGV [ $\text{cm/s}$ ]	from $\geq$ : <input type="text"/> to $<$ : <input type="text"/>
PGD [cm]	from $\geq$ : <input type="text"/> to $<$ : <input type="text"/>
Housner Int. [cm]	from $\geq$ : <input type="text"/> to $<$ : <input type="text"/>
Duration [s]	from $\geq$ : <input type="text"/> to $<$ : <input type="text"/>
Arias intensity [cm/s]	from $\geq$ : <input type="text"/> to $<$ : <input type="text"/>
Late triggered record?	-- Any value -- $\nabla$
Pulse like	-- Any value -- $\nabla$
Instrument type	-- Any value -- $\nabla$

Events <small>click to show-hide</small>	
Event id	<input type="text"/>
Date (YYYY-MM-DD)	from $\geq$ : <input type="text"/> to $\leq$ : <input type="text"/>
Event name	<input type="text"/>
Latitude (e.g. 45.27)	from $\geq$ : <input type="text"/> to $\leq$ : <input type="text"/>
Longitude (e.g. 12.7)	from $\geq$ : <input type="text"/> to $\leq$ : <input type="text"/>
Epicentral intensity	from $\geq$ : <input type="text"/> to $\leq$ : <input type="text"/>
Hypocentral depth [km]	from $\geq$ : <input type="text"/> to $\leq$ : <input type="text"/>
Style of faulting	-- Any value -- <span>▼</span>
Nation	-- Any value -- <span>▼</span>
Region	<input type="text"/>
Province	<input type="text"/>
Municipality	<input type="text"/>

Questo metodo di raccolta dei segnali è criticabile e non affidabile per la fondamentale ragione che omette di considerare lo specifico degli strati che il segnale dovrebbe attraversare, tra la sorgente e il sito. Quindi, anche se il segnale è stato generato da un evento avente la stessa magnitudo dell'evento ipotizzato, a una distanza epicentrale simile e a una profondità ipocentrale simile (e magari con altre caratteristiche similil), il suo contenuto in frequenza sarà significativamente diverso da quello che riguarderebbe lo specifico sito in esame. In altre parole, facendo un esempio, se trovo un terremoto avvenuto in Cile con la stessa magnitudo che sto cercando, e registrato a una distanza simile a quella che mi interessa dal suo epicentro, e riferentesi ad un evento con profondità epicentrale simile, il segnale sarà in generale anche molto diverso da quello che riguarda la faglia che sto considerando, per il sito che sto considerando, dato che la natura, struttura, morfologia e caratteristiche meccaniche degli strati profondi nella regione coinvolta in Cile, sono diversi da quelli della regione di mio interesse (in Italia, ed in un particolare comune del territorio nazionale). Quindi, il fatto che il segnale sia naturale, ma relativo ad una diversa area del globo, non è da preferire a un segnale sintetico, che però riguarda la specifica area di mio interesse, esattamente come il suono di un campanello che cade si ode in modo differente in aria, acqua o di là da una parete.

### 3.2 Approcci NDSHA basati su simulazione fisica

In questo caso viene *naturalmente* preso in considerazione uno scenario (ovvero: senza bisogno di alcuna disaggregazione, dato che NDSHA parte proprio dai terremoti di scenario), e



da esso vengono tratti un certo numero di accelerogrammi che possono riferirsi anche a diverse *realizzazioni* dello scorrimento di faglia. Queste realizzazioni sono associate al fatto che la faglia ha una estensione finita, dunque a seconda del punto in cui lo scorrimento inizia, e del diverso ipotizzato modo di propagarsi, si possono ottenere decine o anche centinaia di segnali diversi, tutti però aventi un marcatore comune che è la faglia che li ha generati, ed il percorso simulato che hanno fatto per giungere dalla ipotizzata sorgente al sito di interesse. Spesso è necessario, per un dato sito, prendere in considerazione più di un faglia, o più di uno scenario per una stessa faglia, e quindi si possono generare, effettivamente, centinaia di segnali per la verifica sismica di una data struttura.

Mentre anni fa una tale mole di dati sarebbe risultata intrattabile, oggi, per mezzo degli [spettri di inviluppo da un lato](#)<sup>[553]</sup>, [di EDEM](#)<sup>[503]</sup> o di altre possibili tecnologie, è possibile selezionare uno spettro da usare per le analisi a spettro di risposta, o, all'interno di questo vasto campione di segnali, un ristretto sottoinsieme di segnali che abbiano la capacità di massimizzare gli effetti del sisma per la particolare struttura in esame e da usare per la TH. Un tale risultato porta a un significativo cambiamento nel modo di eseguire le analisi sismiche.

Al momento in cui si scrive l'unica sorgente nota di segnali di tipo neodeterministico (NDSHA) è il sito collegato con i ricercatori della università di Trieste [www.xeris.it](http://www.xeris.it). Non è noto il tipo di servizio offerto, i tempi ed i costi, ma si ritiene che verosimilmente questi costi possano essere compatibili con analisi relative a progetti di importanza meno che minima. Si rimanda a tale sito per avere informazioni di dettaglio.

#### **4. UTILIZZO DEGLI ACCELEROGRAMMI CON IL METODO DELLO SPETTRO DI RISPOSTA.**

In linea di principio, sarebbe possibile estrarre da un vasto insieme di segnali significativi il loro spettro di inviluppo, ed usare questo al posto dello spettro di normativa. Tale approccio, in varie forme è stato proposto in questi lavori con il nome di MCSI (Maximum Credible Seismic Input):

[Fasan, M., C. Amadio, S. Noè, G.F. Panza, A. Magrin, F. Romanelli and F. Vaccari. 2015. A new design strategy based on a deterministic definition of the seismic input to overcome the](#)

[limits of design procedures based on probabilistic approaches. In: Convegno ANIDIS 2015. L'Aquila, Italy.](#)

[Fasan, M., A. Magrin, C. Amadio, G.F. Panza, F. Romanelli and F. Vaccari. 2017. A possible revision of the current seismic design process. In: World Conference on Earthquake Engineering. Santiago, Chile.](#)

De Natale G., Panza G. F., Petrazzuoli S., Romanelli F., Troise C., Vaccari F., Somma R., Peresan A., *Seismic Hazard Assessment and Risk Mitigation at Ischia Island (Naples, Southern Italy): A Paradigm for Seismic Risk Management in Italy*, International Conference on Resilience and Sustainability of Cities in Hazardous Environments 26-30 November 2018, Naples, Italy

In pratica, se dato un certo periodo  $T$  (associato a un certo modo  $n$  della struttura), si possono ottenere  $nacc$  diversi valori spettrali, ciascuno dei quali associato a uno dei  $nacc$  segnali considerati, si può prendere il massimo di tali valori e considerarlo come spettro di inviluppo. L'insieme di tutti i valori ottenuti per tutti i vari periodi  $T$  dei vari modi della struttura porta a definire una curva che è lo spettro di accelerazione di inviluppo per l'insieme dei segnali considerati. Sargon [consente di calcolare questo spettro di inviluppo](#)<sup>[553]</sup> in modo automatico e di impiegarlo per le analisi a spettro di risposta.

Un secondo possibile modo di usare le  $nacc$  ordinate spettrali a periodo  $T$  dato, è calcolarne il valore corrispondente a un certo [percentile](#). Tale procedura è ingannevole se pretende di associare una "probabilità" al valore trovato, mentre può essere considerata un modo per prendere un valore un po' minore del massimo, se e quando reputato eccessivamente cautelativo.

Un terzo possibile modo è quello di considerare la mediana dei  $nacc$  risultati spettrali ottenuti. In questo caso si sta considerando il 50° percentile.

Comunque, lo spettro di risposta di inviluppo *vero*, ovvero senza percentili, di un vasto insieme di segnali NDSHA è una curva che potrebbe effettivamente essere impiegata al posto dello spettro di normativa, per la verifica sismica mediante la analisi a spettro di risposta. E' da notare che, data che sia una certa struttura di nostro interesse per la quale sia stata fatta una

analisi modale, noi non siamo interessati - come invece la norma ci impone nel caso della TH - alle ordinate spettrali in tutto un intervallo, bensì solo alle ordinate spettrali in corrispondenza ai modi di nostro interesse, ovvero solo ai periodi propri dei modi estratti della struttura. Infatti, le altre ordinate spettrali, non associate ad alcun modo di quelli della struttura, non entrano di fatto minimamente nei calcoli che vengono eseguiti dalla analisi a spettro di risposta. Dunque, in questo caso, il requisito di spettro compatibilità *in grande*, non ha senso. L'unico requisito che dovrà essere verificato, per essere pienamente in accordo allo spirito della norma, è quello della spettro compatibilità *in piccolo*, vale a dire solo in corrispondenza ai singoli modi considerati. Ma, l'uso della analisi a spettro di risposta con spettro di inviluppo su segnali sintetici, è consentito dalla normativa? Al momento in cui si scrive non sembra dato che la norma dice al par. 3.2.3.5 che

*"lo spettro di risposta di progetto da utilizzare [...] è lo spettro di risposta elastico corrispondente riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR considerata (par. 2.4 e 3.2.1)."*

Tuttavia, se per speciali siti di particolare interesse (impianti industriali pericolosi, centrali ecc.) si ritiene di dover fornire una progettazione maggiormente sicura, allora si può anche dire che la norma non può vietare di usare spettri che comportino ordinate spettrali eguali o *superiori* a quelle previste dai metodi probabilistici. Ciò è quanto è sperimentalmente successo a Ischia, Norcia ed Amatrice ([Fasan, M., A. Magrin, C. Amadio, F. Romanelli, F. Vaccari and G.F. Panza. 2016. A seismological and engineering perspective on the 2016 Central Italy earthquakes. International Journal of Earthquake and Impact Engineering 1: 395–420](#)). Basta controllare la seguente figura, nel lavoro citato:

NRC: stazione a Norcia

[https://www.researchgate.net/profile/Marco\\_Fasan2/publication/315533361/figure/fig3/AS:614151743365121@1523436594119/Comparison-between-observed-SA-at-NRC-station-events-of-24-08-2016-and-30-10-2016.png](https://www.researchgate.net/profile/Marco_Fasan2/publication/315533361/figure/fig3/AS:614151743365121@1523436594119/Comparison-between-observed-SA-at-NRC-station-events-of-24-08-2016-and-30-10-2016.png)

## 5. UTILIZZO DEGLI ACCELEROGRAMMI: TIME HISTORY

### 5.1 Time history lineare

Un modo alternativo alla analisi a spettro di risposta, per eseguire le verifiche sismiche, consiste nell'eseguire analisi di time history, vale a dire eseguire la integrazione nel dominio del tempo delle equazioni differenziali governanti e calcolare, istante per istante, come si muove la struttura, che azioni interne sperimenta, che *drift* di piano eccetera.

La time history *lineare* può essere fatta in modo molto efficiente utilizzando i risultati di una analisi modale. In questo caso si assume che il comportamento degli elementi sia lineare, e quindi non si tiene conto delle plasticizzazioni. Questa circostanza rappresenta un limite significativo, tenuto conto che la progettazione sismica odierna è - quasi sempre - basata sul concetto di dissipazione di energia e quindi sulle plasticizzazioni. Inoltre, un calcolo lineare non tiene conto degli effetti del secondo ordine.

La analisi TH lineare può comunque essere molto interessante per tutte queste ragioni:

- Dà una informazione sul livello prestazionale richiesto e sulla distribuzione elastica degli sforzi in una vera analisi nel tempo, ovvero seguendo il comportamento dinamico della struttura e considerando i modi sovrapposti senza tortuose e fisicamente prive di senso sovrapposizioni modali basate su radici quadrate.
- Consente molto rapidamente di stimare l'energia di deformazione massima richiesta da un certo segnale, anche considerando le sole zone dissipative, e quindi consente di comprendere quali segnali siano i peggiori per la struttura in esame (EDEM).
- Può essere utile per strutture che debbano rimanere in campo elastico (fattore di struttura  $q=1$  o anche 1.5, incrementando un po' lo smorzamento modale).
- Consente agevolmente di attribuire smorzamenti modali diversi e quindi è molto utile nella analisi di sistemi isolati sismicamente, nei quali la dissipazione avviene principalmente alla base e il sistema principale resta elastico. In questo caso i modi (disaccoppiati) relativi agli smorzatori/isolatori possono essere studiati con smorzamenti relativi al critico molto superiori al classico 5% utilizzato per le parti squisitamente strutturali, e la THL è sostanzialmente esatta.

- Se l'accelerogramma è scalato del fattore di struttura, consente di verificare che i sistemi dissipativi siano progettati al loro limite elastico sotto segnali di progetto scalati del fattore di comportamento  $q$  (che è il paradigma della progettazione dissipativa).
- Consente di utilizzare il metodo EDESM (Elastic Deformation Energy Snapshot Method) per valutare la domanda non lineare (vedi sezione 6).

La idea di usare i segnali selezionati con EDEM per le analisi non lineari, è coerente con quanto viene fatto nelle analisi di pushover, dove si adottano distribuzioni di forze coerenti con i modi, e quindi derivate *di fatto* da una analisi elastica (si veda anche la sezione 6).

## 5.2 Time history non lineare

Si tratta del modo di elezione per eseguire le verifiche sismiche. Dato che la struttura è seguita in campo non lineare, si può valutare in modo effettivamente corretto (nei limiti delle approssimazioni) come i vari indicatori di cimento evolvano nel tempo (interstorey drift, elongazioni, deformazioni plastiche puntuali, ecc.). Il problema delle analisi non lineari è che comportano un onere computazionale maggiore di quelle lineari, tuttavia, il loro uso è consigliato quando coniugate con buoni sistemi di preselzione di accelerogrammi, come EDEM. In pratica con EDEM si usa una serie (anche numerosa) di TH lineari, per decidere su quali segnali eseguire la TH non lineare. Come sistema di scelta degli accelerogrammi viene dunque usata la THL.

A partire dalla versione 16.00 Sargon dispone del solutore dinamico non lineare DYNCURAN. Si veda [Come fare le analisi dinamiche non lineari](#)<sup>553</sup>.

## 5.3 Scelta degli accelerogrammi per la time history

Soprattutto se si deve fare una THNL, ma anche se si devono eseguire più THL, la scelta degli accelerogrammi più significativi non si presenta semplice.

Sul fronte della pericolosità sismica, ovvero considerando quando può avvenire in un certo luogo senza tener conto del tipo di struttura da verificare, abbiamo visto che la

disponibilità di segnali può essere ottenuta con diverse metodologie, le quali però hanno un ben diverso grado di attendibilità. Al momento si ritiene che gli unici segnali aventi una buona attendibilità siano quelli generati con simulazione del meccanismo di sorgente, senza l'utilizzo delle relazioni di attenuazione: in pratica i segnali NDSHA.

Scelti in qualsivoglia modo un certo numero di segnali rappresentativi della pericolosità sismica del sito a cui si è interessati, in passo successivo consiste nel pre-selezionare all'interno di essi un numero di segnali effettivamente rappresentativi del peggio che possa capitare alla struttura oggetto di esame. La strada giusta non è quindi quella di selezionare 7 o 10 segnali (o terne di segnali) spettrocompatibili e poi provarli tutti (come sembra suggerire la normativa), bensì è quella di considerare alcune centinaia di eventi e poi scegliere per mezzo di EDEM, tra questi, pochi eventi che massimizzino la domanda. Quali di questi eventi abbiano questa proprietà dipende *dalla struttura*, ovvero, strutture diverse potranno dover essere verificate con segnali diversi. E' da notare che il metodo EDEM (qui proposto in un programma commerciale per la prima volta al mondo, a quanto consta), è sufficientemente rapido da consentire l'esecuzione di un tale lavoro con computer domestici, e richiede tempi di calcolo relativamente limitati (minuti o decine minuti).

### 5.3.1 Cosa si sta cercando

Idealmente i segnali da considerare sono quelli che massimizzano la *domanda*, tenendo conto del comportamento non lineare della struttura. Per "domanda" si intende il valore di alcuni indicatori di cimento presi come riferimento per la determinazione delle prestazioni che la struttura è chiamata ad erogare. Questi indicatori sono tipicamente:

- gli spostamenti relativi di interpiano.
- le elongazioni dei diagonali tesi dissipativi (deformazioni massime).
- le deformazioni puntuali massime delle sezioni trasversali dei link, negli elementi dissipativi flessionali.
- lo spostamento globale di uno o più punti di controllo.
- i coefficienti di sfruttamento degli elementi nel corso della evoluzione nel tempo.

Non si è citata la tanto menzionata "rotazione rispetto alla corda" perché la disponibilità di modelli a fibre (gli unici al momento implementati in Sargon per l'analisi non lineare di elementi beam) consente di leggere direttamente il valore della deformazione plastica puntuale (con presso o tenso flessione biassiale) senza doverla ricostruire a partire da modelli a plasticità concentrata (ovvero i modelli che usano cerniere plastiche poste in una sezione degli elementi), i quali tra l'altro entrano in crisi quando il comportamento è compiutamente tridimensionale.

Se idealmente tali indici di cimento devono essere calcolati con THNL (e quindi esaminando, per ogni evento, la loro evoluzione nel tempo cercando il massimo, anche mettendo in conto la degradazione della resistenza dei link a causa della fatica oligociclica), in pratica è difficile farlo per centinaia di eventi a causa del tempo di calcolo. Sargon comunque [consente la MULTI analisi sismica](#)<sup>[553]</sup>, ovvero di eseguire una dopo l'altra in cascata un serie di analisi sismiche. La strada giusta non è allora quella di considerare *ab initio* pochi segnali, da provare tutti, ma è quella di considerare molti segnali pre-selezionandoli con metodi opportuni.

### 5.3.2 Spettro compatibilità

Si è già detto che la spettro compatibilità richiesta dalle normative ha come effetto di forzare a considerare (in media) segnali con spettro non troppo dissimile da quello (alquanto fortunatamente ottenuto) proprio della normativa.

Va segnalato, tra l'altro, che nessun segnale può rispettare le ordinate dello spettro di normativa in ogni punto, ovvero per ogni periodo: infatti, le ordinate dello spettro di risposta della normativa si riferiscono, in generale, a segnali differenti. Quando, utilizzando il metodo dello spettro di risposta, si combinano gli effetti massimi dei modi utilizzando le relative ordinate spettrali, non si sta commettendo un errore fisico soltanto perché, come spesso si dice, i massimi dei vari modi, combinati con una qualche forma di radice quadrata della somma dei quadrati, sono raggiunti *in istanti diversi*, ma anche e soprattutto perché i massimi sono raggiunti *in eventi diversi*. Questa considerazione è fondamentale.

Quindi, la spettro compatibilità non ha senso se misurata su un singolo segnale, ma su un gruppo di segnali. In questo caso, lo scopo sarebbe quello di verificare che tra i segnali considerati non ne manchino tali da eccitare i modi strutturali considerati con una risposta *massima* paragonabile a quella dello spettro di normativa.

Ma, anche mitigata da questa considerazione, la spettro compatibilità non tiene conto che i vari modi oscillano in contemporanea, e che dato un certo indicatore di cimento, questo può essere massimizzato dalla somma di effetti di modi diversi, sfasati in un certo grado tra loro, e non individualmente aventi, in quel particolare segnale, il massimo previsto dallo spettro di risposta per il loro periodo. In altre parole *ciò che conta è l'effetto combinato dei modi, non il loro picco individuale*. La considerazione, già valida in campo lineare, diventa ancora più valida in campo non lineare, dove i modi, a stretto rigore, non esistono più.

Questa importante considerazione porta alle seguenti conclusioni in merito ai criteri per scegliere gli accelerogrammi.

### 5.3.3 EDEM

Preso un certo evento ed eseguita un TH lineare basata su una precedente analisi modale, è possibile misurare, in ogni istante di tempo, l'energia di deformazione incassata all'interno della struttura. Questa energia di deformazione è in diretta correlazione con gli sforzi che sollecitano i vari elementi strutturali e quindi con il cimento cui sono sottoposti. Nel corso della storia temporale, l'energia di deformazione incassata varia, in modo che in un certo particolare istante essa raggiunge il suo massimo, normalmente misurato in Joule.

Se questa analisi è ripetuta per molti diversi eventi, è possibile creare una nuova curva che ha in ascissa il numero dell'evento sperimentato, ed in ordinata la massima energia di deformazione incassata dalla struttura per quel segnale.

Il metodo EDEM (Elastic Deformation Energy Maximization) *considera gli eventi ai quali corrisponde la massima energia di deformazione come quelli più interessanti ai fini della verifica sismica*. Tale principio è affine a quanto viene già implicitamente fatto da altri metodi, come il metodo dello spettro di risposta o l'analisi pushover, nel considerare la risposta *elastica* come un indicatore significativo non solo del comportamento lineare, *ma*



*anche del comportamento non lineare.* Infatti, nella analisi a spettro di risposta la risposta elastica viene abbattuta di un fattore  $q$ , facendo quindi riferimento alla riscalatura di una risposta che in realtà è fisicamente inaccessibile, dato che la struttura si snerva prima di arrivarci. Allo stesso modo, le forze usate per l'analisi di pushover, sono quelle associate ai modi, e quindi hanno una distribuzione elastica ed intensità tali da portare invece la struttura al di fuori del campo elastico. Una stessa filosofia, applicata ad EDEM, porta direttamente al metodo EDESM (sezione 6).


A differenza degli altri metodi nominati, comunque, il metodo EDEM considera correttamente tutti i modi desiderati e la loro sovrapposizione istante per istante, e quindi considera in modo corretto *le fasi*.

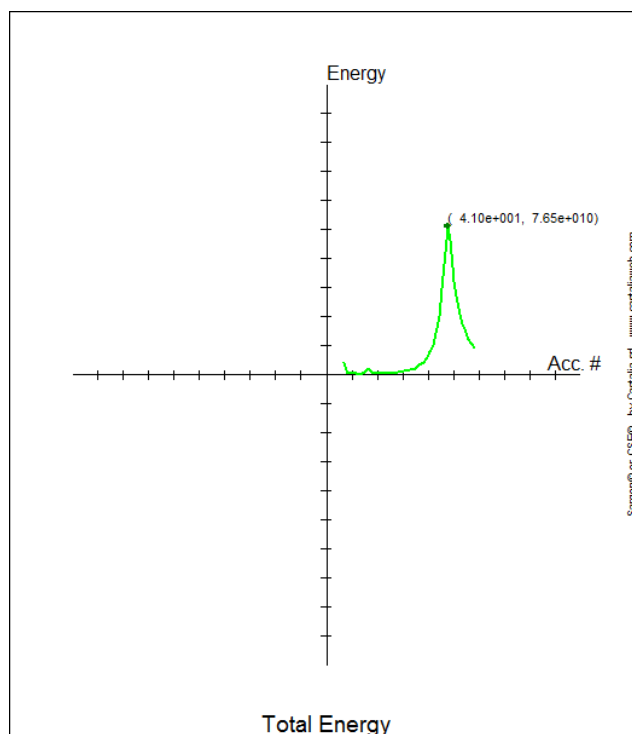
Il metodo EDEM, con questo nome, è stato proposto per la prima volta - a quanto consta - nel seguente lavoro:

[Neo-Deterministic Scenario-Earthquake Accelerograms and Spectra: a NDSHA Approach to Seismic Analysis, di Rugarli P., Amadio C., Peresan A., Fasan M., Vaccari F., Magrin A., Romanelli F. Panza G.F., Capitolo nel libro "Structural Engineering in Vibrations, Dynamics and Impacts" CRC press, Taylor & Francis Group, Junbo Jia and Jeom Kee Paik Editors](#)

Sargon 13.00, a quanto risulta, è il primo programma che implementa EDEM come strumento di analisi sismica correntemente impiegato, e tale da inserire in un programma di analisi strutturale, *considerando il comportamento dinamico complessivo della specifica struttura allo studio*, la fase di scelta dei segnali ai fini della verifica sismica.

Poichè la energia di deformazione che interessa è specificamente quella incassata dagli elementi dissipativi (dato che una grande struttura può incassare molta energia di deformazione in elementi elastici senza che questo rappresenti un problema), il metodo è stato implementato dando due curve, per ogni accelerogramma considerato, e due curve finali riepilogative:

1. La curva che dà l'energia di deformazione totale.
2. La curva che dà l'energia di deformazione nei soli elementi marcati come dissipativi per mezzo del comando [Struttura-Gerarchia-Aggiungi DZONA](#) 



**Esempio di curva  $E_{\max}(\#)$ . In ascissa il numero di evento, in ordinata la corrispondente massima energia di deformazione incassata dalla struttura. L'evento 41 è il peggiore.**

Le curve date per ogni accelerogramma sono curve del tipo  $E=E(t)$ , ovvero in ordinata c'è l'energia di deformazione ed in ascissa il tempo. Le due curve riepilogative sono invece curve del tipo  $E_{\max} = E_{\max}(\#)$ , dove  $\#$  è un identificatore numerico di evento, ed  $E_{\max}$  è la massima energia di deformazione in funzione del tempo, per quell'evento.

Per la precisione, quando si conteggia l'energia di deformazione dei soli elementi dissipativi, si considera solo la energia di deformazione associata alle componenti di sollecitazione associate al meccanismo dissipativo. Quindi:

- per elementi biella alla sola azione assiale.
- per i link delle strutture EBF o per gli estremi delle strutture MRF, la flessione e il taglio associati all'asse forte.

Per rendere lo studio più significativo, è possibile selezionare solo alcuni modi e scartare gli altri, ed è possibile, opzionalmente, far entrare nel conteggio i soli elementi selezionati. Al momento EDEM è implementato conteggiando solo gli elementi trave e biella.

Avuta la curva che dice quale evento massimizza l'energia di deformazione della nostra struttura, quell'evento sarà impiegato per l'analisi sismica Time History. E' da notare nuovamente che quale sia questo evento, *dipende dal suo contenuto in frequenza quando rapportato alla specifica struttura in esame*, con i suoi particolari modi. Assoggettando agli stessi eventi un'altra struttura, si troverà in generale che un diverso evento ne massimizza la risposta elastica.

In particolare, risulta sperimentalmente, analisi numeriche alla mano, che *l'evento che massimizza la risposta in particolare nelle zone dissipative, ma anche in linea di principio nella intera struttura, non è, in generale, l'evento che comporta le massime ordinate spettrali sul modo dominante, ma è l'evento che eccita nel modo peggiore i modi spingendoli a sovrapporsi nel modo più pericoloso*.

Questa osservazione, fondamentale, porta a considerare con spirito critico la metodologia basata sulla selezione accelerogrammi aventi ordinate spettrali che massimizzino la risposta su uno o più modi.

E' da notare che la sfasatura tra i modi può anche apportare un effetto di riduzione del cimento, e non solo un effetto di accrescimento. Per questo motivo, il numero di segnali impiegati per le valutazioni EDEM dovrebbe essere significativo.

### **5.3.5 Massimizzazione delle ordinate spettrali**

Il metodo consiste nel considerare lo spettro di involuppo dei segnali potenzialmente interessanti, e nello scegliere, come accelerogrammi da impiegare nelle TH, i segnali per i quali è massima, rispetto a tutti gli altri, la risposta di un oscillatore semplice avente periodo proprio eguale a quello dei modi dominanti della struttura in esame. In generale, ad ogni modo corrisponderà un particolare segnale, che massimizza la ordinata dello spettro in corrispondenza a quel dato periodo.

Per le ragioni già spiegate non sembra che tale metodo sia a favore di sicurezza, dato che si sono trovati esempi in cui questo segnale (con ordinata spettrale massima sul modo dominante) comporta una energia di deformazione complessiva molto molto minore di quella raggiunta da altro segnale, privo di tale proprietà.

## 6. EDESM (Elastic Deformation Energy Snapshot Maximization)

Il metodo è una elaborazione di EDEM. Avuto l'evento che comporta la massima energia di deformazione, nell'istante  $t_M$  che corrisponde a questo massimo si possono calcolare delle forze nodali equivalenti, tali da generare, nella struttura, l'energia di deformazione misurata da EDEM. In pratica si prende una istantanea (*snapshot*) di quanto avviene in un certo istante in campo elastico, e lo si esamina poi in campo plastico.

Queste forze nodali, in un certo istante sono

$$\mathbf{f}(t_M) = \mathbf{K}\mathbf{u}(t_M) = -\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}}(t_M) - \mathbf{C}\dot{\mathbf{u}}(t_M) + \mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}}_g(t_M)$$

L'idea, in analogia a quanto fatto con il sistema della pushover, è quella di utilizzare queste forze per eseguire una analisi non lineare statica, e verificare, in questo modo, la diffusione della plasticità nel sistema e l'entità della domanda.

Sebbene tale metodo non sia a rigore esatto, dato che la forma della oscillazione e così le forze apparenti, cambia quando si abbandona la fase elastica, l'errore commesso non è in linea di principio diverso da quello commesso da altri metodi comunemente accettati (pushover, analisi a spettro di risposta). La quantificazione di questo errore è al momento in fase di studio ed a tale quantificazione si riferiranno prossimi lavori di ricerca su questo tema.

E' possibile chiedere di caricare le forze nodali corrispondenti all'istante in cui è massima l'energia incassata dalla struttura (o dalle parti dissipative della struttura), in un certo caso di carico che verrà svuotato. Queste forze possono poi essere utilizzate in campo lineare o non lineare.

## 2.37 Come utilizzare EDEM (Elastic Deformation Energy Method)

Il metodo EDEM viene utilizzato per trovare quale degli eventi precedentemente caricati nel modello con il comando [Edit-Azioni-Accelerogrammi](#)<sup>[1045]</sup>, sia il peggiore ai fini di una analisi sismica TH (lineare o non lineare) o ai fini di una analisi non lineare di tipo EDESM. Il comando va utilizzato quando tutti i segnali potenzialmente interessanti siano stati caricati nel modello. Il comando da eseguire, a questo punto è [Edit-Azioni-EDEM](#)<sup>[1051]</sup>. Con questo comando è possibile comprendere quale segnale di quelli disponibili sia prevedibilmente il peggiore per la specifica struttura in esame.

Ciò si fa esaminando in particolare le curve che danno la massima energia di deformazione in funzione del segnale, come spiegato nell'esteso esempio che segue.

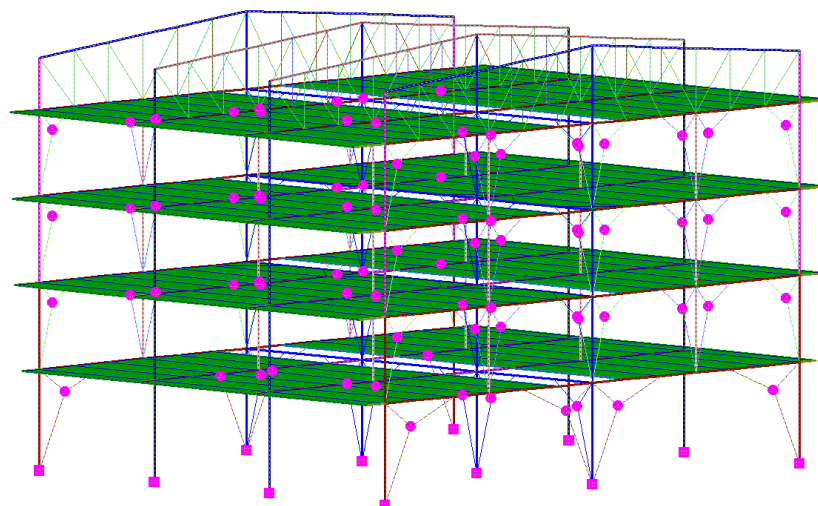
### Un esempio di utilizzo di EDEM

## EDEM

## Elastic Deformation Energy Maximization

## Un caso prova

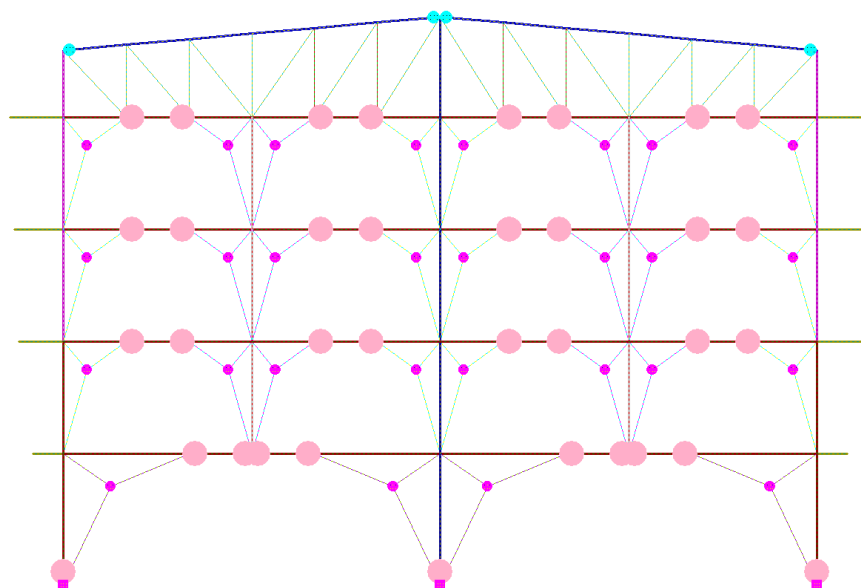
## La struttura



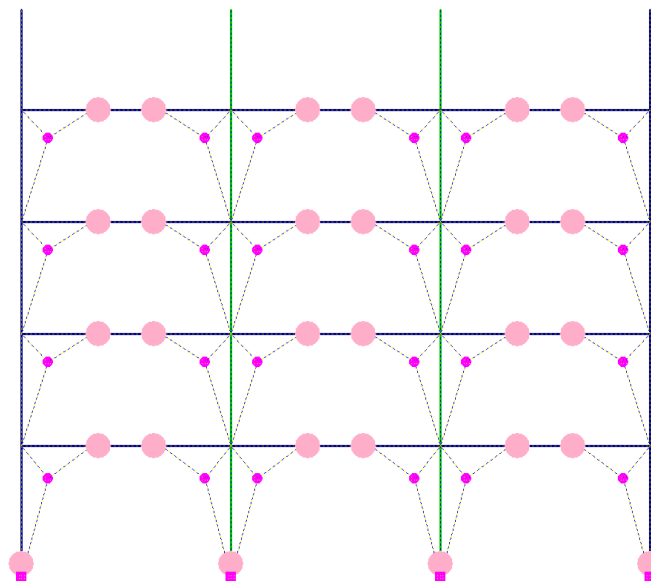
Si tratta di una struttura in acciaio, utilizzata per un vero progetto molti anni fa. Il sistema di controvento è a telai con controventi eccentrici, e la dissipazione è affidata a link lunghi (sono le zone dove le travi dissipano energia, dette anche nel seguito zone dissipative: qui il progetto prevede avvengano le plasticizzazioni).

In direzione X la struttura ha 2 controventi, ciascuno dei quali ha la forma seguente:





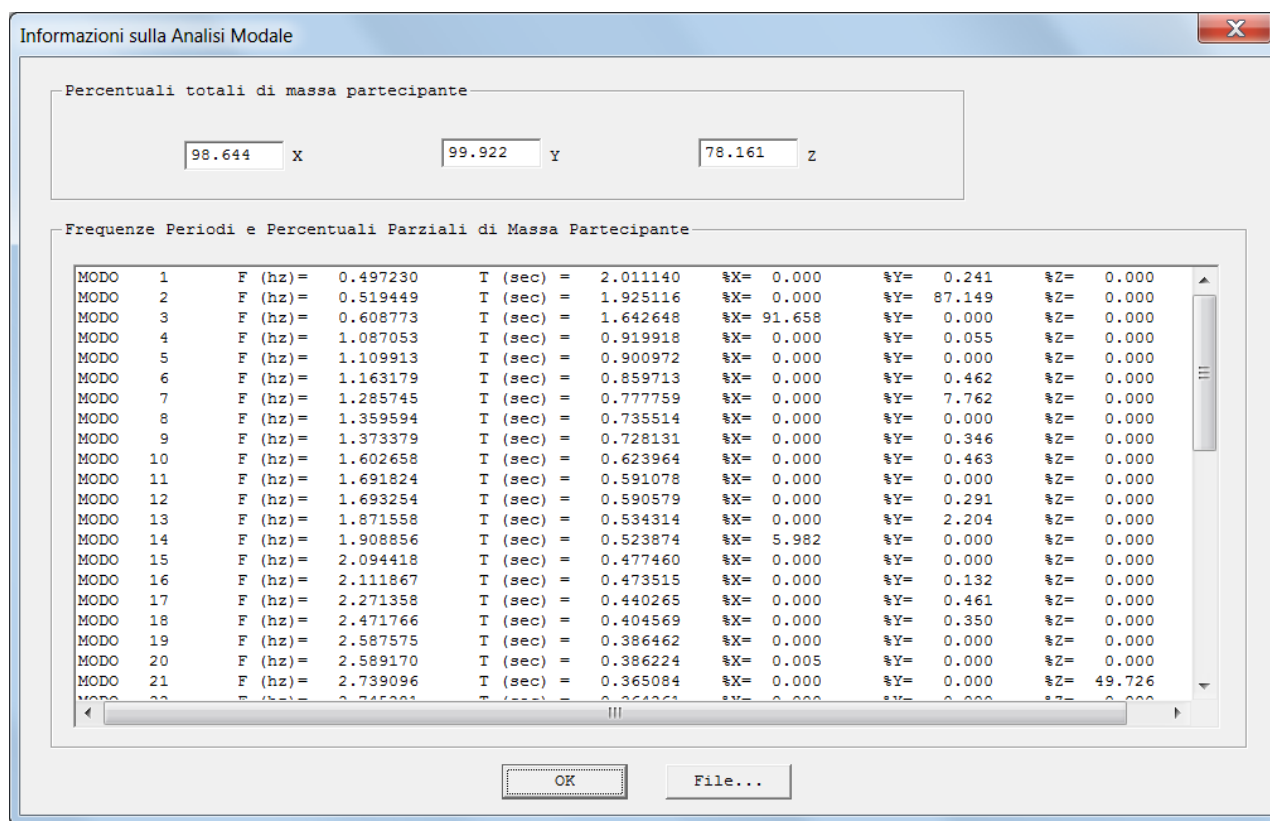
In direzione Y la struttura ha 1 controvento centrale, il quale ha la forma seguente.



I pallini di colore rosa indicano le zone dissipative (link lunghi e incastri al piede).

E' stata preventivamente eseguita una analisi modale che ha fornito questi periodi e masse partecipanti:





Si vede che la analisi modale è pienamente rappresentativa in X, Y, e abbastanza rappresentativa in Z (50 modi estratti).

Per la direzione X rileva il modo 3 con periodo di 1.642 sec (91% massa) mentre per la direzione Y rileva il modo 2 con periodo di 1.925 sec (87% di massa partecipante). Il fatto che la massa X sia praticamente tutta oscillante in un solo modo, dà idea che la collimazione della struttura in direzione X per questo modo sia veramente quasi completa (e quindi, in un certo senso, questo esempio non consente di vedere appieno le differenze legate alle fasi delle varie armoniche che costituiscono l'accelerogramma. Come si vedrà in seguito, ciò si può apprezzare per l'analisi in direzione Y, dove invece si ha un certo disallinamento del comportamento dinamico su più modi).

In direzione Z rileva principalmente il modo 21 (0.365 sec) con percentuale di massa partecipante del 49.7.

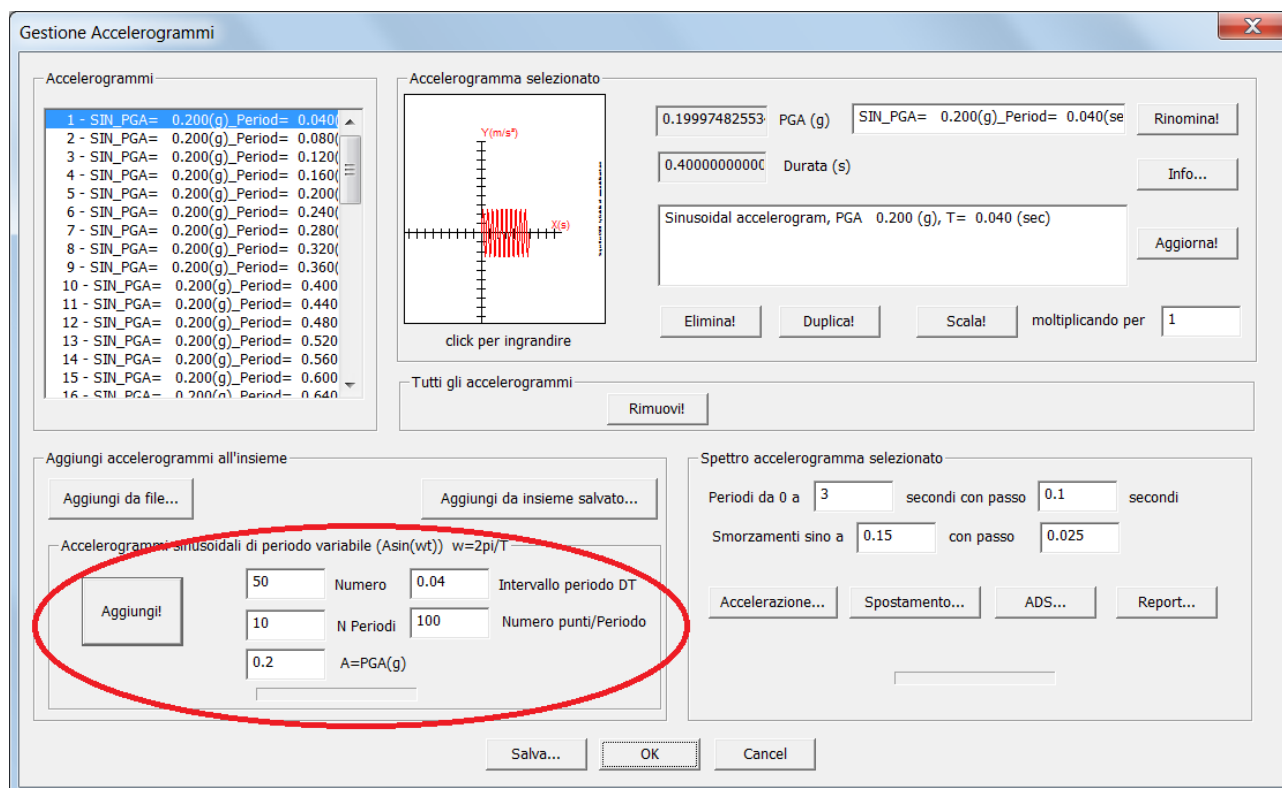


## EDEM con segnali sinusoidali

### Descrizione dei segnali

Il periodo più breve estratto è 0.21sec. Si decide quindi di generare 50 segnali sinusoidali con passo 0.04 sec, in modo da coprire i periodi che vanno da 0.04sec, a 2 sec. L'ampiezza dei segnali è fissata pari a 0.2g (comando [Edit-Azioni-Accelerogrammi](#)<sup>1045</sup>, vedi figura sottostante).

Una volta generati questi segnali, tutti a 0.2g, vengono salvati nel modello per usi successivi.



### EDEM per segnali sinusoidali usati come eccitazione in direzione X

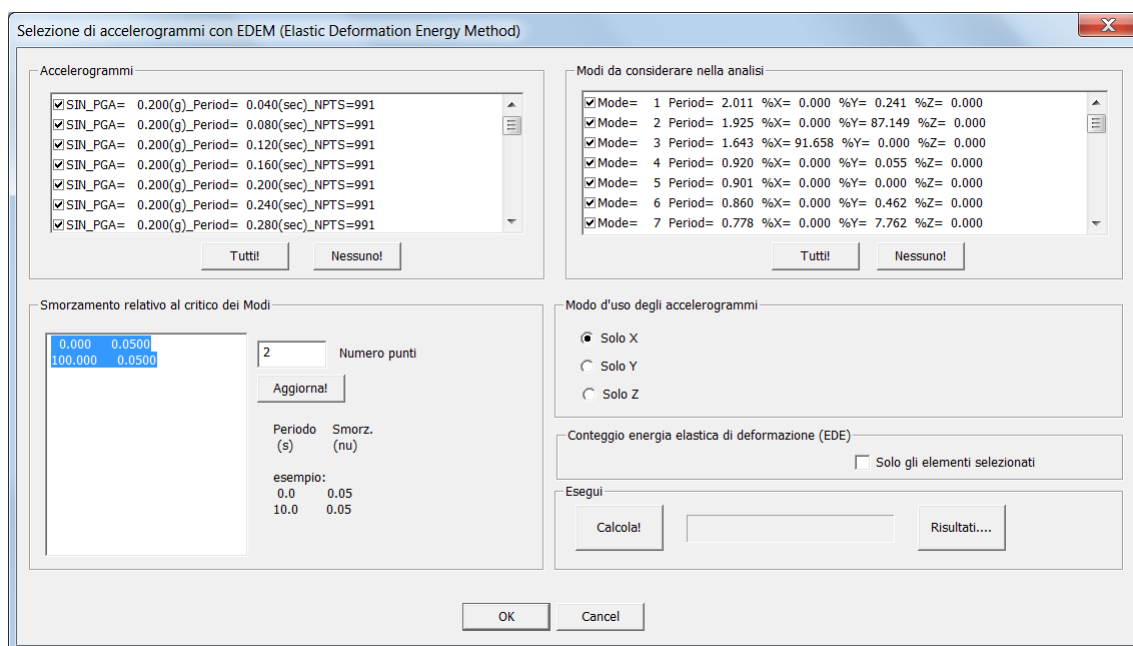
Un primo insieme di test è eseguito usando tutti i segnali come eccitazione in direzione X. Per ognuno dei 50 segnali, viene trovata la curva che dà  $E(t)$ , dove  $E$  è l'energia elastica incassata e  $t$  è il tempo, che varia tra 0 e la durata del segnale impiegato.

L'energia elastica è calcolata in due modi:

1. Considerando tutti gli elementi trave e biella (non ancora implementati altri tipi di elemento).
2. Considerando solo gli elementi che hanno zone dissipative, e considerando solo le componenti di azione interna a cui è associata la dissipazione (flessione su asse forte e taglio relativo per elementi dissipativi trave, azione assiale per elementi dissipativi biella).

Una seconda opzione utile per fini di studio, considera la stessa cosa, ma conteggiando solo gli elementi selezionati, e quindi ad esempio un piano alla volta. Ciò può essere utile per esaminare i segnali che mettono alla prova le zone dissipative poste in alto o in generale per considerare particolari aree del modello.

Il [dialogo che consente di pilotare il calcolo](#)<sup>1052</sup> è il seguente, raggiunto con il comando [Edit-Azioni-EDEM](#)<sup>1051</sup>:



Come si vede, è possibile considerare solo alcuni segnali e non altri, e solo alcuni modi e non altri (per scartare, ad esempio, i modi spurii, o per esaminare gli effetti dei soli modi superiori al dominante, ecc.). In questi primi esempi saranno considerati tutti i segnali e tutti i modi.

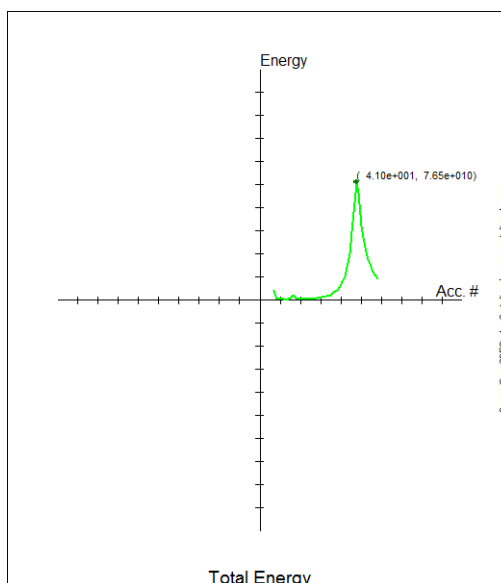
Lo smorzamento modale è dato per mezzo di una curva. In questi esempi è tenuto costante e pari al 5% dello smorzamento critico.

Al momento in cui si scrive non è ancora stata implementata la possibilità di considerare terne di accelerogrammi agenti contemporaneamente: tale opzione sarà aggiunta a breve, anche considerando la direzione dell'asse X della struttura posto sui 4 punti cardinali.

Si fa dapprima la prova considerando tutti gli elementi ("Solo gli elementi selezionati" non ha la spunta), e considerando i segnali applicati alla sola direzione X.

Il tempo di calcolo è di una manciata di secondi (circa 10 sec o meno, 50 modi estratti tutti considerati, 50 segnali da 1000 punti, il numero di gradi di libertà del modello è 2056). Il fatto che i tempi siano così brevi implica che EDEM è fattibile anche con molti segnali ed è uno strumento rapido ed efficiente.

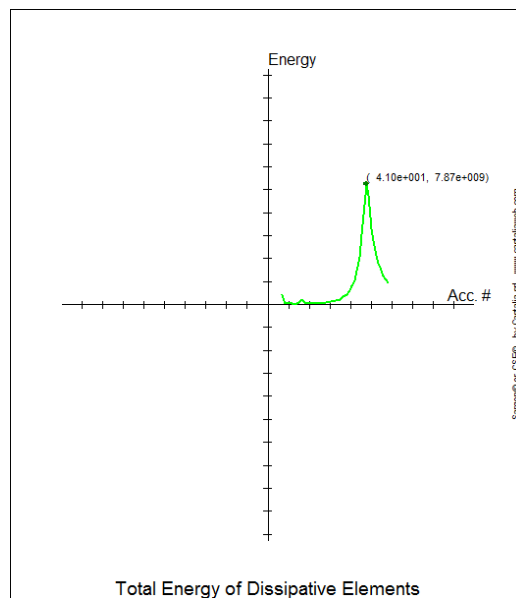
I risultati sono presentati come collezione di curve, ognuna delle quali ha un certo significato. Di particolare importanza è la curva che dice qual è il massimo di energia incassato considerando la time history modale (THLM) della struttura assoggettata a ciascun segnale, in funzione del numero di segnale. La curva detta "Total Energy", si presenta come segue:



**EDEM come funzione del segnale. Tutti gli elementi considerati. Segnale peggiore numero 41.**  
**Periodo del 41° segnale =  $41 \times 0.04 = 1.64$  sec, quasi in risonanza con il modo 3, importante per segnali**

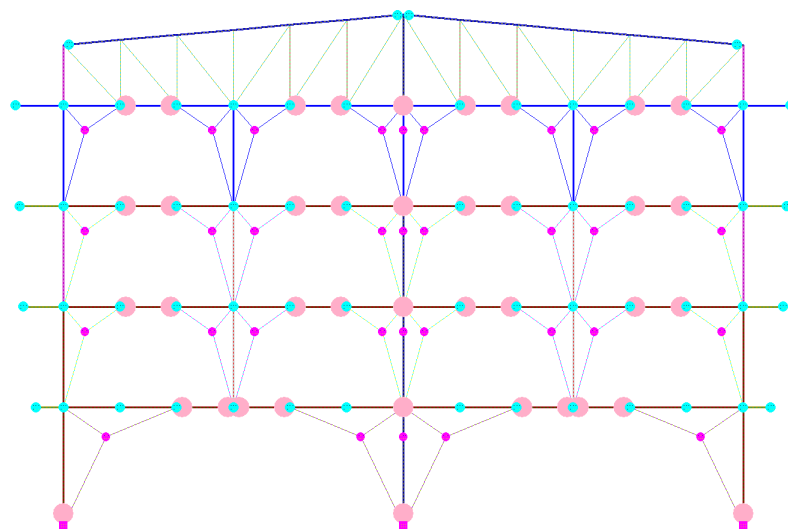
**X. Massima energia incassata nella struttura  $7.65 \cdot 10^{10}$  mJ=76.5 MJ.**

Se si considerano tutti gli elementi trave e biella della struttura, l'energia totale incassata raggiunge 12.3MJ. Una seconda molto interessante curva, è quella che considera solo gli elementi dissipativi, ed in particolare modo la sola energia che in campo non lineare è associata alla deformazione plastica attesa e per la quale si progetta la dissipazione. In questo caso è la flessione sull'asse principale forte degli elementi con pallino rosa (zone dissipative). Se si considerano solo questi elementi, che sono quelli che contano per contrastare il sisma, si ha la seguente curva ("Total Energy of dissipative elements").



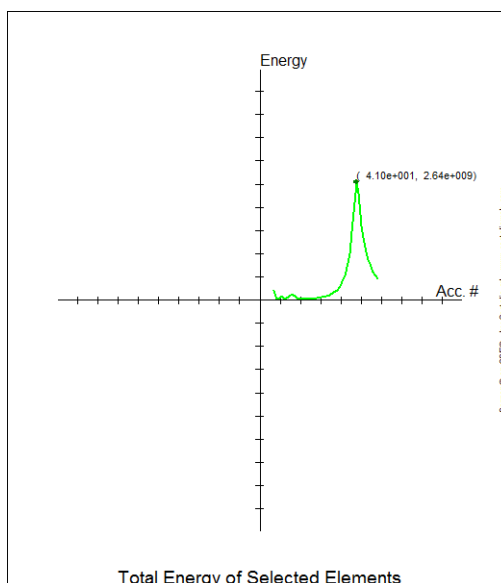
**EDEM come funzione del segnale. Solo gli elementi dissipativi considerati. Segnale peggiore numero 41. Periodo del 41° segnale =  $41 \times 0.04 = 1.64$  sec, quasi in risonanza con il modo 3, importante per segnali X. Massima energia incassata nella struttura  $7.87 \cdot 10^9$  mJ = 7.87 MJ.**

Ora, a titolo di esempio, si ripete la stessa operazione EDEM, ma chiedendo di calcolare la sola energia associata agli elementi dell'ultimo piano, in questo modo (elementi blu):

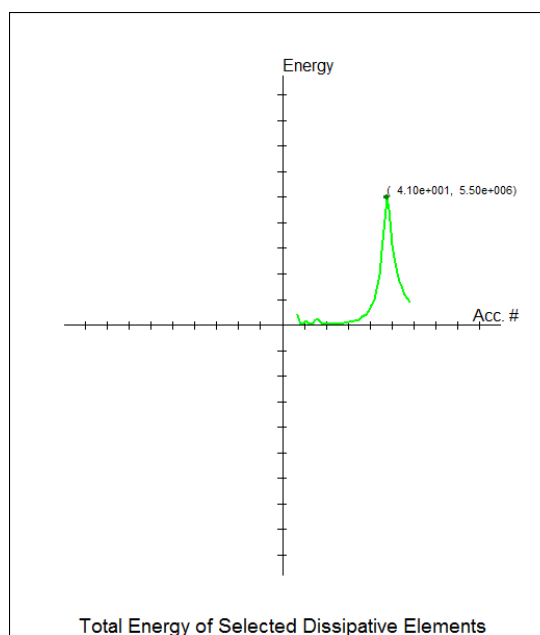


Si considerano anche in questo caso due possibilità: tutti gli elementi (selezionati) o solo tutti gli elementi dissipativi (selezionati).

Si ottengono ora queste curve:



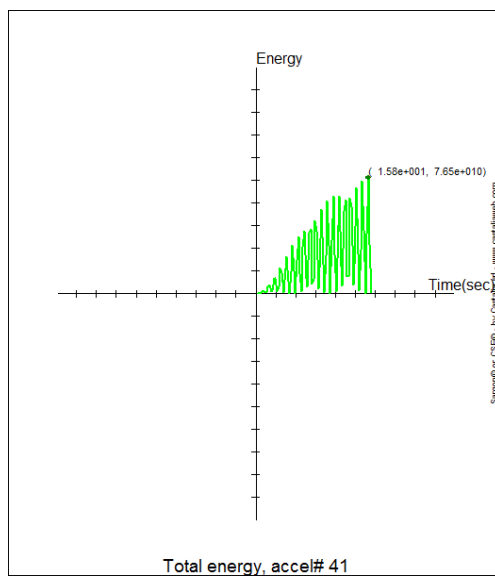
EDEM come funzione del segnale. Solo tutti gli elementi dell'ultimo piano considerati. Segnale peggiore numero 41. Periodo del 41° segnale =  $41 \times 0.04 = 1.64$  sec, quasi in risonanza con il modo 3, importante per segnali X. Massima energia incassata nel piano  $7.64 \cdot 10^9$  mJ = 7.64 MJ.



EDEM come funzione del segnale. Solo tutti gli elementi dissipativi dell'ultimo piano considerati. Segnale peggiore numero 41. Periodo del 41° segnale =  $41 \times 0.04 = 1.64$  sec, quasi in risonanza con il modo 3, importante per segnali X. Massima energia incassata nel piano  $5.50 \cdot 10^6$  mJ = 5500 J.

Così, in direzione X, il segnale più interessante è sempre il numero 41, cosa anche comprensibile dato che la percentuale di massa partecipante associato al modo 3 è elevatissima. Per questo segnale

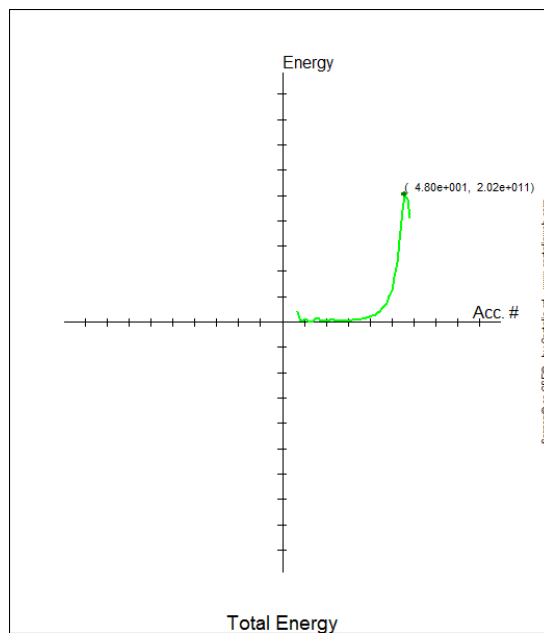
possiamo vedere come varia l'energia funzione del tempo nel corso della oscillazione, e constatare il picco (torniamo a usare tutti gli elementi e non solo quelli dell'ultimo piano)



**EDE in funzione del tempo, segnale sinusoidale #41.**

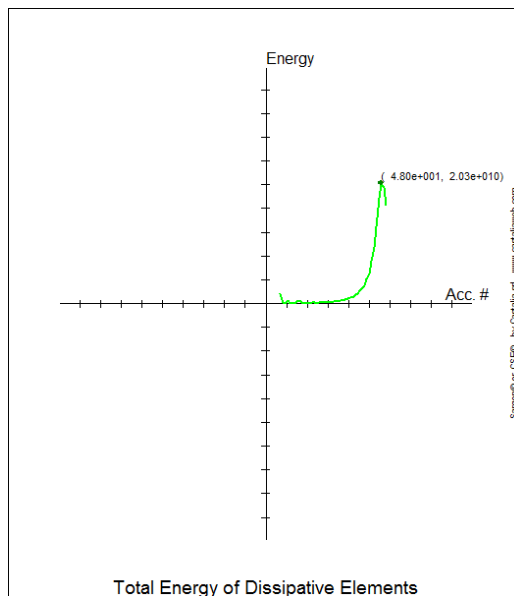
## EDEM per segnali sinusoidali usati come eccitazione in direzione Y

I risultati sono i seguenti.

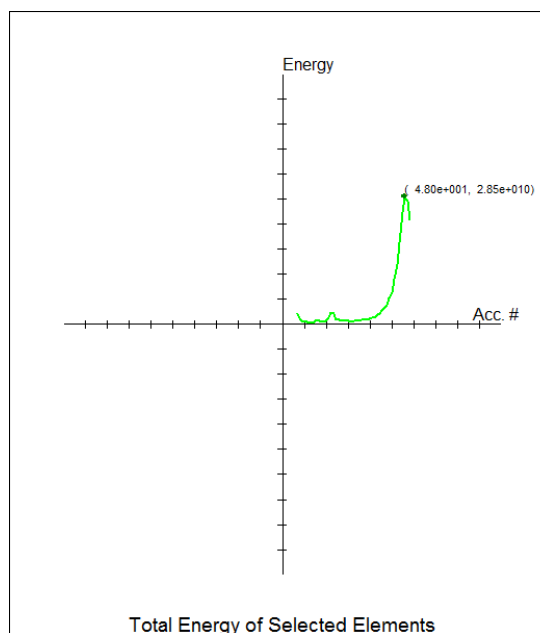


EDEM come funzione del segnale. Tutti gli elementi considerati. Segnale peggiore numero 48.  
Periodo del 48° segnale =  $48 \times 0.04 = 1.92$  sec, quasi in risonanza con il modo 2, importante per segnali

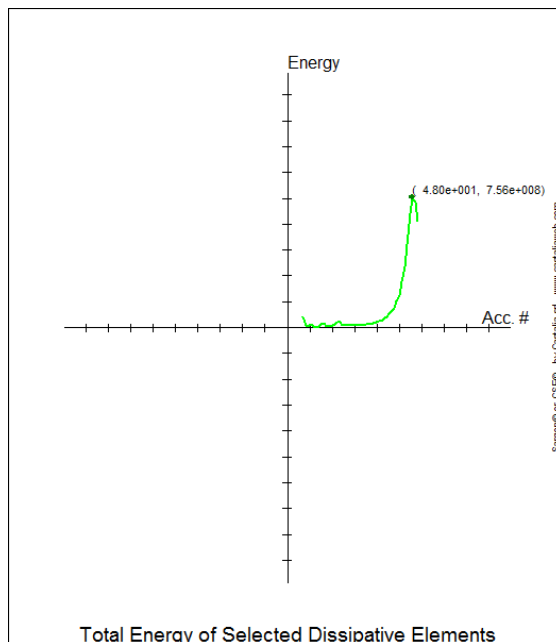
Y. Massima energia incassata nella struttura  $2.02 \cdot 10^{11}$  mJ = 202 MJ.



EDEM come funzione del segnale. Solo gli elementi dissipativi considerati. Segnale peggiore numero 48. Periodo del 48° segnale =  $48 \times 0.04 = 1.92$  sec, quasi in risonanza con il modo 2, importante per segnali Y. Massima energia incassata nella struttura  $2.03 \cdot 10^{10}$  mJ = 20.3 MJ.



EDEM come funzione del segnale. Solo tutti gli elementi dell'ultimo piano considerati. Segnale peggiore numero 48. Periodo del 48° segnale =  $48 \times 0.04 = 1.92$  sec, quasi in risonanza con il modo 2, importante per segnali Y. Massima energia incassata nel piano  $2.85 \cdot 10^{10}$  mJ = 28.5 MJ.



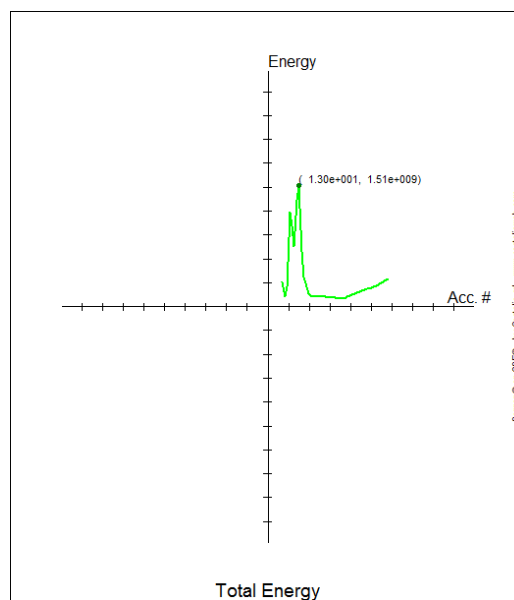
EDEM come funzione del segnale. Solo tutti gli elementi dissipativi dell'ultimo piano considerati. Segnale peggiore numero 48. Periodo del 48° segnale =  $48 \times 0.04 = 1.92$  sec, quasi in risonanza con il modo 2, importante per segnali Y. Massima energia incassata nel piano  $7.56 \cdot 10^8$  mJ = 0.75 MJ.

Anche in questo caso non sembra che ci siano segnali diverso da quello che fa andare in risonanza il modo dominante, capaci di dare picchi nell'ultimo piano. Anche in questo caso, il segnale trovato corrisponde effettivamente al segnale che eccita maggiormente il modo dominante.

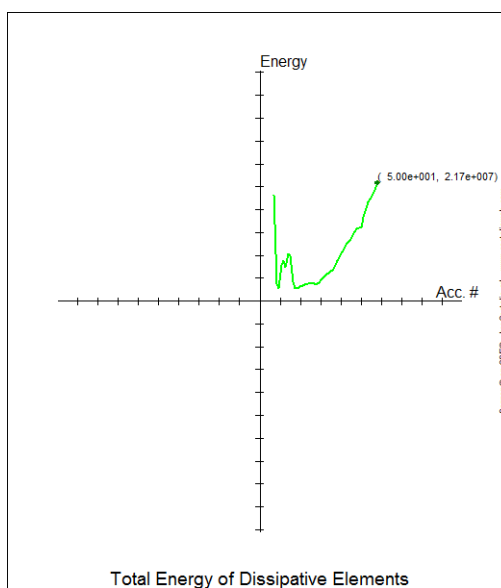
### EDEM per segnali sinusoidali usati come eccitazione in direzione Z

I risultati sono i seguenti.

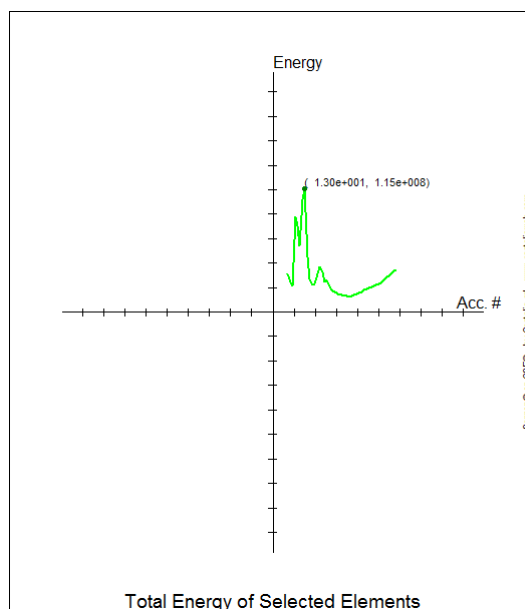




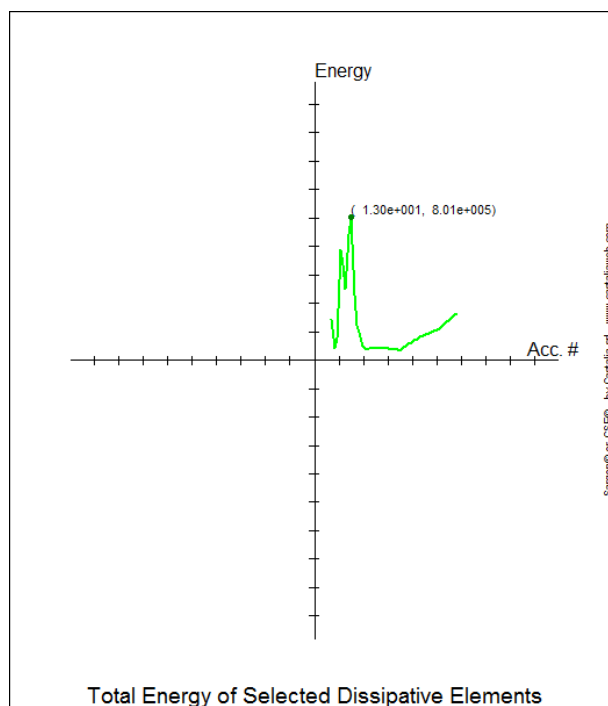
**EDEM come funzione del segnale. Tutti gli elementi considerati. Segnale peggiore numero 13.**  
**Periodo del 13° segnale =  $13 \times 0.04 = 0.52$  sec.**



**EDEM come funzione del segnale. Solo gli elementi dissipativi considerati. Segnale peggiore numero 50.**  
**Periodo del 50° segnale =  $50 \times 0.04 = 2$  sec.**



**EDEM come funzione del segnale. Solo tutti gli elementi dell'ultimo piano considerati. Segnale peggiore numero 13. Periodo del 13° segnale =  $13 \times 0.04 = 0.52$  sec.**



**EDEM come funzione del segnale. Solo tutti gli elementi dissipativi dell'ultimo piano considerati. Segnale peggiore numero 13. Periodo del 13° segnale =  $13 \times 0.04 = 0.52$  sec**

In questo caso il picco non corrisponde al periodo di massima partecipazione in Z, ma sempre al segnale #13.

## EDEM con i segnali naturali

In questo caso si usano 14 terne di segnali scaricati da INGV, tutti con (uno almeno dei segnali) 0.2 g di PGA.

Gestione Accelerogrammi

Accelerogrammi

- 1 - 4A.MI02..HNE.D.20090407.174737.C.A
- 2 - 4A.MI02..HNN.D.20090407.174737.C.A
- 3 - 4A.MI02..HNZ.D.20090407.174737.C.A
- 4 - IT.AMT..HGE.D.20160824.015603.C.A
- 5 - IT.AMT..HGN.D.20160824.015603.C.A
- 6 - IT.AMT..HGZ.D.20160824.015603.C.A
- 7 - IT.CLC..HNE.D.19971003.085520.C.A
- 8 - IT.CLC..HNN.D.19971003.085520.C.A
- 9 - IT.CLC..HNZ.D.19971003.085520.C.A
- 10 - IT.CML..HGE.D.20161026.214201.C.A
- 11 - IT.CML..HGN.D.20161026.214201.C.A
- 12 - IT.CML..HGZ.D.20161026.214201.C.A
- 13 - IT.CNP..HNE.D.19801201.190429.C.A
- 14 - IT.CNP..HNN.D.19801201.190429.C.A
- 15 - IT.CNP..HNZ.D.19801201.190429.C.A
- 16 - IT.CSC..HNE.D.19790010.213537.C.A

Accelerogramma selezionato

0.15968290112 PGA (g) 4A.MI02..HNE.D.20090407.174737.C.AC Rinominal

98.4149999999 Durata (s) Info...

PGA= 0.160 NP= 0 dT= 0.0050 Tmin = 0.000 Tmax= 98.415 Aggiorna!

Elimina! Duplica! Scala! moltiplicando per 1

Tutti gli accelerogrammi Rimuovi!

Aggiungi accelerogrammi all'insieme

Aggiungi da file... Aggiungi da insieme salvato...

Accelerogrammi sinusoidali di periodo variabile (Asin(wt))  $w=2\pi/T$

Aggiungi!

100 Numero 0.025 Intervallo periodo DT

10 N Periodi 100 Numero punti/Periodo

0.2 A=PGA(g)

Spettro accelerogramma selezionato

Periodi da 0 a 3 secondi con passo 0.1 secondi

Smorzamenti sino a 0.15 con passo 0.025

Accelerazione... Spostamento... ADS... Report...

Salva... OK Cancel

Selezione di accelerogrammi con EDEM (Elastic Deformation Energy Method)

Accelerogrammi

- ☐ 1 - 4A.MI02..HNE.D.20090407.174737.C.ACC.ASC
- ☒ 2 - 4A.MI02..HNN.D.20090407.174737.C.ACC.ASC
- ☐ 3 - 4A.MI02..HNZ.D.20090407.174737.C.ACC.ASC
- ☒ 4 - IT.AMT..HGE.D.20160824.015603.C.ACC.ASC
- ☐ 5 - IT.AMT..HGN.D.20160824.015603.C.ACC.ASC
- ☐ 6 - IT.AMT..HGZ.D.20160824.015603.C.ACC.ASC
- ☒ 7 - IT.CLC..HNE.D.19971003.085520.C.ACC.ASC

Tutti! Nessuno!

Modi da considerare nella analisi

- ☒ Mode= 1 Period= 2.011 %X= 0.000 %Y= 0.241 %Z= 0.000
- ☒ Mode= 2 Period= 1.925 %X= 0.000 %Y= 87.149 %Z= 0.000
- ☒ Mode= 3 Period= 1.643 %X= 91.658 %Y= 0.000 %Z= 0.000
- ☒ Mode= 4 Period= 0.920 %X= 0.000 %Y= 0.055 %Z= 0.000
- ☒ Mode= 5 Period= 0.901 %X= 0.000 %Y= 0.000 %Z= 0.000
- ☒ Mode= 6 Period= 0.860 %X= 0.000 %Y= 0.462 %Z= 0.000
- ☒ Mode= 7 Period= 0.778 %X= 0.000 %Y= 7.762 %Z= 0.000

Tutti! Nessuno!

Smorzamento relativo al critico dei Modi

0.000	0.0500
100.000	0.0500

2 Numero punti

Aggiorna!

Periodo (s)	Smorz. (nu)
esempio:	
0.0	0.05
10.0	0.05

Modo d'uso degli accelerogrammi

☒ Solo X  
☐ Solo Y  
☐ Solo Z

Conteggio energia elastica di deformazione (EDE)  
☐ Solo gli elementi selezionati

Esegui

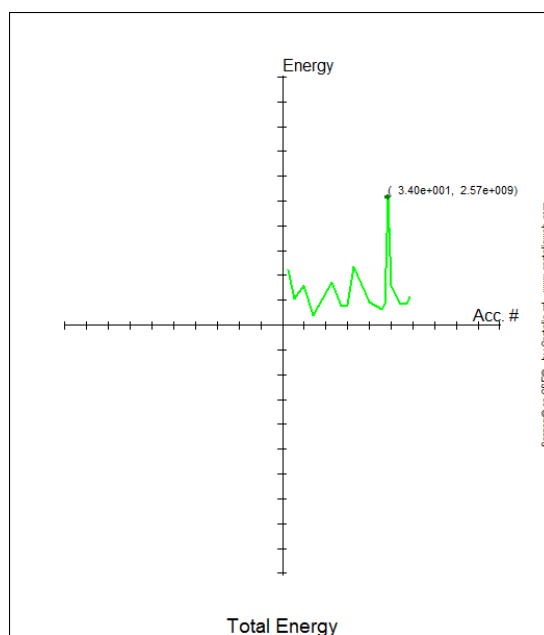
Calcola! Risultati....

OK Cancel

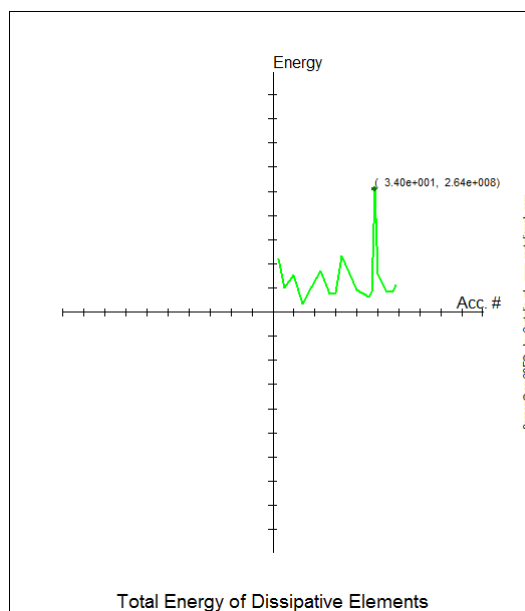
Si scelgono dapprima, tra i 42 segnali, i 18 segnali con PGA circa 0.2g, e li si assegna alla direzione X o alla direzione Y. Segnali: #2, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 21, 22, 23, 28, 32, 33, 34, 35, 38, 40, 41.

Poi si prendono i 13 segnali sussultori (ITACA: STREAM: ??Z) e li si usa per la direzione Z.

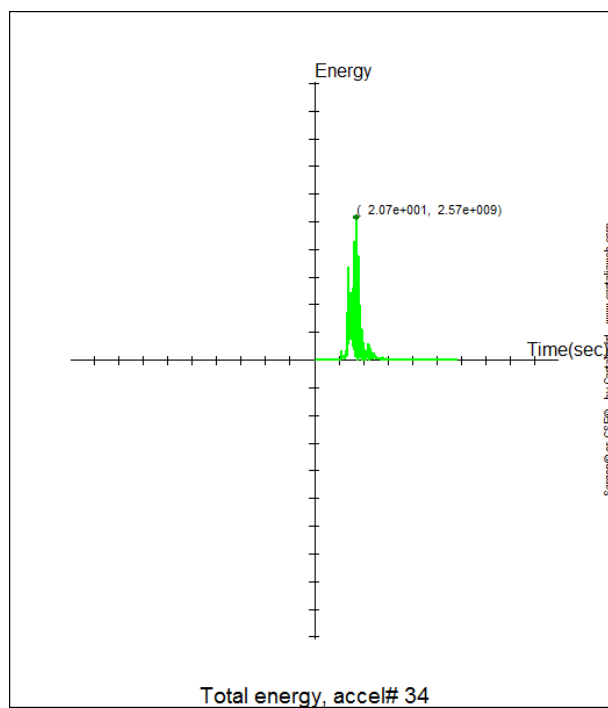
## Direzione X



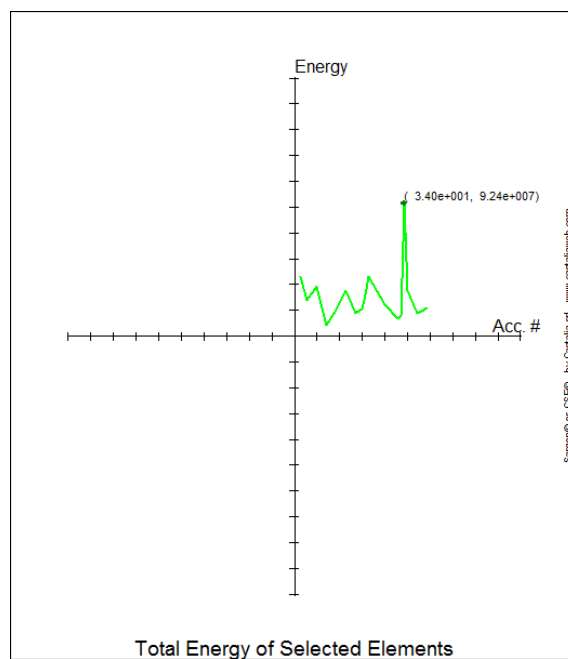
**Tutti gli elementi. Segnale peggiore #34. Energia incassata max 2.57MJ.**



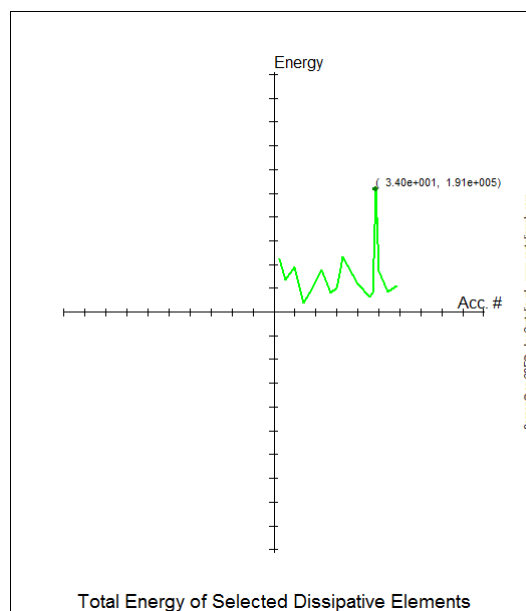
**Solo elementi dissipativi. Segnale peggiore #34. Energia incassata max 0.264 MJ.**



**Energia totale funzione del tempo, segnale #34, picco a 20,7 sec**

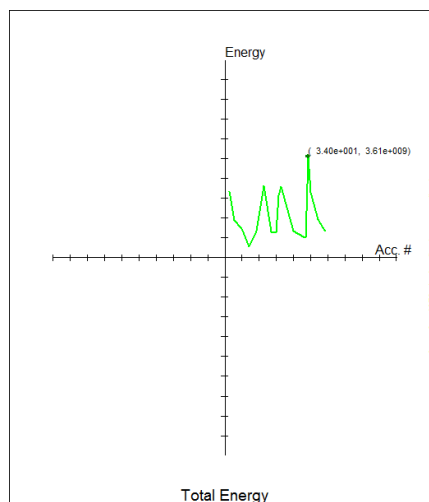


**Ultimo piano soltanto. Segnale peggiore #34**

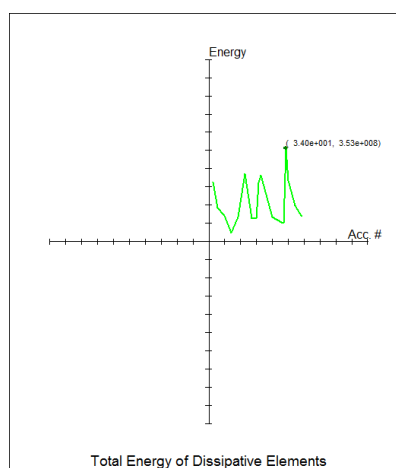


**Ultimo piano soltanto, solo elementi dissipativi. Segnale peggiore # 34.**

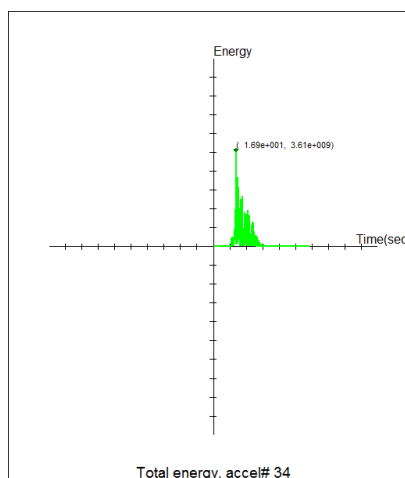
## Direzione Y



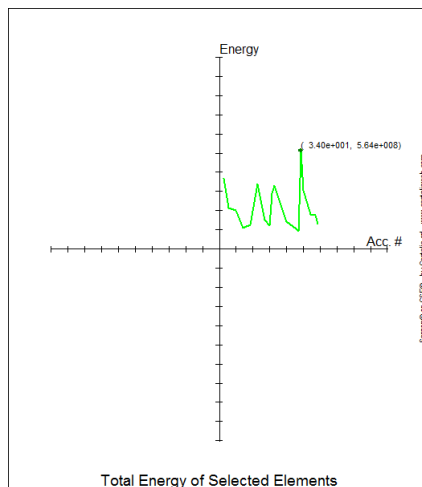
**Tutti gli elementi. Segnale peggiore #34.**



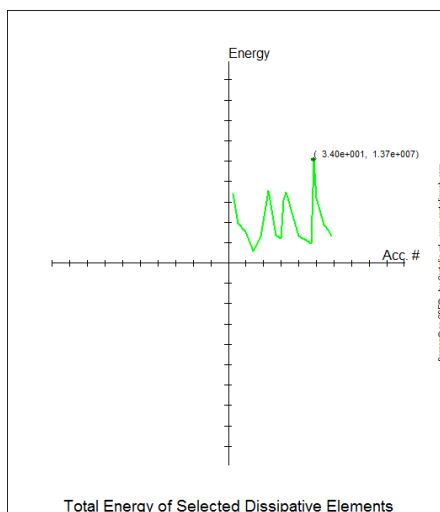
**Solo elementi dissipativi. Segnale peggiore #34**



**Energia totale funzione del tempo, segnale #34, picco a 16,9 sec**

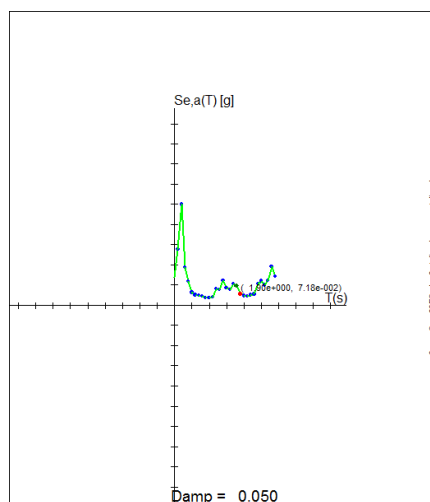


**Ultimo piano soltanto. Segnale peggiore #34**



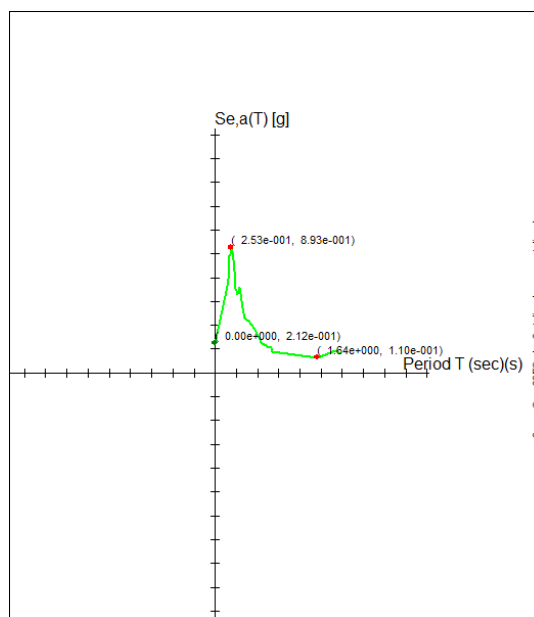
**Solo elementi dissipativi ultimo piano soltanto. Segnale peggiore #34**



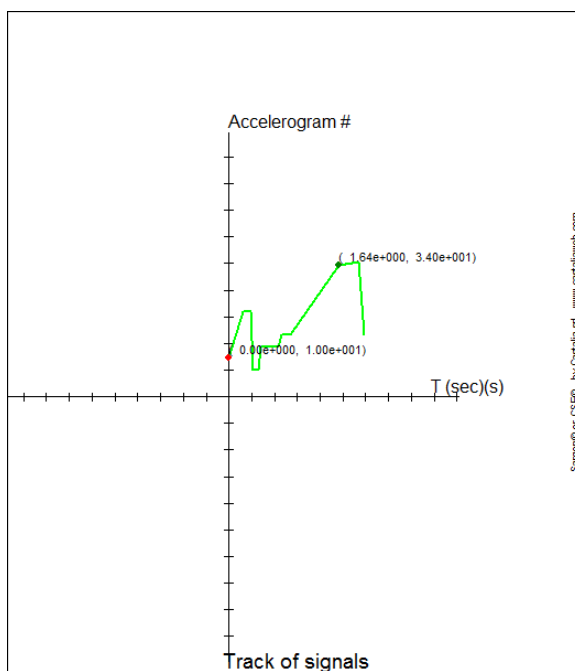


**Spettro di risposta del segnale 34**

Ha ora interesse considerare lo spettro di inviluppo dei 18 segnali considerati. Tale spettro (generato con il comando [Edit-Azioni-Spettro Involuppo](#)<sup>1059</sup>, avendo selezionato i soli accelerogrammi di interesse) è il seguente:

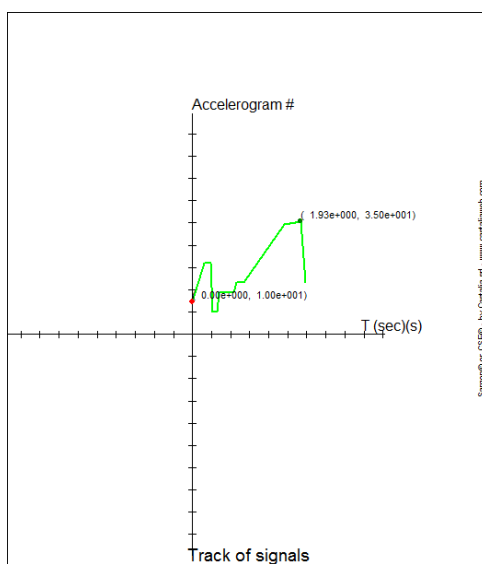


Il picco è a 0.89g, **ovvero circa 4.5 volte la PGA**, ben lontano dalla amplificazione 2.5 circa degli spettri di normativa. Se si tracciano i segnali che hanno dato luogo al massimo, si ottiene la curva seguente:



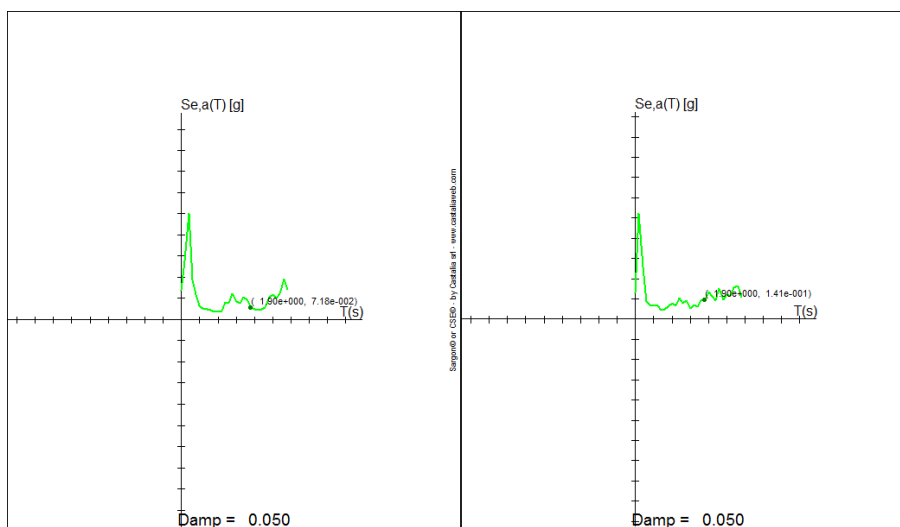
Per il periodo 1.64 sec (modo 3, dominante in X) il segnale che ha generato il massimo è effettivamente il segnale 34. In questo caso, il picco di energia totale si ha sul segnale che massimizza gli effetti sul modo dominante.

Per il periodo 1.93 sec (modo 2, dominante in Y), invece, il segnale che dà il picco sullo spettro di inviluppo **è il 35, non il 34.**



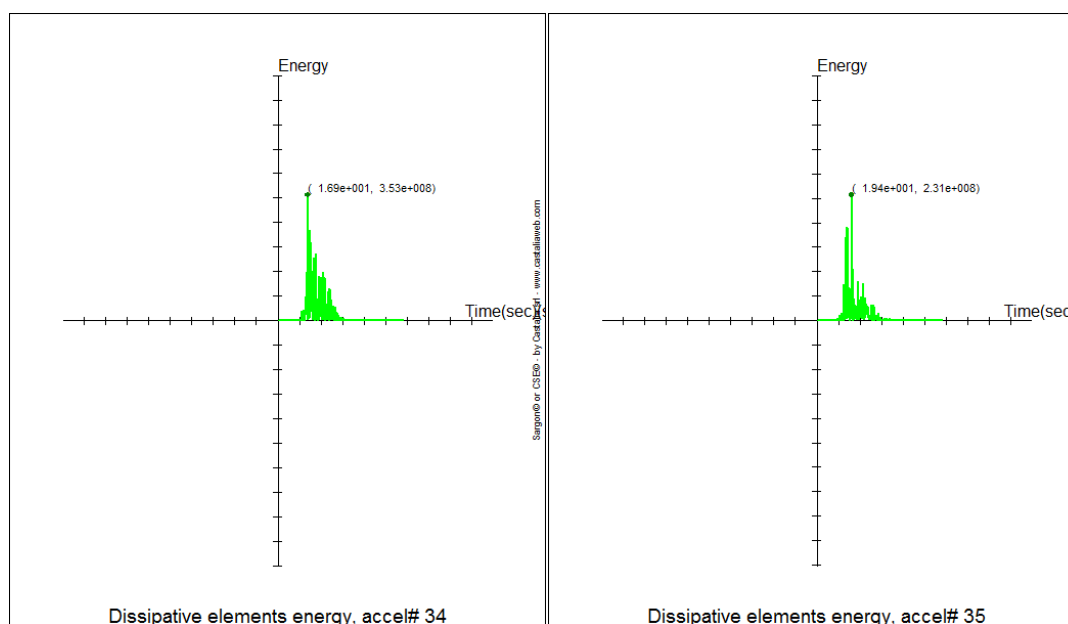
Questo vuol dire che sebbene il segnale peggiore per il modo dominante sia il #35, il segnale peggiore in quanto a energia totale è ancora il #34. Infatti esiste un secondo modo di una certa importanza in

direzione Y (a 0.77 sec, il modo 7 con il 7.76% di massa partecipante) e complessivamente si deduce che il segnale 34 eccita in modo peggiore la struttura nel suo complesso, portando a energie incassate maggiori del segnale 35. Questa informazione è importante e non sarebbe stata desumibile dai meri spettri.



**Spettro segnale 34 e 35. Per il periodo di 1.9 è peggiore il 35.**

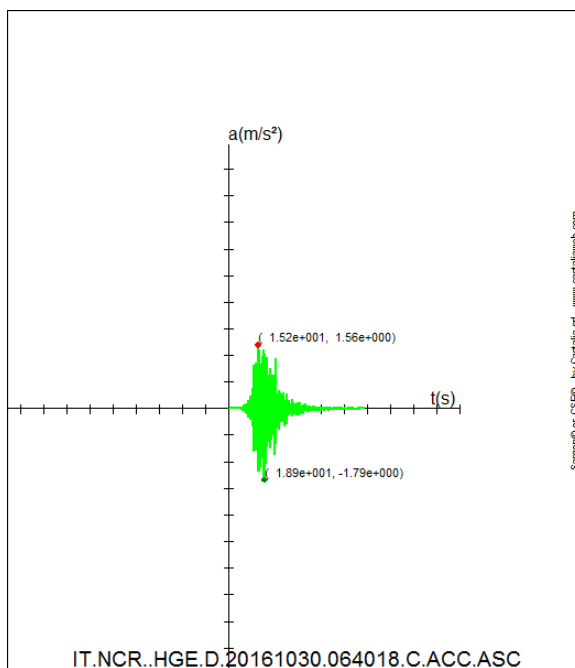
Nelle figure successive, per la direzione Y (e considerando tutti gli elementi dissipativi), si ha il raffronto della E(t) per i due segnali 34 e 35.



**Sisma in direzione Y. EDE incassata in funzione del tempo per i segnali #34 e #35. Tutti e soli gli elementi dissipativi considerati. Nel caso del segnale #34 la massima energia incassata è 0.353MJ, mentre nel caso del segnale #35 è solo 0.231MJ. La differenza è significativa (52%). Se si fossero**

esaminati i soli spettri di risposta dei segnali e si fosse preso il segnale con massima ordinata spettrale in corrispondenza al modo dominante (modo #2 a 1.93 sec), si sarebbero fortemente sottostimati gli effetti di deformazione e cimento sugli elementi dissipativi.

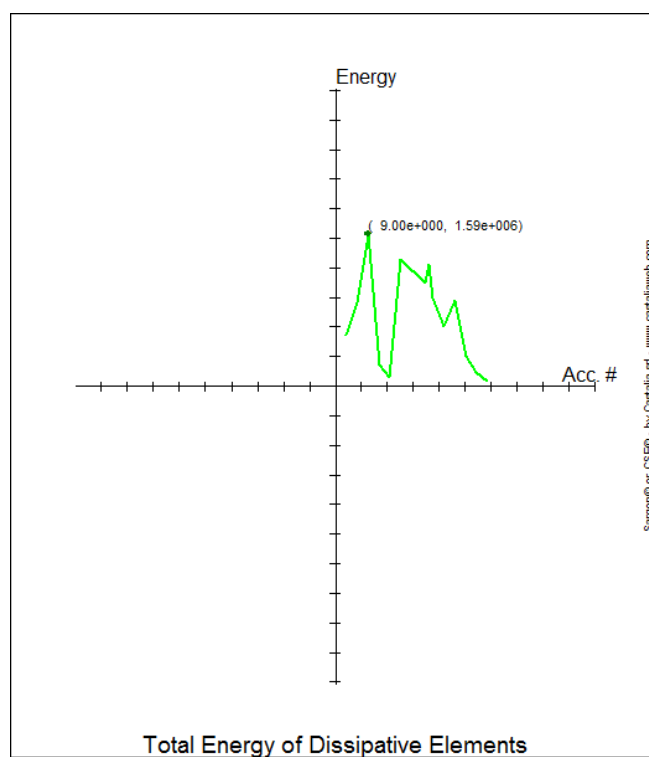
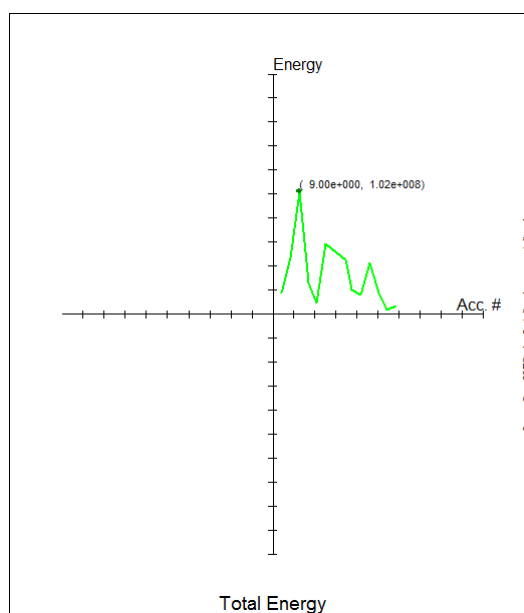
E' anche molto interessante osservare, che il segnale #34 non è quello con la PGA maggiore. Esso infatti ha una PGA di solo  $1.79/9.81 = 0.182$  g, mentre altri segnali hanno una PGA maggiore (il #35 ha una PGA di 0.194g). Quindi ciò che effettivamente conta è il contenuto in frequenza del segnale, non il suo picco.

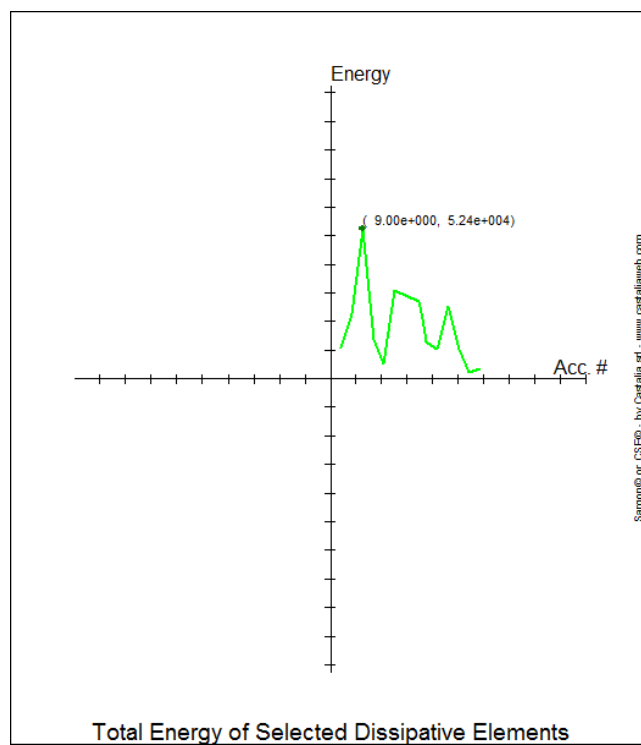
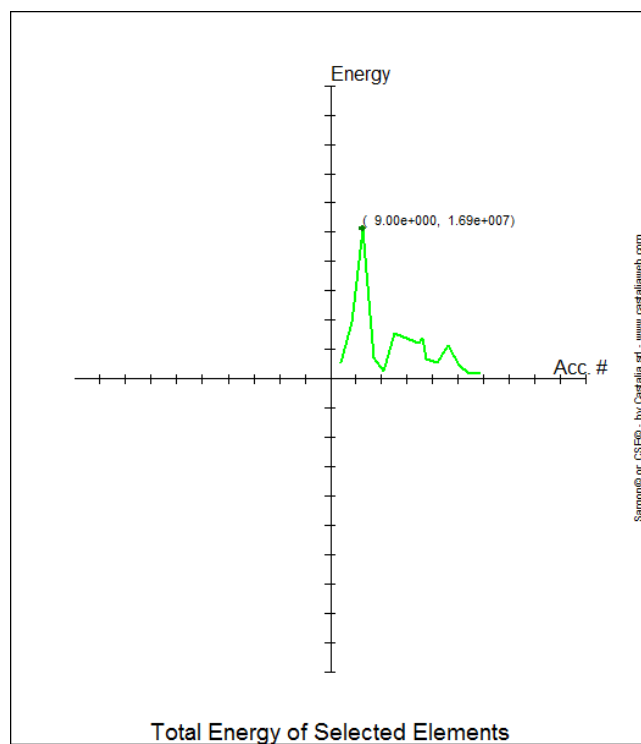


**Accelerogramma #34: picco a  $1.79\text{m/sec}^2$ .**

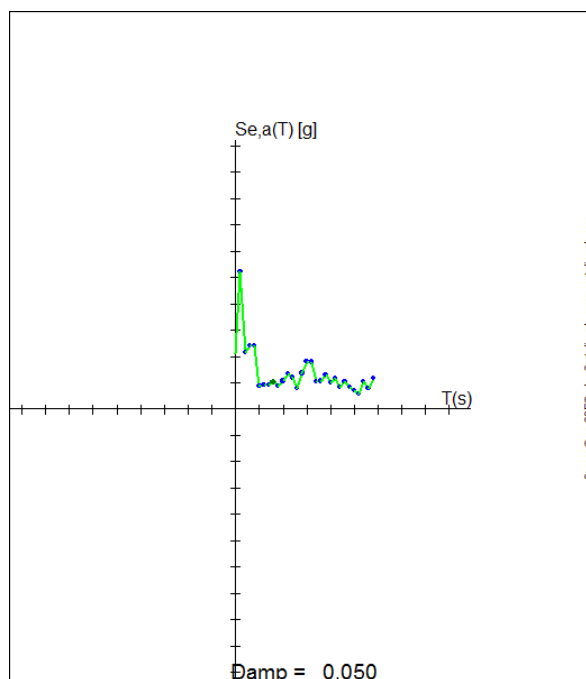
## Direzione Z

Si selezionano ora solo i segnali sussultori (14), indipendentemente dalla loro severità.





Il segnale peggiore è sempre il 9. Lo spettro di risposta del segnale 9 è il seguente:



## 2.38 Come gestire le analisi per fasi

### Come... gestire le analisi per fasi

#### Descrizione del problema

La analisi per fasi è un tipo di analisi che tiene conto della evoluzione della struttura nel tempo. Lo stato di sforzo di un certo elemento, in un certo istante, è dato dalla sovrapposizione dello stato di sforzo aggiunto all'elemento quando questo apparteneva alla struttura in una certa configurazione, in generale diversa da quella attuale.

Un classico esempio, per le strutture metalliche, si ha quando i diagonal di controvento non vengono caricati con le azioni derivanti dal peso proprio, perché sono montati dopo che la struttura è stata realizzata. Durante la fase iniziale, la struttura viene montata con dei controventi provvisori. Poi vengono aggiunti i controventi definitivi, ed infine vengono rimossi i controventi provvisori. Lo stato di sforzo finale è diverso da quello che si otterrebbe considerando la struttura nella sua configurazione finale, senza tener conto della sua evoluzione.

In Sargon, ad ogni fase corrisponde una struttura, che in generale è diversa da quella delle fasi precedenti e da quella delle fasi successive.

La modellazione per fasi, richiede che ad ogni fase sia associata una diversa struttura, e che tutte le strutture delle varie fasi vengano memorizzate in un unico file `wsr`. Non c'è alcuna limitazione sul numero di fasi, se non legata alla occupazione di memoria.

Tutti i normali comandi validi per la modifica di una struttura normale continuano a valere anche nel caso della modellazione per fasi, l'unica differenza è che si riferiranno alla *fase corrente*. La fase corrente è chiaramente segnalata da una scritta posta al centro di ogni finestra, in alto e può essere cambiata con i comandi [Successiva!](#)<sup>[1321]</sup> e [Precedente!](#)<sup>[1321]</sup>. Tutte le viste del modello si riferiscono alla medesima fase. La "fase corrente" è una proprietà del documento e non della vista.

In ogni fase, è possibile studiare la struttura come si farebbe con una struttura normale. E' quindi possibile aggiungere casi di carico e combinazioni, ed eseguire le verifiche. Tutti i file di una fase sono riconoscibili perché hanno in coda al nome il suffisso "STAGEXXX", dove "XXX" è il numero della fase con zeri anteposti se necessario (ad esempio "001", "012", "123"). Ciò vale in particolare per i file binari con estensione .SDB, .DDB, .RDB, .MDB, .MRB, eccetera.

Ogni fase rappresenta quindi una struttura a sé che può essere liberamente studiata dando i risultati che si riferiscono a quella fase.

Tutte le analisi, di tutti i tipi, vengono eseguite con il normale comando [Analizza](#)<sup>[617]</sup>, solo che se è attiva una modellazione per fasi si ha la possibilità di scegliere se eseguire l'analisi per tutte le fasi in un sol passo, o se eseguire la analisi richiesta per la sola fase corrente. In questo ultimo caso, però, i risultati della fase precedente a quella corrente devono essere disponibili.

Per comprendere come sia stata implementata la analisi per fasi in Sargon, è utile considerare una fase generica "i" e la fase ad essa precedente "i-1". Se la fase è la prima, l'analisi statica procede come per una struttura normale e non vi sono particolari accorgimenti da comprendere.

Una struttura in una fase "i" può differire da una struttura in una fase precedente "i-1" per queste ragioni:

1. Possono esserci elementi nuovi EN, presenti nella fase "i" ma assenti nella fase "i-1".



2. Possono esserci vincoli nuovi VN, presenti nella fase "i" ma assenti nella fase "i-1".
3. Possono mancare elementi vecchi (EV), presenti nella fase "i-1" ed assenti nella fase "i".
4. Possono mancare vincoli vecchi "VV", presenti nella fase "i-1" ed assenti nella fase "i".
5. I materiali o le forme sezionali possono essere cambiati, per gli elementi E presenti sia nella fase "i-1", sia nella fase "i".
6. Gli svincoli SV possono essere cambiati, per gli elementi E presenti sia nella fase "i-1" che nella fase "i".

Naturalmente, tra la fase "i-1" e la fase "i" possono essere cambiati i carichi, e le combinazioni di carico da esaminare possono essere differenti.

Per convenzione, in Sargon i casi di carico etichettati come PERMANENTI o GRAVITA' contengono azioni che sono presenti anche nelle fasi successive. Quindi, in una certa fase, i carichi PERMANENTI e GRAVITA' provocano azioni che restano incassate negli elementi anche nelle fasi successive, mentre i carichi di tutti gli altri tipi (VARIABILE, VENTO, NEVE, TERMICO, SISMA STATICO, SISMA MODALE) provocano effetti che restano solo nella fase corrente e non vengono ereditati dalle fasi successive. Gli effetti delle azioni permanenti nella fase "i-1" sono descritti dal primo caso di carico della fase "i" che è sempre riservato, e sempre di tipo PERMANENTE. In esso, si trovano cumulati in un unico caso di carico tutti gli effetti che nella fase "i-1" erano associati a casi di carico permanenti o gravità.

Se un elemento presente nella fase "i-1" viene rimosso nella fase "i", le forze incamerate da esso nella fase "i-1" (e presenti all'inizio della fase "i", quindi PERMANENTI o GRAVITA'), sono applicate con verso contrario alla struttura nella fase "i" e ridistribuite agli elementi della struttura nella sua nuova configurazione. Ciò accade anche con i vincoli che vengono rimossi, o con gli svincoli che vengono aggiunti. L'effetto provocato sulla struttura nella fase "i" dalla rimozione degli elementi presenti nella fase "i-1", o dei vincoli presenti nella fase "i-1", è cumulativamente descritta dal caso di carico 2 di ogni fase che non sia la prima. Questo caso di carico 2 è riservato, e viene riempito e trattato automaticamente dal programma.

Ricapitolando: in ogni modello per fasi, la struttura in una fase  $i > 1$  ha sempre due casi di carico di tipo permanente, riservati e che non devono essere modificati. Questi casi di carico tengono in conto:

1. Il primo, delle azioni interne incassate dagli elementi presenti anche nella fase precedente (E), a causa dei casi di carico PERMANENTI e GRAVITA' della fase precedente. Gli elementi presenti nella fase corrente ma assenti nella fase precedente (EN) risulteranno invece scarichi, e così le reazioni dei vincoli aggiunti (VN).
2. Il secondo, degli elementi (EV) e dei vincoli (VV) presenti nella fase precedente ma rimossi nella fase successiva. Gli effetti provocati dalla rimozione tengono cumulativamente conto di tutte le azioni interne incassate dagli elementi e vincoli rimossi, per tutti i casi di carico etichettati come PERMANENTI o GRAVITA' nella fase precedente.

La struttura della fase "i" avrà naturalmente le sue nuove azioni, che potranno riguardare sia gli elementi nuovi EN che gli elementi esistenti nella fase precedente E (le azioni permanenti presenti negli elementi E sono già tenute in conto nel caso di carico 1). Queste nuove azioni, saranno ordinatamente messe in casi di carico PERMANENTE o GRAVITA' (che saranno ereditati dalla fase successiva "i+1"), VARIABILE, VENTO, NEVE, TERMICO e SISMA STATICO e MODALE, i cui effetti saranno invece confinati alla fase "i".

Nella fase "i" sarà possibile definire nuove combinazioni di carico, che potranno essere sottoposte a verifica come per le analisi non per fasi.

## Comandi operativi

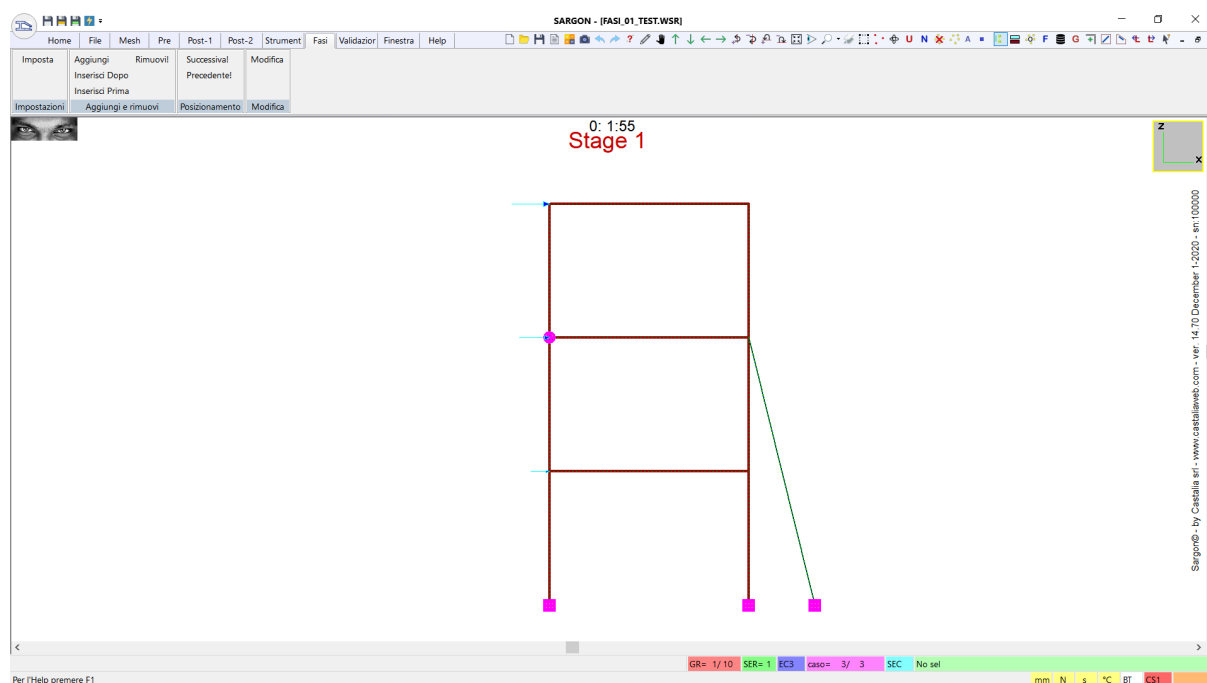
A partire dalla versione 14.50 sono stati introdotti nuovi comandi per la gestione della analisi per fasi.

I comandi che consentono di gestire la analisi per fasi si trovano nel menu Fasi. Questi comandi consentono di aggiungere delle nuove fasi ([Aggiungi Fase](#)<sup>[1317]</sup>, [Inserisci Prima](#)<sup>[1320]</sup>, [Inserisci Dopo](#)<sup>[1319]</sup>), cancellare la fase corrente ([Rimuovi Fase Corrente](#)<sup>[1320]</sup>), spostarsi da una fase all'altra ([Successiva!](#)<sup>[1321]</sup>, [Precedente!](#)<sup>[1321]</sup>) e modificare il colore e identificatore della fase attiva ([Modifica](#)<sup>[1321]</sup>).

## Esempi di utilizzo

### Esempio 1

In questa sezione si vedrà un semplice esempio di utilizzo della analisi per fasi.



Fase 1: controventi provvisori

Si crei dapprima un semplice telaio piano, controventato orizzontalmente da una biella provvisoria e da un vincolo laterale posto al livello del secondo piano. Il modello abbia tre casi di carico, di cui il primo dato dal peso proprio, il secondo dai permanenti applicati alle travi, ed il terzo da un vento orizzontale di modesta entità data la provvisorietà della situazione analizzata.

Fatto il modello, la prima cosa da fare per passare alla analisi per fasi è eseguire il comando [Aggiungi Fase](#)<sup>1317</sup>. Fatto ciò nello schermo, in alto al centro, compare la scritta "STAGE 1".

Il modello può essere modificato e analizzato come un qualsiasi modello Sargon, è dunque possibile definire delle combinazioni e fare le verifiche (per la fase 1). Le verifiche e le analisi possono essere fatte in qualsiasi momento. Le verifiche sono eseguite sulla fase attiva. La soluzione della analisi statica può essere fatta per tutte le fasi o per la fase corrente.

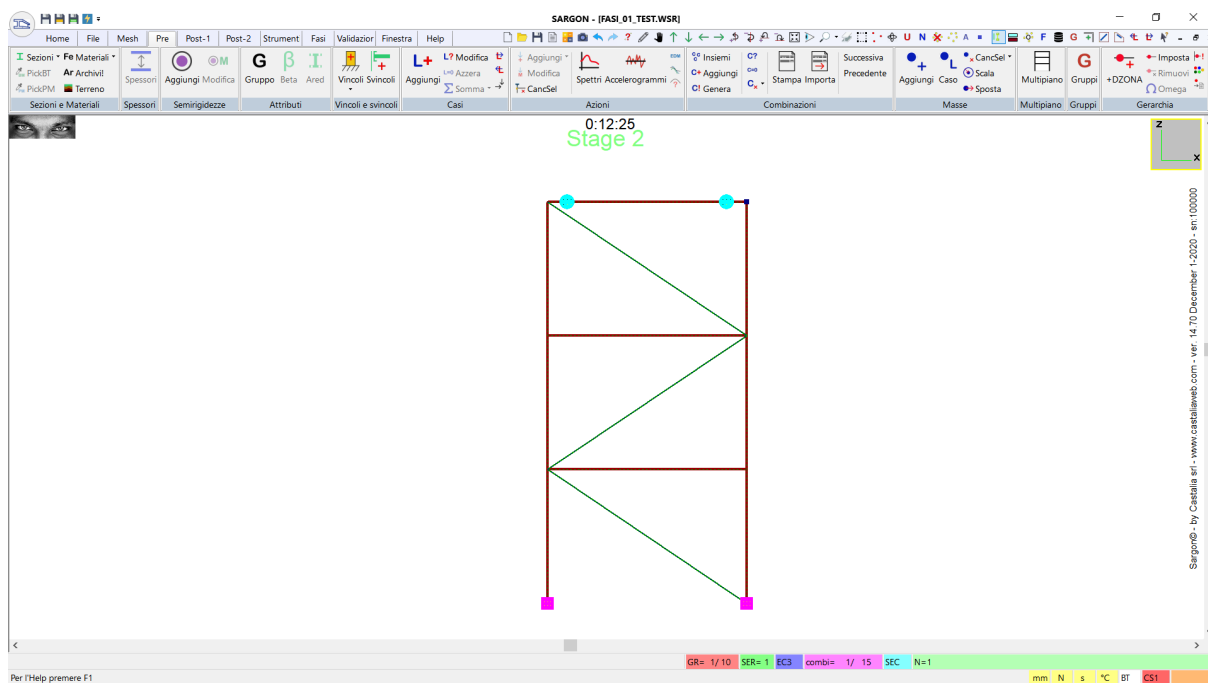
A questo punto si esegue nuovamente il comando [Aggiungi Fase](#)<sup>1317</sup>, il che porta alla Fase 2 (STAGE 2).

La struttura nella fase 2 è inizialmente identica a quella della fase 1, ma:

1. I casi di carico sono eliminati tutti e restano invece solo due nuovi casi di carico.
2. Le combinazioni sono eliminate tutte.
3. Tutti gli elementi presenti nella fase 1, e tutti i vincoli e svincoli, sono presenti nella fase 2.  
La struttura è identica a quella della fase 1.
4. Il primo nuovo caso di carico presenta tutti i carichi appartenenti a casi di carico di tipo GRAVITA' o PERMANENTI della fase 1.
5. Il secondo caso di carico è vuoto e non deve essere usato poiché è riservato. La sua funzione sarà spiegata più sotto.

Passati alla fase 2, il modello viene modificato:

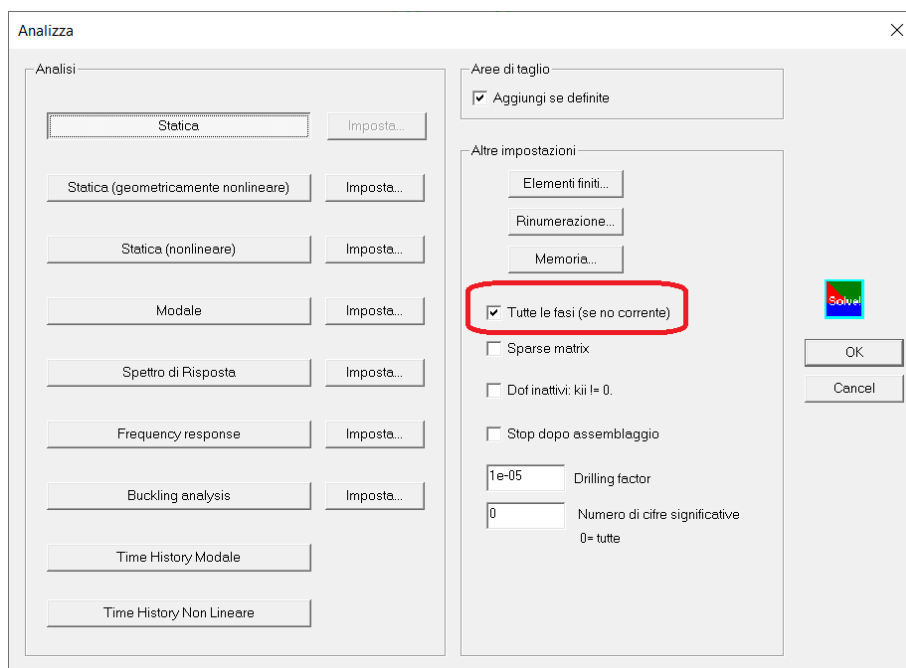
1. Eliminando la biella provvisoria.
2. Eliminando il vincolo laterale al secondo piano.
3. Applicando degli svincoli alla trave in alto (ultimo piano) che prima non c'erano.
4. Aggiungendo dei controventi concentrici appropriati.



**Fase 2: scomparsa la biella provvisoria, scomparso il vincolo laterale, aggiunti i controventi ed aggiunti gli svincoli**

Il primo caso di carico, come si è detto, contiene le azioni applicate agli elementi nei casi di carico 1 e 2 della fase 1. Il secondo caso di carico, inizialmente, è vuoto (viene riempito dopo il solving, con azioni che dipendono dalle sollecitazioni degli elementi nella fase precedente). Il terzo caso di carico viene definito (aggiungendolo) applicando carichi da vento definitivi.

Sono poi aggiunte delle combinazioni per eseguire le verifiche.



**Esecuzione della analisi statica per tutte le fasi.**

A questo punto viene eseguita la analisi statica, chiedendo di eseguirla per tutte le fasi. E' interessante osservare cosa è successo al modello nelle varie fasi.

### Fase 1

Nella fase 1 si trovano i risultati che si sarebbero trovati se la struttura in fase 1 fosse stata una struttura normale, calcolata non "per fasi". Quindi le azioni interne sono quelle dei casi di carico applicati.

In particolare, la biella provvisoria risulta caricata da una compressione di:

1. 7966 N nel caso 1;
2. 37930 N nel caso 2.

La reazione vincolare del vincolo in alto, risulta pari a:

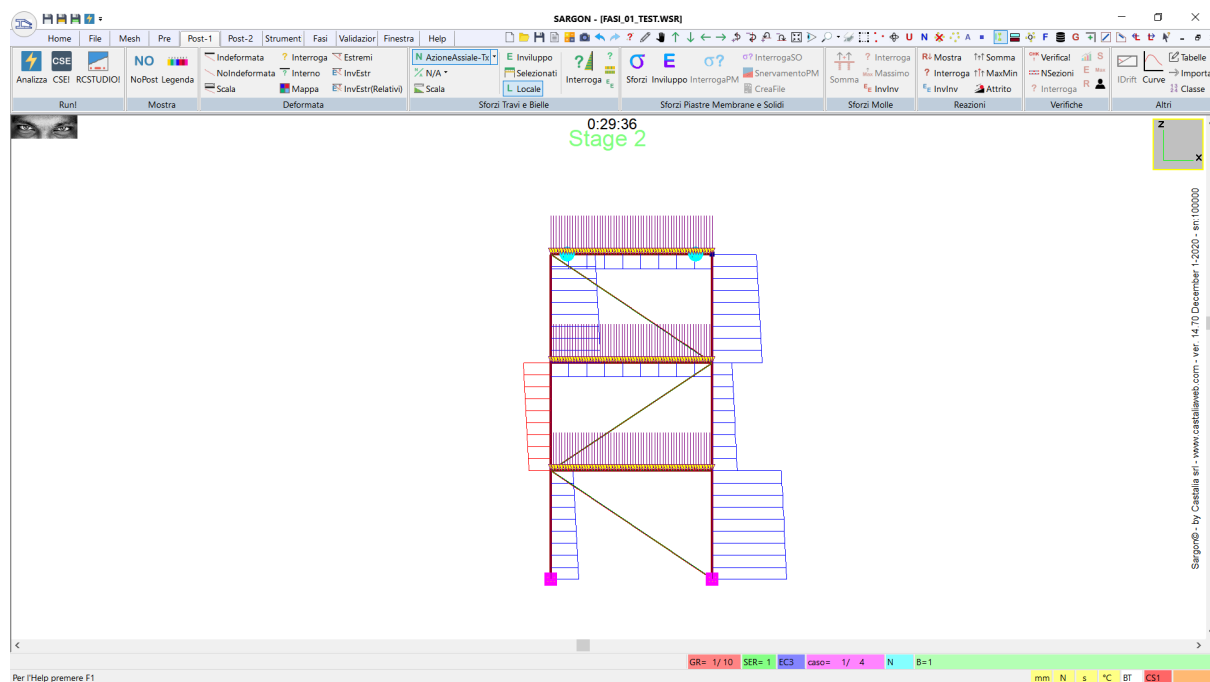
1. +1909 N in direzione X e 12670 N in direzione Z nel caso 1;
2. +9096N in direzione X e +60080 N in direzione Z.

La trave posta in alto (al terzo piano) ha un momento alle estremità (non svincolate) pari a:

1. Caso 1: 1.880e6 Nmm al primo estremo; 1.869e6 Nmm al secondo estremo.
2. Caso 2: 1.837e7 Nmm al primo estremo; 1.832e7 Nmm al secondo estremo.

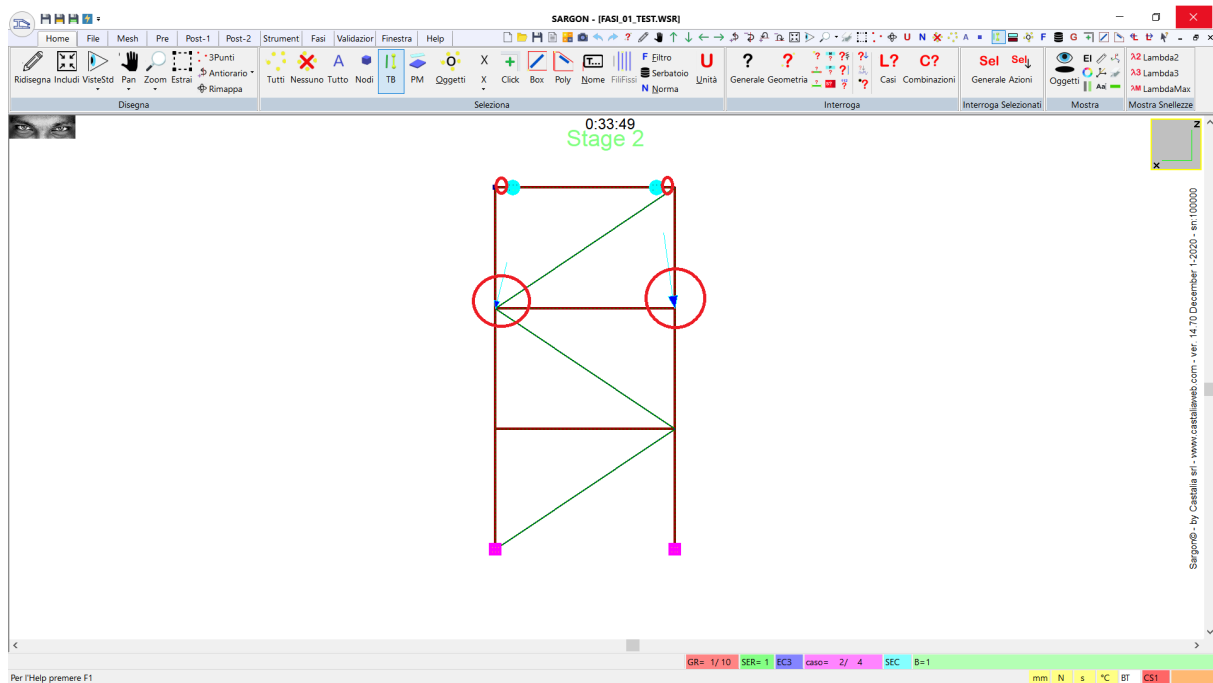
## Fase 2

Esaminando ora la struttura in fase 2 si vede che:



**Fase 2:** azioni assiali nel caso 1: i controventi concentrici sono scarichi, gli altri elementi sono caricati come nella fase 1 per la somma dei permanenti applicati.

1. Nel caso 1, tutti gli elementi aggiunti nella fase 2 (i controventi concentrici) sono scarichi. I carichi permanenti della fase 1 sono stati presi dalle colonne e da altri elementi. Gli elementi che esistevano nella fase 1, sono caricati come nella somma dei casi permanenti della fase 1. E' interessante osservare che nella fase 1 la colonna sotto il vincolo si appende e quindi risulta tesa. Ciò avveniva anche nella fase 1.



2. Nel caso 2, sono applicate delle forze, le quali tengono in conto le modifiche tra la fase 1 e la fase 2 che influenzano lo stato di sforzo della struttura nella fase 2. In particolare:
  - a. Dove c'era il vincolo che in fase 2 non c'è più c'è una forza nodale pari a  $F_x = -11010\text{ N}$  ed  $F_z = -72750\text{ N}$ . Queste forze corrispondono alla somma delle reazioni del vincolo nel caso 1 della fase 1 e del caso 2 della fase 1, ovvero, alla somma delle reazioni vincolari dei casi di carico di tipo permanente della fase precedente. Infatti:  $1909 + 9096 = 11005$  (la differenza con 11010 è dovuta al fatto che la forza applicata è data con 4 cifre significative, in realtà la somma è identica); e  $12670 + 60080 = 72750$ . In pratica quando il vincolo viene rimosso, la struttura subisce un carico pari alle reazioni vincolari che riceveva, cambiate di segno.
  - b. Dove c'era la biella, c'è una forza nodale con componenti  $F_x = 11130\text{ N}$  ed  $F_z = -44520\text{ N}$ , che dà una risultante di  $F = 45890\text{ N}$ , verso il basso. Tale forza è la somma delle azioni assiali della biella rimossa, nei casi di carico di tipo permanente della fase 1 (caso 1 e caso 2). Infatti:  $7966 + 37930 = 45896\text{ N}$  (vale analogo discorso per le cifre significative). Quando la biella viene rimossa, il sostegno (verso l'alto e verso l'interno) che la biella forniva, viene meno, e la struttura viene spinta verso il basso e verso l'esterno.
  - c. Dove c'era la trave non svincolata e ora svincolata, compaiono due coppie concentrate agli estremi (non visibili nella immagine poiché il loro vettore momento è normale allo



schermo), di valore pari a  $2.025e7$  al primo estremo e  $2.019e7$  al secondo estremo. Sono carichi applicati all'elemento beam. Tali coppie sono la somma dei valori del momento flettente agli estremi per i casi di carico permanenti per la trave in questione nella fase 1. Infatti:  $1.88e6 + 1.837e7 = 2.025e7$ ;  $1.869e6 + 1.832e7 = 2.019e7$ . La aggiunta dello svincolamento, comporta un trasferimento di carico alla trave che dovrà vedere il suo momento flettente scendere a zero agli appoggi ed aumentare in mezzeria. Anche la colonna dovrà cambiare momento flettente (vedi punto d).

- d. Sui nodi di estremità della trave che è stata svincolata, compaiono due coppie nodali, opposte come segno al momento comunicato dalla trave in fase 1 sui nodi in questione.

Il caso di carico 1 nella fase 2 (nella fase K), ha tutti i carichi permanenti della fase 1 (della fase K-1), e le azioni interne sono quelle che gli elementi avevano nella fase 1 (K-1). Gli elementi che non comparivano nella fase 1 (nella fase K-1) sono scarichi.

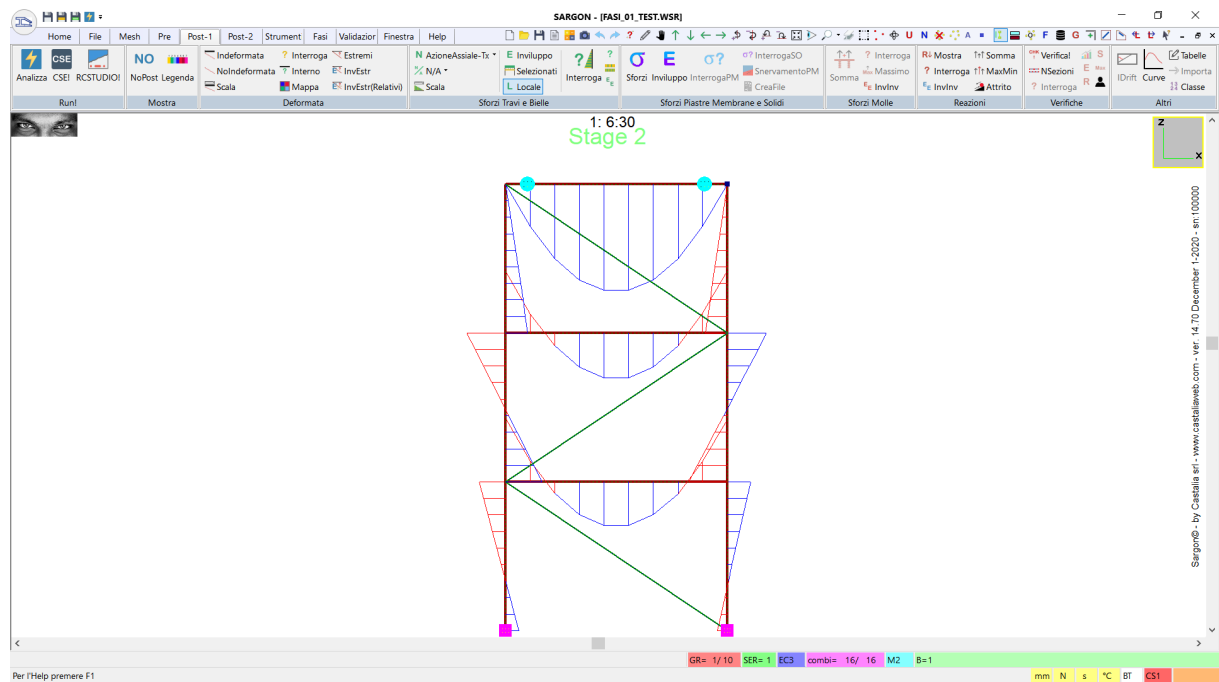
Il caso di carico 2 nella fase 2 (nella fase K) corrisponde a ciò che le modifiche apportate alla struttura tra la fase 1 (K-1) e la fase 2 (fase K) hanno comportato sulla struttura in fase 2 (K): rimozione di elementi, rimozione di vincoli, aggiunta di svincoli. I nuovi carichi applicati alla fase 2 (K) si trovano nei casi  $> 2$ . Si suppone implicitamente che la rimozione degli elementi e dei vincoli, e l'aggiunta degli svincoli, sia fatta *dopo* che sono stati aggiunti gli elementi della fase 2, e i vincoli della fase 2, non presenti nella fase 1. La regola è dunque "aggiungi e poi rimuovi". Gli elementi aggiunti, appena aggiunti, e prima della rimozione degli altri elementi, sono scarichi.

La somma dei casi di carico 1 e 2 corrisponde alla situazione della struttura nella fase 2, come ereditata dalla fase 1 anche a seguito della applicazione delle modifiche tra la fase 1 e la fase 2. Se si aggiunge una combinazione che dia la somma degli effetti del caso 1 e del caso 2, nella fase 2, si deve trovare:

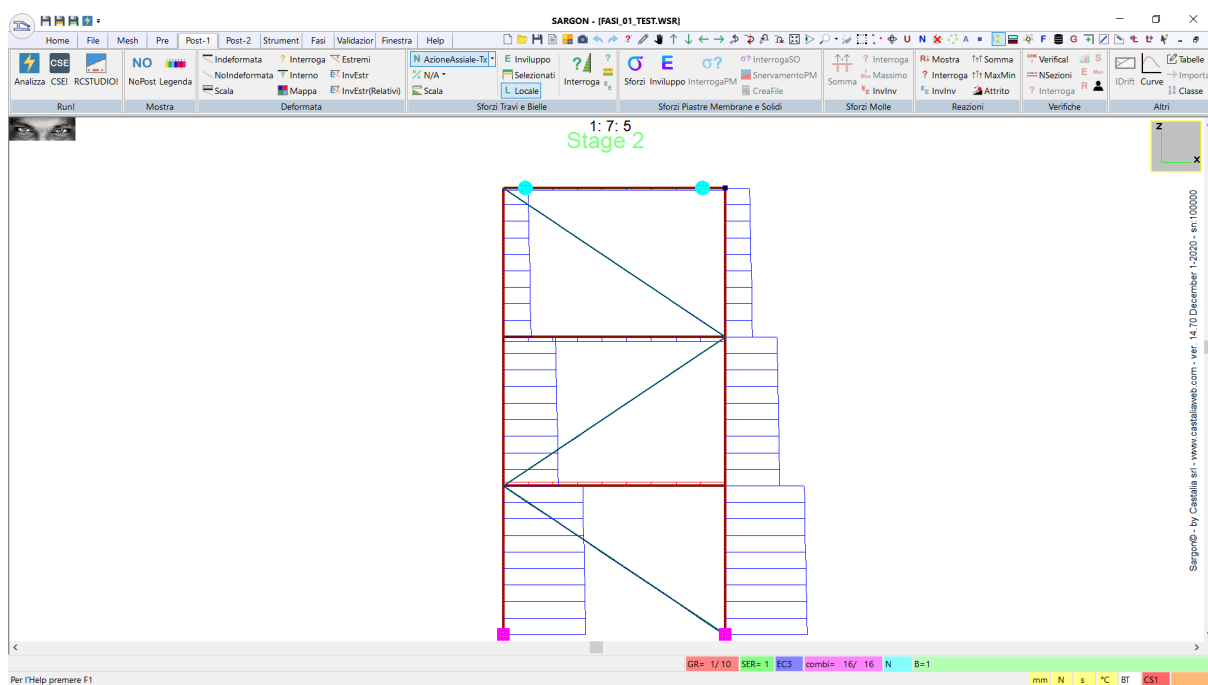
- A. Che i controventi concentrici sono scarichi, a meno delle forze comunicate loro dalla rimozione della biella e dalla rimozione del vincolo, nonché dalla aggiunta degli svincoli.
- B. Che non c'è più la biella provvisoria e il vincolo provvisorio (siamo in fase 2), e le forze che un tempo esercitavano.

- C. Che il momento flettente nella trave all'ultimo livello è nullo agli estremi, e che di conseguenza è cambiata la distribuzione di momenti sulla colonna rispetto a quanto nella fase 1.
- D. Che la somma delle reazioni vincolari nelle due colonne in fase 2 ( $89370 + 88910 = 178280\text{N}$ ) eguaglia la somma delle reazioni vincolari della fase 1, per i carichi 1 e 2, nei 4 nodi vincolati della fase 1 (il nodo in basso della biella provvisoria, le due colonne e il nodo al secondo livello, con vincolo alla traslazione Z e X:  $44520 + 44490 + 16520 + 72750 = 178280\text{N}$ ).

Nel seguito si riportano i diagrammi di azione assiale e momento flettente per questa combinazione di fase 2, che somma gli effetti del caso 1 e del caso 2 della fase 2.



Fase 2. Combinazione con caso 1 e 2. Diagramma di momento flettente.



Fase 2. Combinazione con caso 1 e 2. Diagramma di azione assiale.

## Avvertenze nell'utilizzo

Nell'utilizzo del calcolo per fasi, si tenga presente quanto segue.

- L'uso di sezioni composte acciaio calcestruzzo deve essere gestito mediante l'aggiunta di elementi membrana o piastra nella fase successiva all'indurimento del calcestruzzo (K+1), e non mediante un mero cambio di sezione dalla fase K alla fase K+1. Quindi ad esempio in fase K ci sarà solo una trave di acciaio caricata dal peso del calcestruzzo liquido, nella fase (K+1) saranno aggiunti elementi piastra o membrana eccentrici, e i successivi carichi applicati in fase (K+1) solleciteranno il sistema composto acciaio-calcestruzzo, mentre i carichi applicati in fase (K-1) solleciteranno il solo elemento in acciaio.
- Se nella fase K sono stati eliminati elementi presenti nella fase (K-1), e tali elementi sono di tipo piastra, membrana e solido, e se tali elementi avevano nodi in comune con nodi esistenti nella fase K, l'azione comunicata dalla rimozione di questi elementi dalla struttura non è ancora tenuta in conto. Invece, se gli elementi rimossi sono del tipo trave, biella e molla, di

tale rimozione si tiene conto. La situazione è abbastanza rara e se avviene viene stampato un messaggio di avviso (la esecuzione prosegue normalmente).

- L'analisi per fasi è delicata e va compiuta prestando la massima attenzione.
- Non c'è un limite al numero di fasi.
- La modellazione per fasi implica di fatto l'esistenza di tante diverse strutture quante sono le fasi.

## **2.39 Come ottenere le forze mancanti (section cut)**

### **Come... ottenere le forze mancanti (section cut)**

Con il termine "section cut" nel gergo degli elementi finiti si intende la suddivisione della struttura in due parti per mezzo di un taglio, generalmente, ma non necessariamente planare.

A causa del taglio, la struttura è divisa in due parti, che si devono scambiare necessariamente, per il principio di azione e reazione, le stesse forze complessive. Il principio di azione e reazione vale anche a livello di singolo nodo, per cui gli elementi che si trovano nella parte A, e collegati al nodo, agiscono su di esso nello stesso identico ed opposto modo in cui agiscono gli elementi che appartengono alla parte B.

Se sul nodo sono applicate direttamente forze nodali, le forze appartenenti alla parte A e le forze appartenenti alla parte B non sono eguali, ma la loro differenza è proprio eguale alle forze nodali direttamente applicate.

A volte, in specie per l'applicazione di normative che sono pensate facenti uso delle forze sezionali N, M, T (sforzi generalizzati), è necessario conoscere la risultante delle azioni scambiate su una sezione per poter eseguire dei calcoli di verifica. Si pensi ad esempio ad una trave modellata con elementi solidi (solo elementi solidi), e si voglia sapere a quanto ammonta,

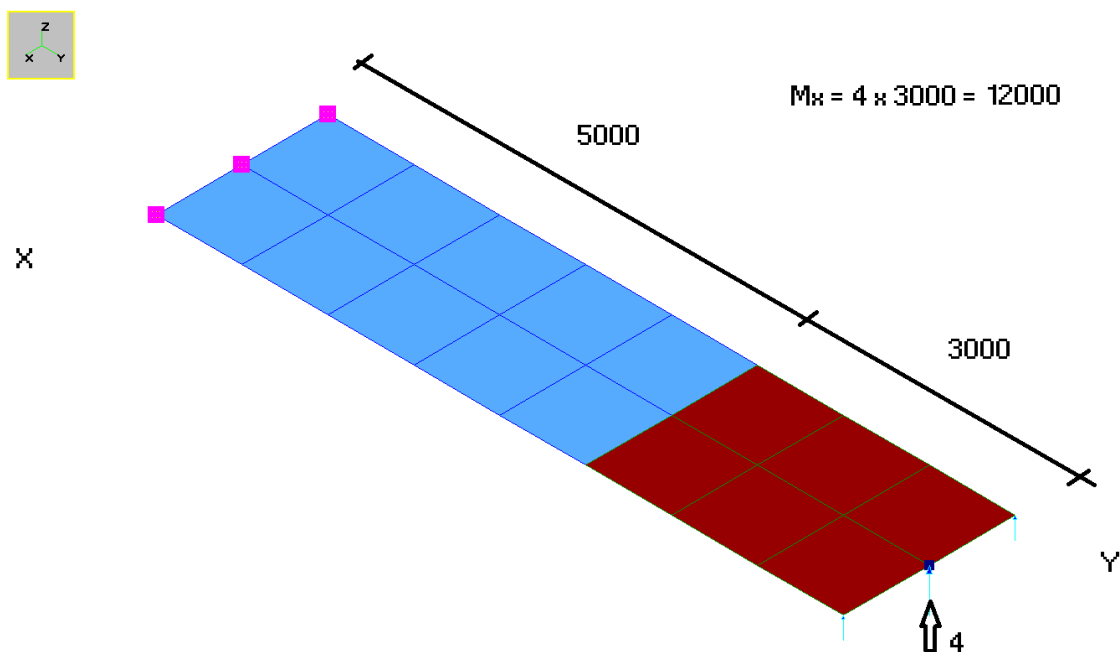
in una certa sezione, la azione assiale, il taglio ed il momento flettente. Per avere questa informazione è necessario:

- Avere eseguito una analisi statica, sia essa lineare o non lineare.
- Dividere la trave in due parti, usando la sezione di interesse come divisore. In pratica si selezionano solo gli elementi dalla parte A.
- Applicare il comando [Estrai](#)<sup>750</sup>, estraendo solo gli elementi selezionati e nascondendo tutti gli altri, appartenenti alla parte B.
- In modalità estrai, selezionare solo e soltanto i nodi appartenenti alla sezione di suddivisione tra A e B.
- Posizionarsi nel caso o nella combinazione di interesse.
- Eseguire il comando [Post-Reazioni vincolari-Somma forze mancanti](#)<sup>1188</sup>. Ciò darà la risultante delle forze mancanti agenti sulla sezione, ed il punto di applicazione del risultante. Per un esempio applicato a una membrana, si veda il comando citato.

Valgono le seguenti considerazioni:

- Il comando utilizza file MODELLO.IDB e MODELLO.MIB (modale) che sono creati solo a partire dalla versione 15.00.
- Il comando funziona sia per i casi di carico che per le combinazioni.
- I nodi selezionati possono non appartenere a un piano, ma definire una "sezione di suddivisione" anche complessa. Il programma si limita a rilevare i nodi selezionati ed a fare la somma delle forze appartenenti agli elementi della parte B, nascosta.

## Esempio



Nella sezione terminale della piastra in figura, incastrata all'estremo di sinistra, è applicato un sistema di tre forze nodali, equivalenti a una forza pari a 4N applicata nel centro.

Eseguendo le operazioni descritte dove A è la parte compresa tra  $Y = 0$  e  $Y = 5000$  e selezionando i tre nodi della sezione a 5000 mm, si ottiene:

Sum of missing forces acting on selected nodes

Number of selected nodes = 3

$F_x = 8.527e-16$

$F_y = 4.547e-15$

**$F_z = 4.000e+00$**

**$R_x = 1.200e+04$**

$R_y = 2.064e-11$

$R_z = -0.000e+00$

$XP = 1.000e+03$

$$Y_P = 8.000e+03$$

$$Z_P = -9.308e-12$$

Ovvero:

le forze che *la parte nascosta esercita sulla parte visibile* per metterla in equilibrio.

Per ottenere le forze che la parte visibile esercita sulla parte nascosta basta cambiare di segno.

Le forze interne equivalgono, come atteso, a un risultante di 4N posizionato a 8000 mm dalla origine, sull'asse di simmetria della piastra.

## 2.40 Come creare il report dei giunti

### Come... creare il report dei giunti

#### Introduzione

In una struttura in acciaio ci possono essere molti nodi diversi, e la progettazione dei collegamenti è uno degli aspetti più onerosi e delicati.

A partire dalla versione 15.60, Sargon consente di creare un report dei "giunti" in PDF, utilizzando tecnologia disponibile nel programma CSE espressamente dedicato ai collegamenti.

Decomponendo i nodi in giunti, ovvero in collegamenti a due tra una membratura e un'altra, uno *slave* e un *master*, è possibile avere delle consistenti economie di scala, pur di fare l'ipotesi che l'elemento master possa essere progettato disgiuntamente, ovvero tenendo conto degli effetti che gli slave provocano su di esso ad uno ad uno. Sebbene ciò non sia mai rigorosamente verificato, esiste tuttavia una ampia casistica di situazioni nelle quali gli slave vanno a impegnare parti diverse e lontane tra loro del master, cosicché risulta effettivamente possibile progettare i giunti indipendentemente.

Per semplicità si supponga che in una struttura, molte volte una IPE200 si connetta a 90° con una IPE300, consegnando solo un taglio. Questo è quindi un giunto identico che si ripete in parecchie *istanze* nella struttura. Risulta allora di estremo interesse poter conoscere:

- quali e quanti sono in totale tutti i giunti diversi della struttura
- quante sono le ripetizioni di ogni particolare giunto
- dove sono
- quali sono le azioni interne massime con le quali poter progettare una volta sola, in modo che vada bene dovunque, ogni giunto.

A queste domande risponde il report dei giunti, che naturalmente funziona in modo generale, e quindi anche con collegamenti a momento o con controventi caricati solo assialmente.

Si tratta di uno strumento molto utile che migliora sensibilmente il raggio di azione di Sargon, avvicinandolo ulteriormente a C.S.E..

### **Le necessarie condizioni per la creazione del report**

Il comando che crea il report dei giunti è [Struttura-JNodi-Crea Report Giunti](#)<sup>[1308]</sup>. Il comando crea un file PDF e lo apre automaticamente. Perché il comando possa funzionare correttamente:

1. Devono esserci delle combinazioni.
2. Deve essere stata fatta la analisi statica.
3. Deve essere stato installato PDFLATEX
4. Devono essere stati cercati i [JNodi](#)<sup>[467]</sup> con il comando [Struttura-JNodi-Cerca!](#)<sup>[1297]</sup>.

Per quanto riguarda la installazione del modulo PDFLATEX, vale quanto segue.



Per poter creare PDF è necessario installare il pacchetto gratuito [MikTeX](https://miktex.org/download), che si trova a questo indirizzo:

<https://miktex.org/download>

La installazione del pacchetto consentirà di avere a disposizione una applicazione, denominata **pdflatex**. La creazione del PDF avviene in due passi, entrambi automatici.

Il primo passaggio, a carico di SARGON, consiste nella creazione di un file LaTeX<sup>®</sup>. Tale file ha estensione "tex", si chiama "MODELLO.WSR.JOINT\_REPORT.TEX" e viene creato nella cartella del modello.

Il secondo passaggio, a cura di un eseguibile esterno denominato **pdflatex** installato con MikTeX, consiste nella trasformazione del file .tex nel file "MODELLO.WSR.JOINT\_REPORT.pdf". Questo file viene poi automaticamente da Sargon fatto aprire da Acrobat Reader se questo è presente nel computer.

## **Terminologia**

Un [jnodo](#)<sup>[467]</sup> è una struttura di dati che descrive un certo numero di connessioni *ideali* elementari tra membrature. Ogni membratura è individuata dalla sua sezione, dal suo materiale, dal fatto di essere trave o biella, dalle sue eccentricità, dai suoi svincoli, dalla sua orientazione nello spazio. Normalmente, nei jnodi gerarchici, che sono la maggior parte, una membratura "master" funge da supporto per una o più membrature "slave" a questa connesse. La unione elementare tra due membrature, uno slave a un master, è detta *giunto*. Se il nodo del jnodo è vincolato, esiste anche il giunto tra la membratura master e il riferimento. Quindi, in un jnodo con  $n$  membrature, ci sono  $(n-1)$  giunti elementari se il nodo del jnodo non è vincolato, ed  $n$  giunti elementari se lo è.

I jnodi possono essere eguali: membrature identiche come sezione e materiale, si incontrano nello spazio nello stesso modo (mutue orientazioni, giaciture). In questo caso, il jnodo è unico, ma ha più *istanze*. Ogni istanza del jnodo corrisponde a un diverso nodo del modello agli elementi finiti.

Anche i giunti possono essere eguali. Può accadere, e in generale accade, che giunti eguali si trovino in jnodi diversi, o in diverse istanze dello stesso jnodo.

Se un certo giunto si ripete un certo numero di volte identico nella struttura, esso ha più istanze. Le istanze del giunto sono cosa diversa dalle istanze dei jnodi.

I giunti vengono marcati con un identificatore di sei zeri o uni. Ciascuna cifra, 0 o 1, è in relazione con una componente di azione interna dello slave, nella successione N, T2, T3, M1, M2, M3. Uno zero implica che l'involuppo della corrispondente azione interna sia in modulo inferiore all'1% della capacità della sezione. Se questa condizione non è verificata vi è un uno. Osservando la marca si capisce subito che azioni interne il giunto deve sostenere:

100000	solo azione assiale
001000	solo taglio T3

101000                      azione assiale e taglio

000000                      tutte le azioni interne sono blande

Alla marca corrisponde un *tipo* secondo la seguente codifica:

100000                      Axial

010000                      Shear2 (T2)

001000                      Shear 3 (T3)

011000                      Shear23

110000                      AxialShear2

101000                      AxialShear3

111000                      AxialShear23

xxxx10                      Bending2

xxxx01                      Bending3

xxxx11                      Bending23

La *descrizione* viene fatta utilizzando una sigla in cui il primo gruppo di lettere si riferisce al master, il secondo gruppo di lettere allo slave. Valgono i seguenti significati:

- BE                      beam, trave
- CO                      column, colonna
- 90                      angolo di 90 gradi

- COF            collegamento sulla flangia della colonna
- COW           collegamento sull'anima della colonna
- CONSTR      vincolo
- POF            post, (elemento verticale secondario) flangia
- POWpost, anima
- VBRA          controvento in piano verticale
- HBRA          controvento in piano orizzontale
- BRAHALO      controvento a 90 gradi ma sghembo (controvento orizzontale su colonna)

Due giunti sono eguali non solo se lo sono geometricamente, ma anche se la loro marca è identica. Ciò implica che giunti caricati differentemente siano considerati a priori diversi: anche se una IPE200 e una IPE300 si incontrano allo stesso modo, ad esempio, se un giunto è 101000 e un altro geometricamente identico giunto è 001000, essi non saranno considerati eguali.

### **La struttura del report**

La prima tabella enumera i giunti trovati dando per ciascuno di essi:

- la marca della modalità di carico
- la sezione del master
- la sezione dello slave

- la descrizione
- il tipo
- il numero di istanze di quel giunto

Table 1.1: Joint List

JOINT n	JOINT mark	MASTER section	SLAVE section	DESCRIPTION	TYPE	INSTANCES number
1	001000	HE 260 A	IPE 200	BE90BE	Shear3	2
2	001000	HE 200 B	HE 260 A	COFBE	Shear3	2
3	001000	HE 200 B	IPE 200	COWBE	Shear3	8
4	001000	IPE 300	IPE 200	BE90BE	Shear3	2
5	001000	HE 200 B	IPE 300	COFBE	Shear3	4
6	101011	HE 200 B	IPE 300	CONSTR	Moment23	6

La seconda sezione dà per ogni giunto le sue istanze. Il giunto è individuato dalla marca della modalità di carico, seguita da un numero progressivo "\_1", "\_2", eccetera.

Nella tabella di ogni giunto viene dato:

- il numero progressivo del giunto
- la marca completa del giunto
- il numero di istanza del giunto
- la marca del jnodo dove si trova il giunto
- il numero della istanza del jnodo dove si trova il giunto
- la posizione della membratura nel jnodo

## 1.2 Joint instances

### 1.2.1 001000\_1

Table 1.2: Joint Instances

JOINT n	JOINT mark	JOINT instance	JNODE mark	JNODE instance	MEMBER position
1	001000_1	1	AA	1	2
1	001000_1	2	AA	1	3

&lt;&gt;

La ultima sezione si riferisce all'involuppo delle massime azioni interne per ciascun giunto. E' una sezione molto utile per facilitare la progettazione dei collegamenti.

Per ogni giunto viene data una tabella dove si trova:

- Il numero progressivo del giunto
- La sezione del master
- La sezione dello slave
- La istanza del giunto
- I massimi di ciascuna delle 6 sollecitazioni elementari, nel sistema di riferimento locale dello slave.

1.3.2 **001000\_2**

Table 1.9: Joint Forces

JOINT n	MASTER section	SLAVE section	JOINT instance	N kN	V <sub>2</sub> kN	V <sub>3</sub> kN	M <sub>t</sub> kN m	M <sub>2</sub> kN m	M <sub>3</sub> kN m
2	HE 200 B	HE 260 A	1	7.4	2.8	52.1	0.0	0.0	0.0
2	HE 200 B	HE 260 A	2	7.4	2.8	52.1	0.0	0.0	0.0

<>

## **L'uso del report**

Una volta creato il report dei giunti, sarà possibile avere una lista completa dei diversi giunti della struttura, avendo chiaro per ciascuno di essi quali sollecitazioni massime debbano essere portate. Si potranno così progettare i collegamenti del giunto (bulloni, saldature, piatti) applicando poi le connessioni trovate a tutte le ripetizioni del giunto nella struttura.

La progettazione dei nodi viene quindi a essere decomposta nella progettazione di giunti, la quale presenta, ovviamente, una considerevole semplificazione.

Si tratta quindi di una informazione preziosa, che risparmia molto lavoro al progettista, consentendogli anche di concentrarsi sui giunti più frequenti e quindi più onerosi in termini di peso. La esatta fotografia dei giunti presenti nella struttura è uno strumento di grande utilità per

la progettazione dei nodi, anche perché in questo modo il lavoro può facilmente essere smistato e partizionato, senza perdere di vista il quadro complessivo.

## 2.41 Come gestire spettri di inviluppo di segnali

Una volta caricato nel modello un certo numero di segnali (con il comando [Edit-Azioni-Accelerogrammi](#)<sup>[1045]</sup>), è possibile estrarne lo spettro di inviluppo con il comando [Edit-Azioni-Spettro di Inviluppo](#)<sup>[1059]</sup>. Con questo comando si può anche scegliere di estrarre lo spettro di inviluppo solo per alcuni segnali, e per un ben definito intervallo di smorzamenti relativi al critico.

Gli spettri di inviluppo *sono salvati nel modello* e possono essere utilizzati come Spettri Utente, nel momento in cui si prepara una analisi a spettro di risposta con il [dialogo corrispondente](#)<sup>[627]</sup>.

Lo stesso comando usato per aggiungere gli spettri di inviluppo può essere usato per cancellarne alcuni o per cancellarli tutti.

Una volta generati gli spettri di inviluppo che interessano, se lo scopo finale è eseguire una analisi a spettro di risposta, allora è conveniente eliminare gli accelerogrammi dal modello per renderlo più leggero, abbreviando i tempi (comando [Edit-Azioni-Accelerogrammi](#)<sup>[1045]</sup>).

## 2.42 Come fare analisi dinamiche non lineari

1. Generalità
2. I file gestiti dalla analisi dinamica non lineare
3. La modellazione dello smorzamento
4. I tipi di integrazione
5. Il passo temporale
6. Impostazioni delle non linearità
7. L'utilizzo delle curve
8. Analisi sismiche singole
9. Analisi sismiche multiple in cascata
10. Analisi dinamiche
11. Tipico risultato di una analisi sismica che termina con il collasso.
12. Tipico risultato di una analisi sismica che termina senza collasso ma con un danno permanente

**13. Tipico risultato di una analisi sismica che termina senza collasso e senza un (rilevante) danno permanente.**

**14. Esempio di analisi dinamica con smorzamento negli elementi**

## 1. Generalità

Le analisi dinamiche non lineari rappresentano lo strumento di elezione per lo studio di molti problemi di ingegneria strutturale, come analisi sismiche, risposta all'impulso (risposta a esplosioni o urti), risposta transitoria a forzanti dinamiche qualsivoglia.

Il solutore che all'interno del pacchetto Sargon fa la analisi dinamica non lineare, si chiama DYNCURAN, ed eredita molte delle funzionalità del solutore NON LINEARE statico CURAN. Il sistema di equazioni che occorre risolvere è

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}}(t) + \mathbf{C}\dot{\mathbf{u}}(t) + \mathbf{K}_t(t)\mathbf{u}(t) = \mathbf{f}(t)$$

La matrice delle masse  $\mathbf{M}$  è formata con gli stessi comandi che si usano per la analisi modale.

La matrice di smorzamento viscoso  $\mathbf{C}$  viene formata in accordo alle richieste fatte (smorzamento alla Rayleigh, smorzatori concentrati, eccetera).

La matrice di rigidezza tangente  $\mathbf{K}_t$  segue la evoluzione nel tempo del sistema, considerando a scelta sia la non linearità di materiale che quella geometrica, che quella di contatto.

Infine, la forzante  $\mathbf{f}$  è un vettore noto, funzione del tempo.

Nel caso delle analisi sismiche con gli accelerogrammi, detto  $\mathbf{1}_r$  un vettore in cui le componenti valgono 1 per i gradi di libertà traslazionali in r, e 0 tutti gli altri, la precedente equazione diventa

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}}(t) + \mathbf{C}\dot{\mathbf{u}}(t) + \mathbf{K}_t(t)\mathbf{u}(t) = -\mathbf{M}\mathbf{1}_x a_{gx}(t) - \mathbf{M}\mathbf{1}_y a_{gy}(t) - \mathbf{M}\mathbf{1}_z a_{gz}(t)$$

dove  $a_{gx}(t)$ ,  $a_{gy}(t)$  e  $a_{gz}(t)$  sono gli accelerogrammi del terreno nelle tre direzioni della struttura, X, Y e Z.

La analisi dinamica non lineare può essere vista come una analisi statica non lineare nella quale ogni stazione, o caso di carico, corrisponde a un passo temporale  $dT$ , e sia attivo il



load path. In altre parole, ogni caso successivo parte dalla fine del caso (stazione) precedente. Per sua natura, il problema si presenta complicato dal fatto che nelle equazioni compaiono le accelerazioni nodali e le velocità nodali, le quali vengono espresse in funzione degli spostamenti nodali e del passo temporale  $dT$ , per mezzo di opportune relazioni di integrazione nel tempo. Dato che una analisi dinamica può durare decine di secondi, e che i passi temporali devono essere sufficientemente piccoli, è facile che una Time History Non Lineare (THNL) possa avere 500-1000 o più stazioni (casi di carico).

Dato che in campo non lineare non vale il principio di sovrapposizione degli effetti, l'analisi deve sempre cominciare con una configurazione di carichi applicati staticamente, che producono nella struttura il campo di spostamenti, sforzi e deformazioni dai quali si parte per la analisi non lineare. Il modo più comodo per fare ciò, e partire da una struttura che abbia un solo caso di carico (statico) il quale corrisponde alla situazione dei carichi al momento in cui parte la analisi. Tipicamente, nel caso sismico, un caso di carico (generato con il comando [edit casi combina](#)<sup>1077</sup>) che includa i carichi permanenti e i variabili dodati al pertinente (sismico) livello quasi-permanente. Se anziché un caso di carico statico ne è presente più d'uno, il solutore li applica uno dopo l'altro come stazioni con load path, e quindi applica il 2 al termine del 1, e il 3 al termine del 2, sempre partendo dalla configurazione relativa al caso precedente (sforzi, deformazioni, spostamenti).

DYNCURAN farà sì che alla fine della analisi, se NS è il numero di casi di carico statici, e NSTEP è il numero di step dinamici, ci siano NS+NSTEP casi di carico, e NS+NSTEP combinazioni, ognuna delle quali relativa a uno step di carico.

Nel corso della analisi dinamica, essendo i passi temporali piccoli, il programma cerca sempre di convergere applicando lo step  $dT$  nella sua interezza. Se non ci riesce, allora lo suddivide in frazioni più piccole, con gli stessi criteri validi per il solutore non lineare statico. Il parametro di carico "lambda", per una certa stazione, ovvero un certo step di carico, corrisponde a 0 all'inizio della stazione e 1 quando  $dT$  è stato completamente applicato. Un valore  $d\lambda = 0.2$ , implica che si stia muovendo nel tempo di una quantità pari a  $0.2dT$ .

Le analisi dinamiche non lineari sono sensibili alle leggi costitutive dei materiali, e in particolare alla deformazione ultima. Si noti che anche un materiale dichiarato elastico lineare ha una sua deformazione ultima. Il raggiungimento, in una fibra o in un layer (per gli elementi

piastra e membrana), di deformazioni equivalenti pari a quella ultima implica la rottura e quindi la inattivazione da quel momento in poi della fibra/layer. Tale inattivazione è irreversibile. Si noti che di fatto il verificarsi di una tale circostanza è un prodromo diretto del collasso, o per lo meno di uno stato di grandissima sofferenza della struttura. Il valore della deformazione ultima da impostare nella legge costitutiva dipende dal materiale, dalla normativa che si sta usando, o dalle specifiche esigenze dell'analista.

Sono possibili tre diversi tipi di analisi dinamica, che saranno spiegati nelle sezioni successive:

- Analisi sismica singola
- Analisi sismiche multiple
- Analisi dinamiche (singole)

In tutti i casi al termine della analisi ci si trova con centinaia di nuovi casi di carico, e di combinazioni, ognuna delle quali corrispondente a un certo istante di tempo  $t$ . E' facile capire che la gestione di tutti questi "casi di carico" pone considerevoli problemi, per cui non è di fatto possibile scorrere tali casi dal primo all'ultimo. Occorre un approccio totalmente diverso. Tale approccio fa uso delle "curve", vale a dire di file (esterni al modello) con estensione PMC e che possono essere letti da Sargon con il comando [Post-Curve](#)<sup>[1250]</sup>, nei quali sono memorizzate delle curve  $y=f(x)$  che hanno un particolare significato fisico e strutturale. Nel caso delle analisi THNL, tali curve sono:

- Curve in cui  $x$  è il tempo, e  $y$  è una azione interna di un elemento, una deformazione, uno spostamento (velocità o accelerazione) nodale, un interstorey drift, l'energia plastica accumulata nella struttura, la massima deformazione nel modello eccetera.
- Curve in cui  $x$  è una deformazione e  $y$  uno sforzo (per i cicli di isteresi).
- Curve in cui  $x$  è un numero di analisi (nel caso multi sismico) e  $y$  è un indicatore della salute della struttura come il volume plastico o l'interstorey drift, al variare della analisi.

Se le curve vengono appropriatamente richieste (si veda la sezione dedicata) *prima della analisi* esse possono fare la differenza tra un incomprensibile oceano di numeri, e una serie di sensati e utili risultati. Esse, tra l'altro, possono guidare verso gli step di carico più significativi: posizionatisi in quel caso di carico (step), sarà possibile avere tutte le informazioni come spostamenti, azioni interne, stato delle fibre eccetera.

La esecuzione di una THNL avviene preparando il modello preventivamente, e quindi essenzialmente (si consiglia):

- Nel caso delle analisi sismiche tenendo un solo caso di carico statico (carichi permanenti e quasi permanenti) e nessuna combinazione. In alternativa pochi casi che saranno applicati in serie uno dopo l'altro. E nessuna combinazione.
- Nel caso delle analisi dinamiche, tenendo solo un caso di carico statico e tanti casi dinamici quanti sono strettamente necessari, e nessuna combinazione. In alternativa pochi casi statici anziché uno.

A valle di una THNL è possibile rieseguirla, senza bisogno di cancellare i casi di carico e le combinazioni generati automaticamente dalla precedente analisi. Ciò viene fatto automaticamente.

**Attenzione a non chiedere THNL su modelli con combinazioni che ha interesse NON perdere. Di norma, le analisi THNL vengono fatte su una copia del modello originario. In ogni caso, il programma avvisa prima di procedere.**

Si esegue poi il comando [File-Analizza](#)<sup>[617]</sup>, scegliendo Time History Non Lineare. Ciò porta al dialogo [Time History Non Lineare](#)<sup>[640]</sup>.

## 2. I file gestiti dalla analisi dinamica non lineare

Viene creato un file .CUI del tutto identico al file di input per CURAN.

Viene poi creato un file .DNL di input specifico per DYNCURAN.

Nel corso della analisi vengono creati (in aggiunta ai file normali) i file:

. VDB con le velocità nodali (binario)

.ADB con le accelerazioni nodali (binario)

.YOG file di log della analisi (ASCII)

.YOU file di output della analisi (ASCII).

### **3. La modellazione dello smorzamento**

In questa sezione ci si riferisce allo smorzamento viscoso "inerente" e alla presenza di smorzatori viscosi concentrati, i quali entrambi concorrono alla matrice di smorzamento viscoso **C**. Si noti che anche la plasticizzazione comporta dissipazione di energia e perciò smorzamento, ma tale "smorzamento plastico" non è governato dalla matrice **C** bensì dai cicli di isteresi presenti nelle fibre.

Per quanto riguarda lo smorzamento viscoso inerente (ovvero proprio della struttura, non relativo a specifici dispositivi), questo è gestito al momento mediante la modellazione alla Rayleigh, la quale consente di specificare due valori di smorzamento relativo al critico relativi a due periodi diversi. La modellazione alla Rayleigh viene usata per compatibilità con le analisi THM, nelle quali è sostanzialmente usata perché consente il disaccoppiamento dei modi.

Per quanto riguarda gli smorzatori viscosi concentrati (per esempio legati alla interazione suolo-struttura, o relativi a specifici dispositivi accoppiati, ad esempio, ai diagonal di controvento), essi sono gestiti da DYNCURAN, e sono previsti da Sargon dove è possibile associare uno smorzamento sia agli elementi biella che alle molle. Per un esempio di utilizzo degli smorzatori concentrati si veda [la prossima sezione 14](#)<sup>[579]</sup>. La assegnazione degli

smorzamenti agli elementi molla si fa quando vengono aggiunti. La assegnazione dello smorzamento associato a un elemento biella si fa con il comando [Gap e Attrito](#)<sup>874</sup>

#### 4. I tipi di integrazione

Per risolvere il sistema di equazioni differenziali è necessario integrare le equazioni del moto nel tempo. Sono possibili vari metodi, DYNCURAN implementa il metodo di Newmark e il metodo Wilson- $\theta$ .

Il metodo di Newmark dipende da due parametri detti  $\beta$  e  $\gamma$ . Il metodo di Wilson, dipende dal valore di un parametro detto  $\theta$ .

Nel metodo di Newmark, le accelerazioni e le velocità al passo (n+1) vengono fatte dipendere dalle accelerazioni e velocità al passo precedente, n, e dall'incremento incognito dello spostamento da n a n+1 ( $\Delta \mathbf{u}$ ):

$$\ddot{\mathbf{u}}_{n+1} = \frac{\Delta \mathbf{u}}{\beta \Delta t^2} - \frac{\dot{\mathbf{u}}_n}{\beta \Delta t} - \frac{(1-2\beta)}{2\beta} \ddot{\mathbf{u}}_n$$

$$\dot{\mathbf{u}}_{n+1} = \frac{(\beta-\gamma)}{\beta} \dot{\mathbf{u}}_n + \frac{\gamma}{\beta \Delta t} \Delta \mathbf{u} + \frac{(2\beta-\gamma)\Delta t}{2\beta} \ddot{\mathbf{u}}_n$$

A meno che non ci siano buone ragioni, si consiglia di usare il metodo di Newmark con i valori già impostati. Esso risulta migliore e più stabile del metodo di Wilson, che pure è stabile, ma tende a smorzare i modi con periodo breve.

L'argomento è specialistico e non è possibile in questa guida trattarlo approfonditamente. Per avere maggiori ragguagli si rimanda ai testi:

**Crisfield M. A., Non-linear Finite Element Analysis of Solids and Structures, Volume 2: Advanced Topics, John Wiley & Sons, 1997**

**Bathe K. J., Finite Element Procedures, Prentice Hall, 1996**

**Chopra A., Dynamics of Structures, Prentice Hall, 2001**

**Clough R. W., Penzien J., Dynamics of Structures, McGraw-Hill, 1982**

## **5. Il passo temporale**

La scelta del passo temporale ( $dT$ , o meglio sarebbe scrivere  $\Delta t$ ), ha importanza perchè influisce da una parte sulla precisione della analisi, dall'altra sulla mole di dati di output e sulla durata della analisi in termini computazionali.

Considerando la decomposizione modale della struttura, si raccomanda che il  $dT$  non sia più grande di  $1/10$  del periodo dei modi che si considerano importanti per la struttura. Dato che spesso i modi dominanti sono intorno a 0.8-1.5 secondi, il  $dT$  non dovrebbe mai essere più grande di 0.08-0.15 sec.

Il valore correntemente usato, che rappresenta un buon compromesso tra le esigenze opposte è 0.05, ovvero 5 centesimi di secondo. Ciò implica 200 passi ogni 10sec di analisi. In certi casi, può essere opportuno però usare un passo minore. Se ad esempio si studia un impulso della durata di  $1/100$  di secondo, non ha molto senso usare un passo 5 volte più grande. Con passi molto piccoli, può avere senso ridurre la durata della analisi. Nel caso delle analisi sismiche, tenendo presente che la durata di un segnale è di solito intorno ai 30 secondi (600 passi con  $dT=0.05$ ), ma può anche facilmente arrivare ai 50, il valore 0.05 sembra mediamente appropriato. Spesso la campionatura degli accelerogrammi ha passo sensibilmente inferiore, come  $1/100$  sec, o  $5/1000$ . Ciò è positivo in quanto fare una analisi con un  $dT$  pari o inferiore alla campionatura della forzante, porta a considerevoli errori.

Ovviamente, casi particolari richiedono valori diversi. Strutture che abbiano periodi più lunghi e per le quali la durata debba protrarsi per molte decine di secondi, o strutture con periodi brevi che siano sollecitate impulsivamente per periodi di tempo brevissimi. Il valore  $5/100$  deve essere considerato puramente indicativo.

Lo studio della sensitività dei risultati della analisi al passo temporale  $dT$ , può aiutare a confermare la bontà della scelta fatta. Invece, in presenza di variazioni significative (magari esplorate nei primi secondi della analisi), il passo dovrà essere ridotto. Anche in presenza di forti escursioni plastiche e di sofferta convergenza, la riduzione del passo temporale può molto aiutare. Se si vede che nel corso di una analisi la parte difficile da sostenere per la struttura è tra 12 e 16 secondi, si può ad esempio ripetere la analisi con una durata di solo 20 secondi ma passo dimezzato.

## 6. Impostazioni delle non linearità

La impostazione del calcolo non lineare si fa con lo stesso identico dialogo che usa anche il solutore CURAN. Valgono quindi tutte le osservazioni fatte nella sezione [Come fare Analisi non lineari con il solutore CURAN](#)<sup>[213]</sup>, con alcune specificità ed eccezioni, che sono le seguenti.

- Nelle analisi non lineari dinamiche è sempre per definizione attivata la opzione "load path", indipendentemente da cosa si scelga.
- Ogni stazione rappresenta un istante diverso, che differisce dal precedente e dal successivo per  $dT$ . Non ha quindi molto senso dividere la stazione in step eguali come si fa per i casi di carico statici. Il solutore dinamico DYNCURAN utilizza quindi sempre un passo iniziale pari all'intero  $dT$  e lo riduce automaticamente in funzione della difficoltà a convergere (diminuzione automatica ampiezza passo). Ha quindi importanza il "desiderato numero di iterazioni" per la scelta automatica della drasticità della riduzione/aumento, dello step di carico  $d\lambda$  all'interno del passo temporale  $dT$ . Inizialmente  $d\lambda = 1$ , e quindi  $dT$ . Se non si riesce a convergere (sulla base delle tolleranze indicate) allora si usa  $d\lambda$  minore di 1, e  $d\lambda dT$ .
- Nel corso della analisi viene indicato sempre l'istante corrispondente alla stazione esaminata. Tutte le analisi partono da un tempo (convenzionale) negativo per accomodare la parte

statica, l'istante 0 corrisponde alla fine della parte statica. Poi gli istanti saranno  $dT$ ,  $2dT$ ,  $3dT$ , e così via.

## 7. L'utilizzo delle curve

Come detto l'utilizzo delle curve aiuta enormemente nella interpretazione dei risultati di una THNL.

Ci sono due insiemi di curve: quelle che sono aggiunte sempre e quelle che si riferiscono ai nodi e agli elementi (trave e biella) selezionati nel serbatoio 3 all'atto della esecuzione della analisi.

Sono sempre aggiunte:

1. La curva che dà il volume elastico di travi e bielle in funzione del tempo. Se tale volume non varia la struttura resta in campo elastico (nelle bielle e travi).
2. La curva che dà il volume plastico di travi e bielle in funzione del tempo. Per "volume plastico" si intende il volume di materiale in travi e bielle che, in un certo istante, è nella situazione "loading" ovvero sul luogo plastico. Tale volume può diminuire se il materiale rientra in campo elastico con uno scarico (unloading).
3. La curva che dà la il volume di materiale dichiarato "rotto" in funzione del tempo.
4. La curva che dà la percentuale di volume plastico sul totale in funzione del tempo.
5. L'indicatore dello stato di salute della struttura "HEALTH EPS" in funzione del tempo. Si tratta della massima deformazione negli elementi trave e biella, in un certo istante. Si considera il massimo al variare degli elementi.
6. L'indicatore dello stato di salute della struttura "HEALTH IDR" in funzione del tempo. Si tratta del massimo interstorey drift letto nella struttura, istante per istante. L'IDRIFT dipende dai nodi selezionati nel serbatoio 3: tipicamente si selezionano tutti i nodi di un certo allineamento verticale. Il programma tiene sotto controllo le coppie di nodi posti al piano successivo. L'IDRIFT è inteso come composizione vettoriale dei DRIFT in direzione X e Y, ovvero è la radice quadrata della somma dei due quadrati, drift  $X^2$  e drift  $Y^2$ . Se ade



esempio sono selezionati 8 nodi, ci saranno 7 coppie di nodi monitorati, e, il massimo IDRIFT tra i sette, in ogni istante verrà plottato. E' naturalmente possibile selezionare anche più allineamenti.

Per ogni nodo selezionato nel serbatoio 3 sono aggiunte le seguenti curve:

1. Traslazione X, Y, Z in funzione del tempo.
2. Rotazione X, Y, Z in funzione del tempo.
3. Velocità traslazionali e rotazionali X, Y, Z in funzione del tempo.
4. Accelerazioni traslazionali e rotazionali X, Y, e Z in funzione del tempo.

Per ogni biella selezionata nel serbatoio 3 sono aggiunte le seguenti curve:

1. Percentuale di volume plastico e percentuale di volume rotto in funzione del tempo.
2. Azione assiale in funzione del tempo.
3. Deformazione in funzione del tempo
4. Sforzo in funzione della deformazione.

Per ogni trave selezionata nel serbatoio 3, sono aggiunte le seguenti curve:

1. Massima deformazione al variare di tutte le fibre componenti, in funzione del tempo.
2. Percentuale di volume plastico in funzione del tempo.
3. Percentuale di volume rotto in funzione del tempo.
4. Rotazione del primo estremo e del secondo estremo in funzione del tempo.
5. N, T2, T3, M1, M2, M3 al primo estremo in funzione del tempo.
6. N, T2, T3, M1, M2, M3 al secondo estremo in funzione del tempo.

Le curve sono salvate in un file con estensione PMC al termine della THNL, e sono leggibili con il comando [Post-Curve](#)<sup>1250</sup>.

## 8. Analisi sismiche singole

Un primo modo di usare il solutore dinamico non lineare è eseguire analisi sismiche singole. Per fare queste analisi occorre scegliere da 1 a 3 accelerogrammi ([dialogo Time History Non Lineare](#)<sup>640</sup>) tra quelli memorizzati nella struttura per mezzo del comando di importazione [Edit-Azioni-Accelerogrammi](#)<sup>1045</sup>.

- Se si sceglie un solo accelerogramma questo sarà applicato in una sola direzione scelta dall'analista (o X, o Y, o Z).
- Se si scelgono due accelerogrammi, questi devono essere ondulatori (non marcati Z, sussultori) secondo due direzioni ortogonali tra loro. Devono inoltre appartenere al medesimo evento (naturale o simulato). In questo caso è solo possibile specificare come direzioni di applicazione alla struttura la X e la Y. I segnali saranno trasformati vettorialmente alle direzioni della struttura X e Y, noto che sia l'angolo formato dall'asse X della struttura con l'angolo dell'asse geografico WE. Ad esempio, la direzione Nord è +90°, la direzione Sud è +270° (l'angolo è positivo se antiorario).
- Se si scelgono tre accelerogrammi, una tripletta, di questi segnali, tutti riferiti al medesimo evento, uno deve avere direzione verticale, Z, gli altri due devono rispettare le stesse condizioni del punto precedente, e sono allo stesso modo convertiti alle pertinenti direzioni X e Y della struttura.

Va infatti osservato che quando vengono letti e importati gli accelerogrammi, questi hanno una certa direzione, definita, appunto, rispetto all'asse geografico WE. Specificare l'angolo dell'asse X *della struttura* ha sempre importanza, ma naturalmente ne ha una particolare quando si facciano analisi sismiche simulando diversi scenari sismici. In questo caso, la congiungente il sito con la faglia (ammesso un meccanismo di rottura puntuale), detta direzione

radiale, o Strike, ha una direzione diversa da scenario a scenario, da faglia a faglia. E' stato dimostrato mediante un corposo insieme di analisi numeriche, che la orientazione mutua dell'edificio e dei segnali è fondamentale al fine di cogliere appropriatamente gli effetti sismici.

Per approfondimenti si veda:

[Come saperne di più del metodo neodeterminitico](#)  <sup>475</sup>


[Come affrontare le analisi sismiche coi segnali](#)  <sup>483</sup>

[Come utilizzare EDEM \(Elastic Deformation Energy Maximization\)](#)  <sup>503</sup>

[Come gestire l'involuppo dei segnali](#)  <sup>553</sup>

## 9. Analisi sismiche multiple in cascata

In questo caso il programma lancia DYNCURAN molte volte una dopo l'altra, allo scopo di eseguire due o più analisi sismiche dinamiche non lineari (tipicamente alcune decine, ma il programma è stato usato per lanciare sino a 400 analisi sismiche in cascata).

Quante analisi, e con quali segnali, è determinato da quanti e quali segnali sono stati selezionati mediante il [comando Edit-Azioni-EDEM](#)  <sup>1051</sup>, prima della analisi.

Come nel caso precedente, è possibile usare segnali singoli (un segnale = una analisi), applicati in una delle tre direzioni; coppie di segnali (due segnali relativi allo stesso evento, in direzioni tra loro ortogonali e selezionati = una analisi); o triplette di segnali (tre segnali relativi allo stesso evento, uno in direzione Z, due in direzioni ortogonali tra loro, tutti e tre selezionati = una analisi). Ad esempio se si sono selezionati 300 segnali a triplette, e si usa X, Y e Z, saranno esaminati 100 eventi diversi.

Il programma alla fine lascerà il modello nello stato congruente con la ultima analisi (casi e combinazioni).

Tuttavia, e questo è molto importante, avrà anche creato un file con delle speciali curve, che, analisi per analisi, monitorano gli indici di salute della struttura, in modo da avere poi una idea di quali simulazioni (eventi) siano le peggiori per la struttura in esame. Le curve sono dunque curve del tipo Health = Health(event) e consentono di comprendere quali siano le THNL più

indicative per la struttura in esame. Per i dettagli su come sia chiamato il file con le curve, e su cosa contengano le curve, si veda il dialogo [Time History Non Lineare](#)<sup>[640]</sup>.

Inoltre, per ogni analisi eseguita, viene creato e salvato il file .PMC con tutte le curve tipiche della singola analisi sismica: questo consente di tracciare quanto è avvenuto in ogni analisi con grande dettaglio, senza il bisogno di memorizzare tutti gli step delle N analisi lanciate (che porterebbe ad avere troppi casi salvati nel modello, ad esempio 50 analisi con 800 passi comporterebbero 40 mila casi).

Se tali analisi vengono lanciate dopo aver ordinato i segnali, le coppie di segnali, o le triplete di segnali, in ordine di energia elastica [di deformazione incassata massima](#)<sup>[1055]</sup> mediante il [comando EDEM](#)<sup>[1051]</sup>, di regola si vede con sufficiente ma non assoluta regolarità che gli eventi analizzati per primi sono i più severi, mentre quelli analizzati per ultimi sono i meno severi.

**Attenzione: in funzione della dimensione del modello, la MULTI analisi sismica può implicare tempi di calcolo lunghi o lunghissimi.**

## 10. Analisi dinamiche

Per analisi dinamiche si intendono analisi nelle quali alla struttura siano applicate forze funzione del tempo. In Sargon queste forze devono essere descritte mediante uno o più casi di carico che ricevano la etichetta "DINAMICO", e a essi viene associata una certa funzione del tempo  $t$ . (si veda il comando [Edit-Azioni-Casi-Aggiungi](#)<sup>[1069]</sup> e il dialogo [Funzione del Tempo](#)<sup>[1071]</sup>).

Tutti i casi dinamici sono applicati contemporaneamente, a partire dall'istante  $t=0$ . Se ad esempio al caso L3 è associata la funzione  $f(t)$  e al caso L4 la funzione  $g(t)$ , la analisi dinamica andrà ad applicare  $L3f(t) + L4g(t)$ .

Sono tipici problemi che richiedono analisi dinamiche:

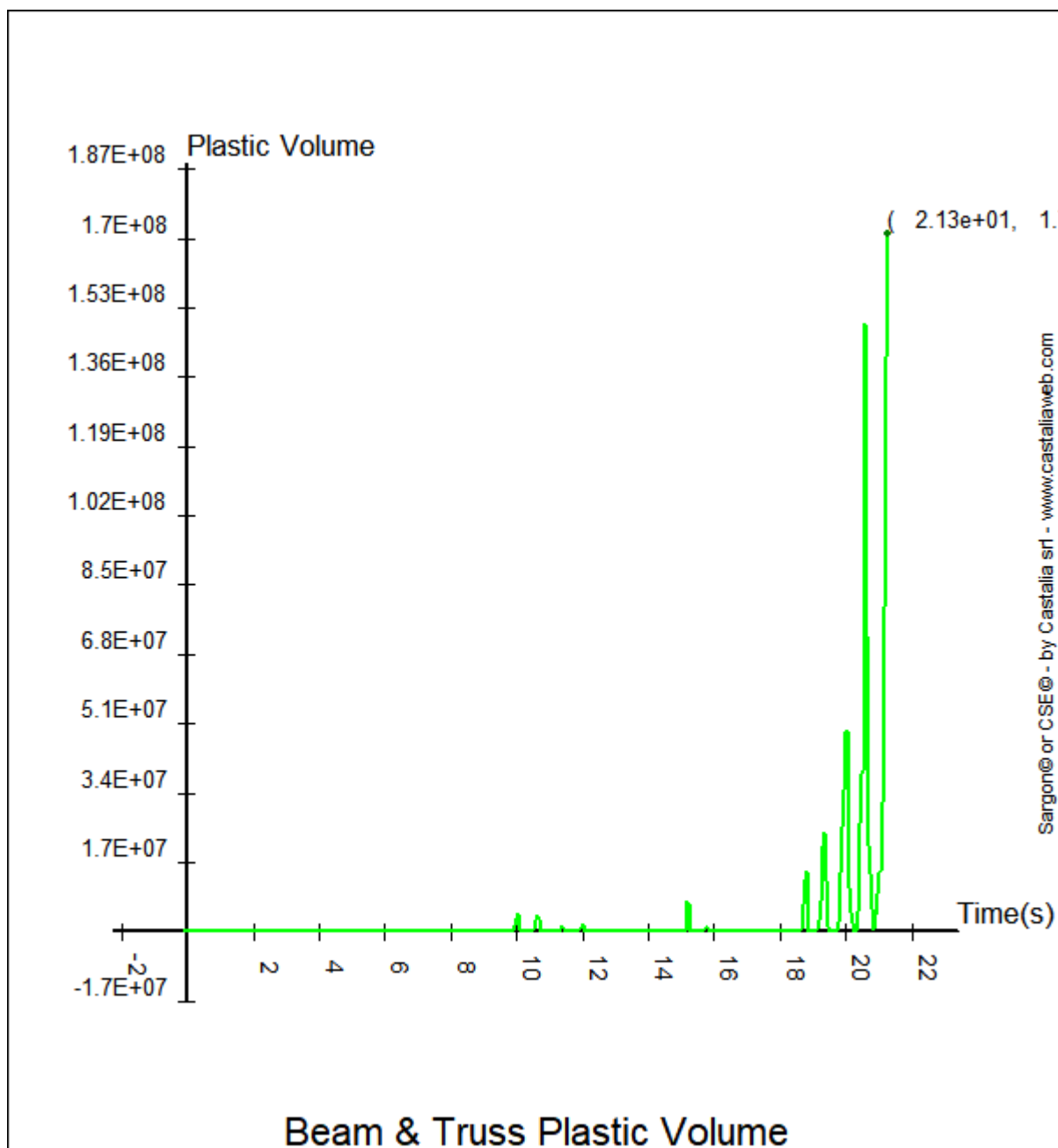
- Risposta all'impulso (urti, esplosioni)
- Risposta al gradino (improvvisa applicazione di forze che restano poi costanti)

- Forzante armonica causata da masse rotanti eccentriche (macchine in quota o su fondazioni)
- Transitori di avvio o spegnimento di macchine
- Raffiche di vento
- eccetera

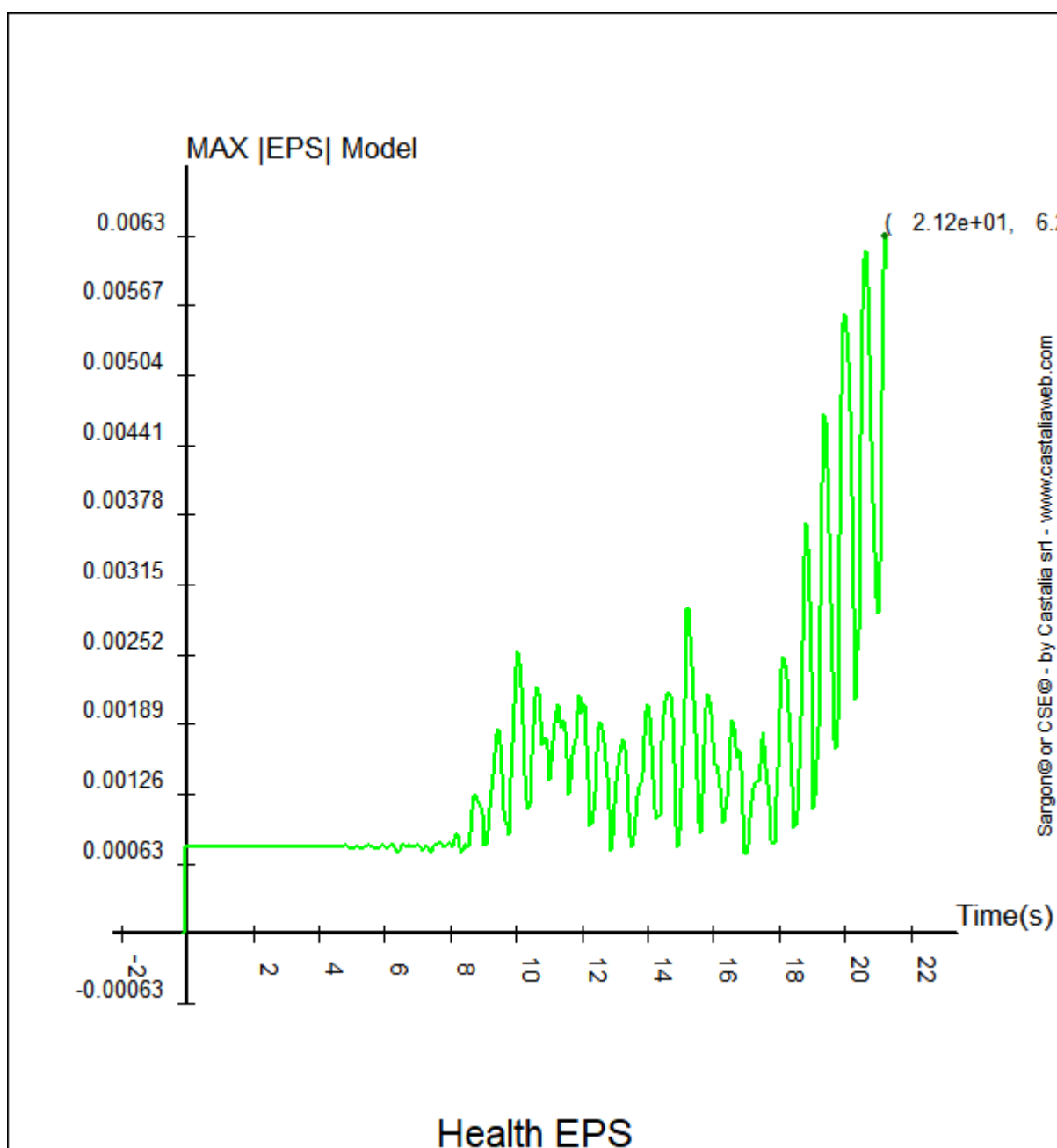
Si tenga presente, nel definire le  $f(t)$  che la THNL comincia sempre invariabilmente al tempo  $t=0$ .

### **11. Tipico risultato di una analisi sismica che termina con il collasso.**

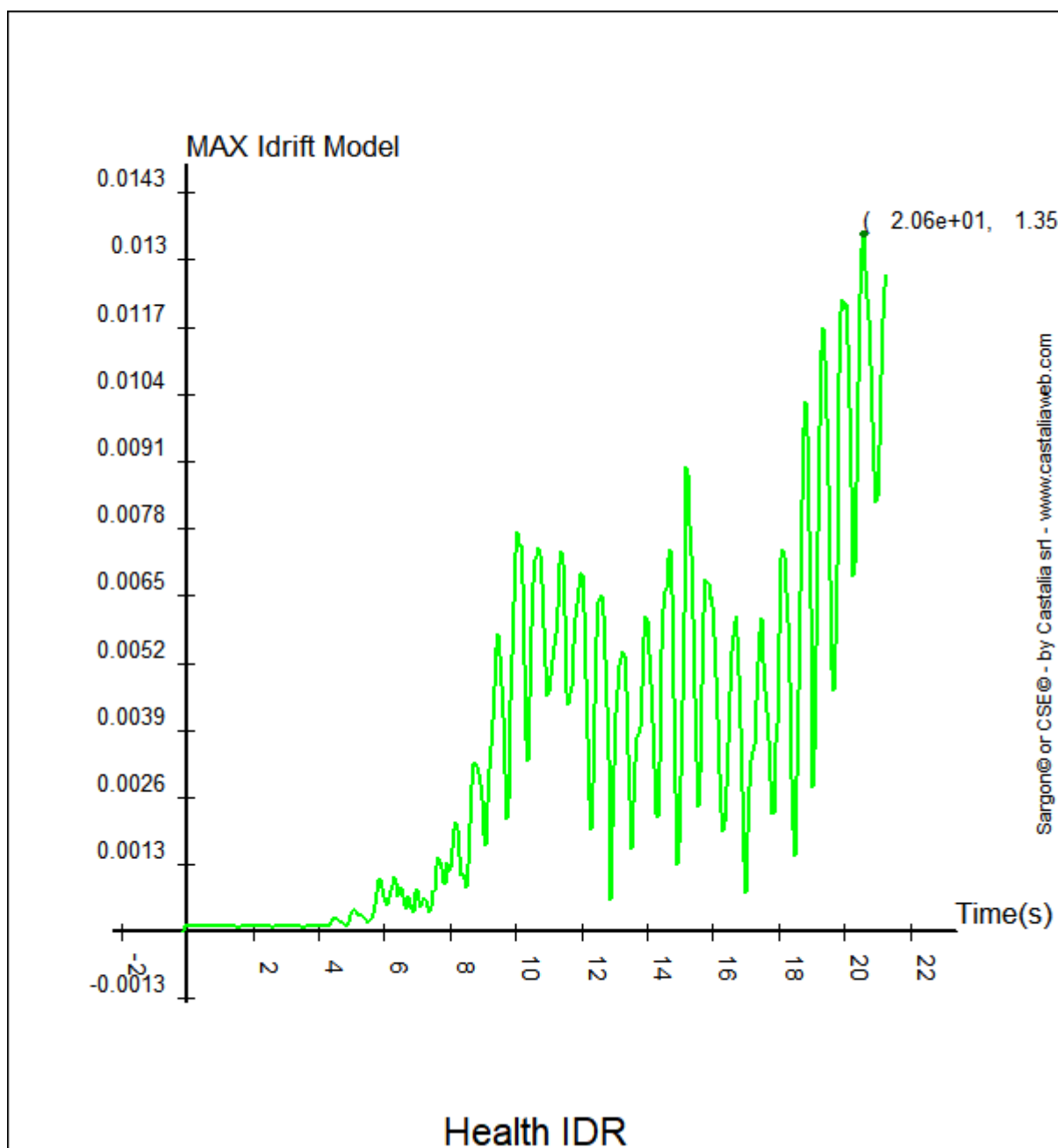
Si mostrano alcune immagini relative a una analisi che non è terminata a causa del collasso della struttura, causato dalla rottura improvvisa di qualche elemento strutturale fondamentale.



**Figura 1. Volume plastico in funzione del tempo**



**Figura 2. Massima deformazione nelle fibre del modello al variare del tempo**



**Figura 3. Massimo interstorey drift nel modello al variare del tempo**

Nelle tre figure si vede che la analisi non è arrivata a termine. Il volume plastico è in fase di rapido accrescimento, e così la massima deformazione e l'interstorey drift. L'analisi si

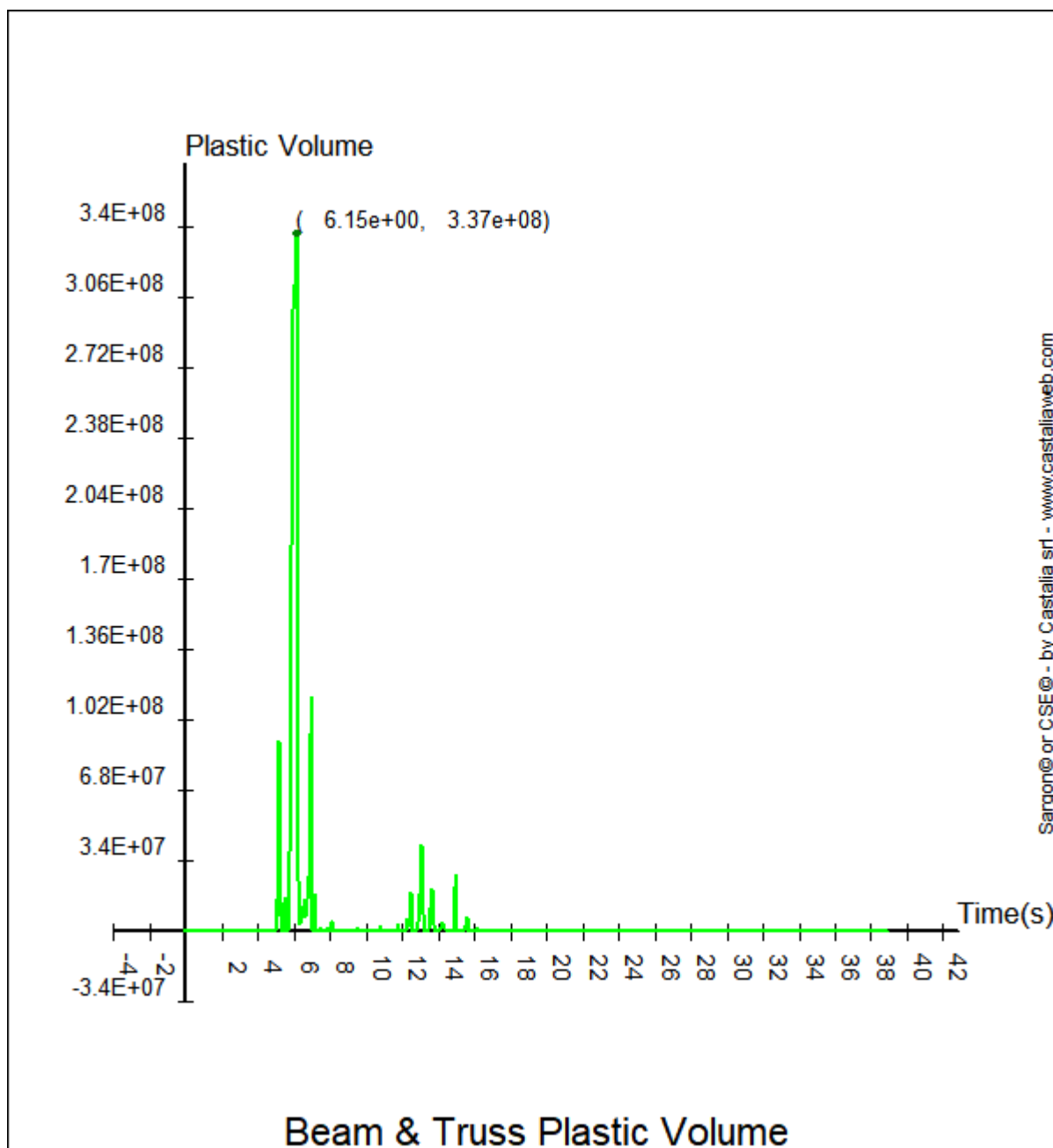


---

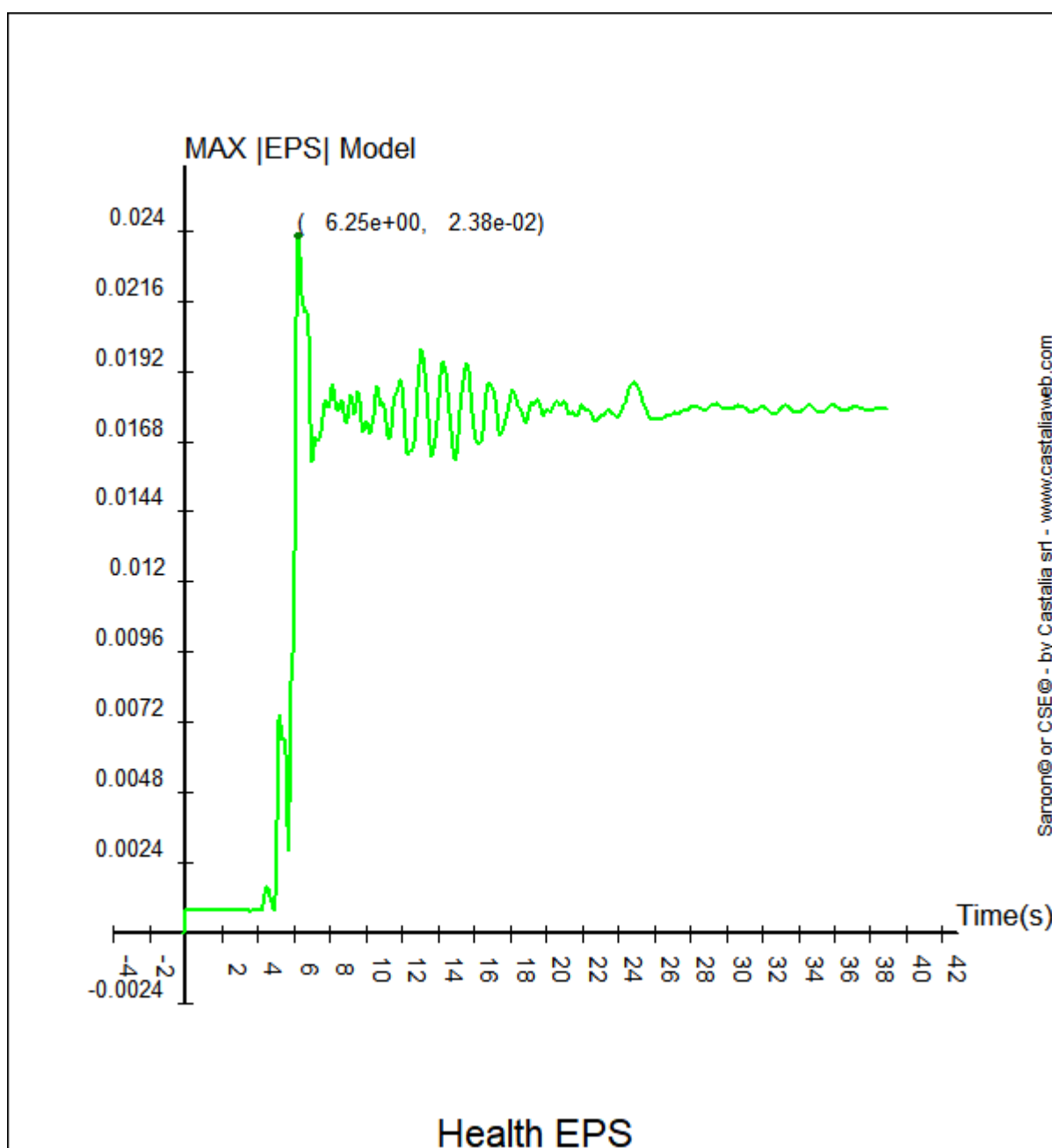
interrompe bruscamente, perché lo step successivo implica la rottura di fibre e la impossibilità di convergere sul residuo nullo.

## **12. Tipico risultato di una analisi sismica che termina senza collasso ma con un danno permanente**

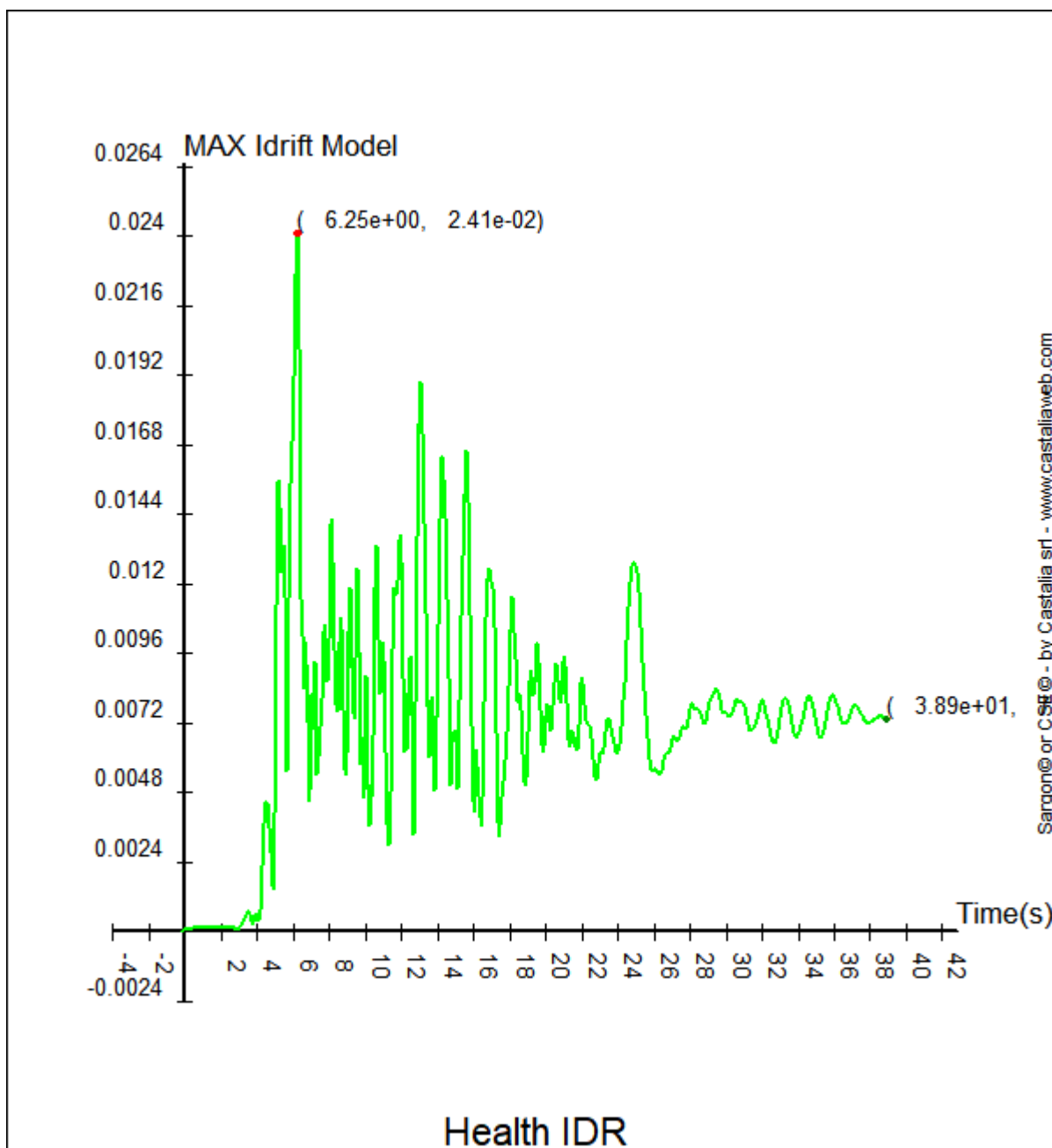
Si mostrano alcune immagini relative a una analisi che è terminata senza il collasso della struttura, ma lasciandola permanentemente e significativamente danneggiata.



**Figura 4. Volume plastico in funzione del tempo**



**Figura 5. Massima deformazione nelle fibre in funzione del tempo**



**Figura 6. Massimo interstorey drift al variare del tempo**

In questo caso, la analisi è arrivata a termine, dopo aver passato delle fasi di plasticità significativa e di lenta convergenza.

In particolare, **Figura 4**, il massimo volume che in un certo istante è stato nella condizione "loading" (ovvero sul luogo plastico), in tutti gli elementi, è pari a  $3.37e8 \text{ mm}^3$ , vale a dire 0.33 metri cubi. Ciò avviene a 6.15 secondi dall'inizio della analisi. Si noti come ci siano altri picchi, ma meno pronunciati, e come poi al termine della analisi il volume plastico sia nullo. Ciò non vuole dire, come vedremo, che non ci siano deformazioni plastiche permanenti, ma solo che tutte le fibre sono rientrate in campo elastico e non si trovano sul dominio limite, in una condizione che tecnicamente è detta "loading".

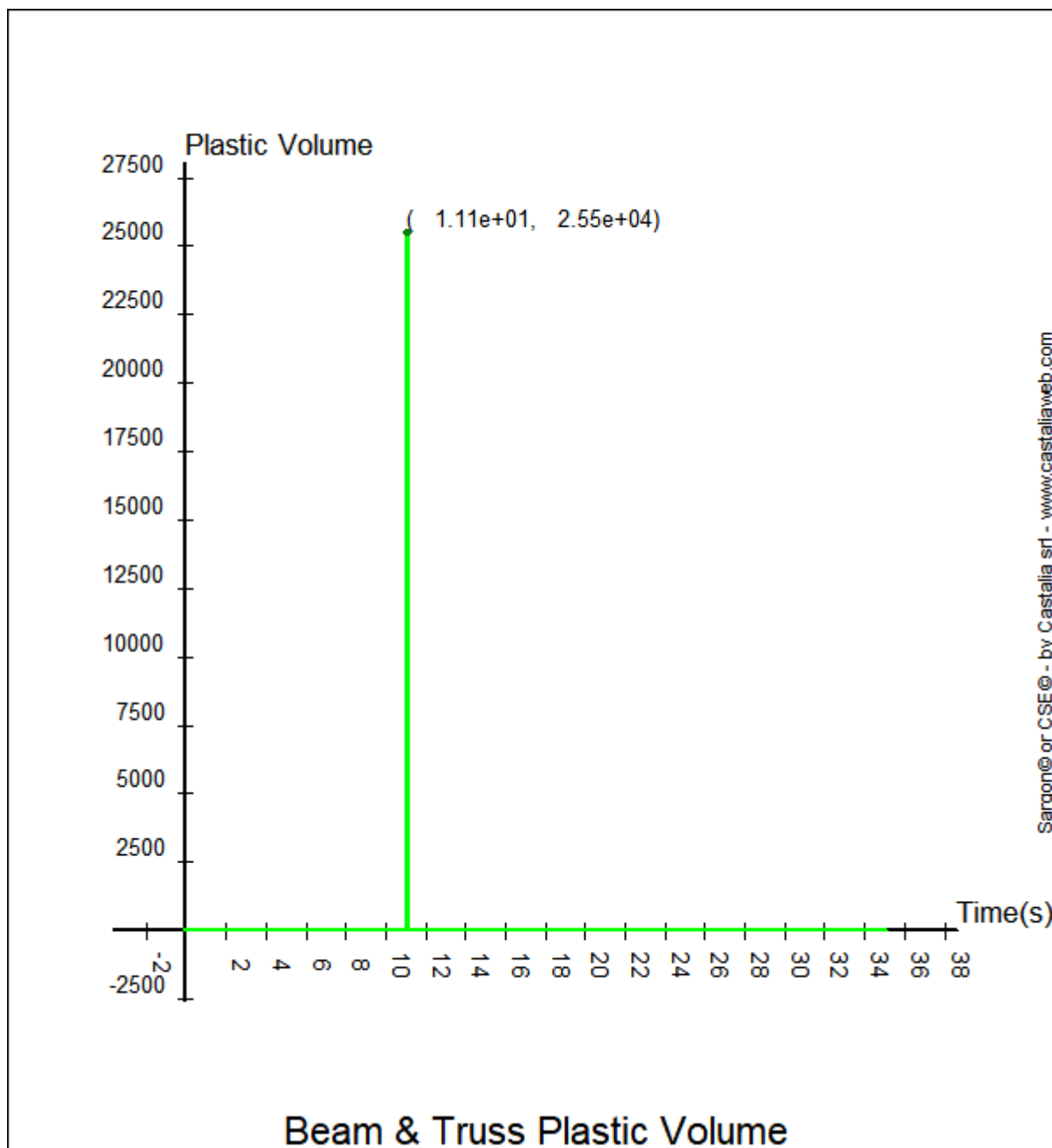
Interessantissime, per il loro valore di "firma" di danno permanente, sono le due curve successive.

Nella prima, **Figura 5**, si vede la massima deformazione (totale) nelle fibre del modello. Qui, il picco, prossimo ma non oltre la deformazione ultima impostata in questo modello (2.53%), è a 6.25 secondi, ovvero 1/10 di secondo dopo il momento in cui era massimo il volume plastico, e vale 0.0238, 2.38%. Nello scorrere il campo plastico, qualcosa è andato in "unloading" ritornando alla fase elastica cosicchè il picco di volume è diminuito significativamente ( $2.45e7 \text{ mm}^3$  a  $t=6.25 \text{ sec}$ ). In questo esempio il materiale era elastico perfettamente plastico. Al termine della analisi, al secondo 38.9, nel modello resta una deformazione pari a 1.78%, ben al di là, circa 10 volte di più, della deformazione allo snervamento pari a  $\varepsilon_y = 355/210000 = 1.69 \text{ e-}3 = 0.169\%$ .

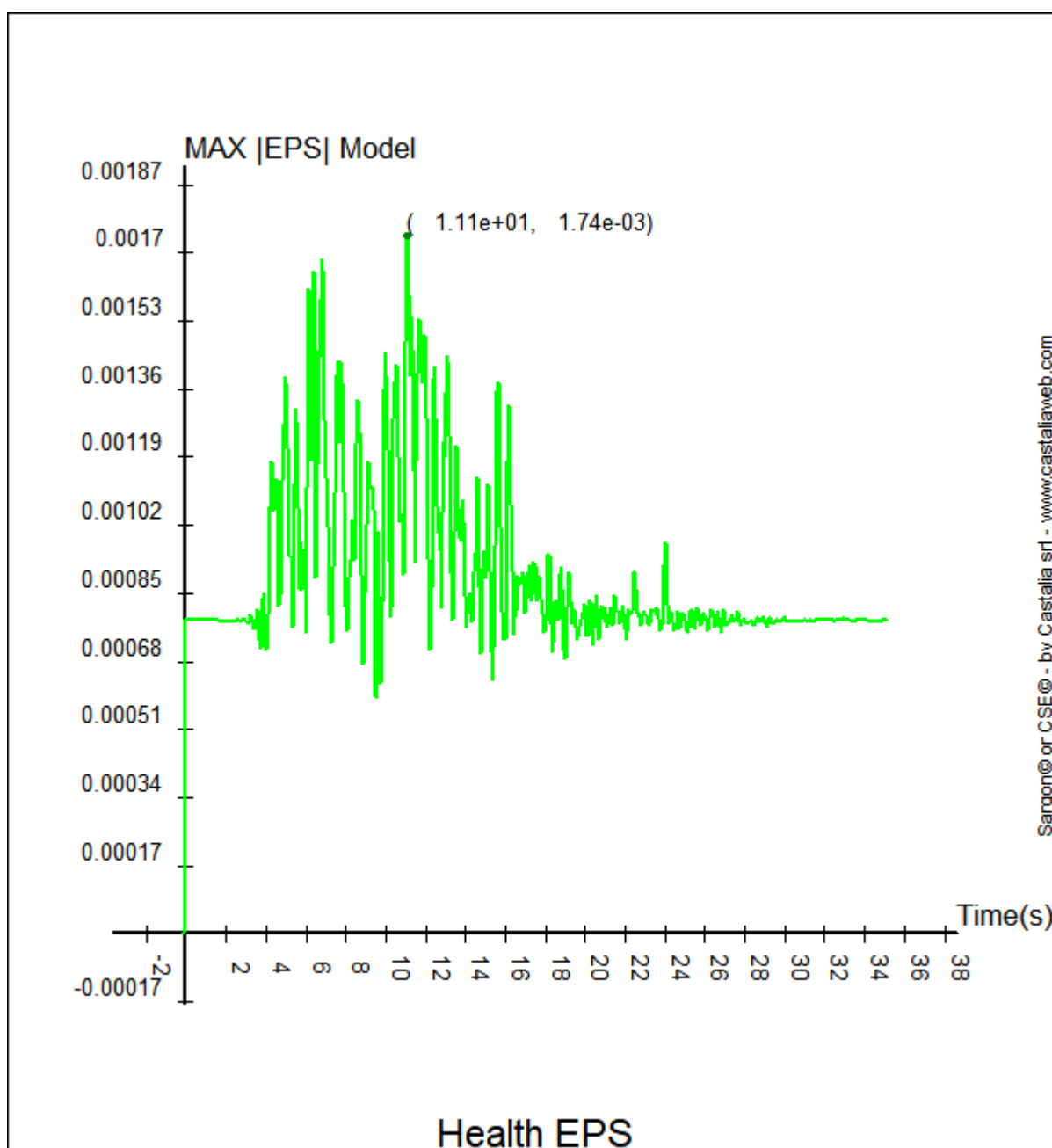
Nella **Figura 6**, si vede bene l'andamento del massimo Interstorey Drift al variare del tempo, e, soprattutto, si vede che al termine della analisi resta un danno permanente, ovvero la struttura non è più dritta ma ha una deformazione permanente alla quale è associato un massimo interstorey drift pari a  $7.3e-3$ . Ciò vuol dire che su 4m di interpiano si avrebbe uno spostamento permanente di 29.2mm, circa 3cm. Si noti anche come il massimo Interstorey Drift avvenga proprio quando è massima la deformazione, all'istante 6.25. In quell'istante l'IDRIFT valeva  $2.41e-2$ , che, su un interpiano di 4m, corrisponde a uno spostamento di 96.4 mm, quasi 10cm.

### **13. Tipico risultato di una analisi sismica che termina senza collasso e senza un (rilevante) danno permanente.**

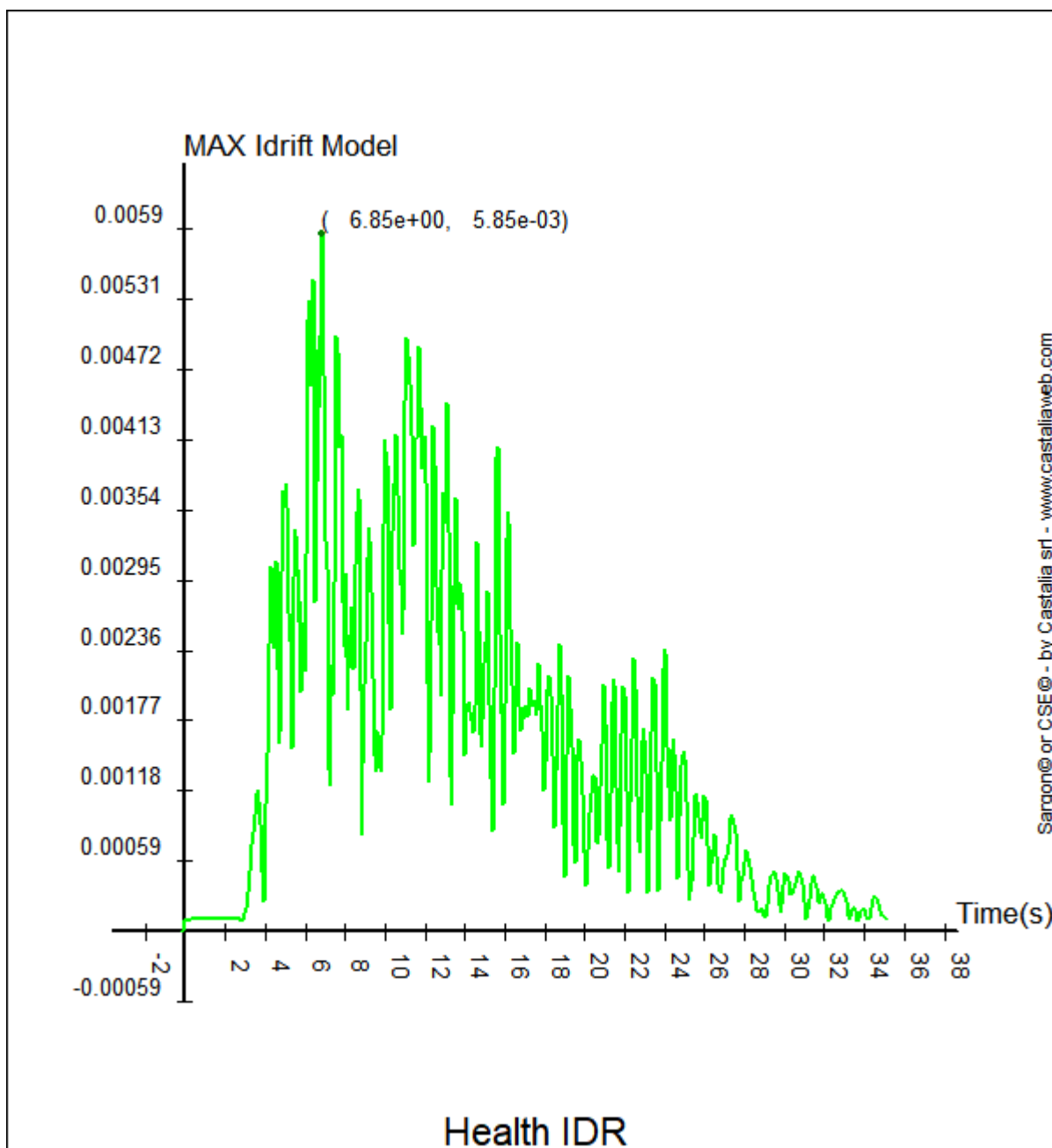
Si mostrano alcune immagini relative a una analisi che è terminata senza il collasso della struttura, e senza danni significativi.



**Figura 7. Volume plastico in funzione del tempo**



**Figura 8. Massima deformazione nelle fibre in funzione del tempo**



**Figura 9. Massimo interstorey drift al variare del tempo**

Anche in questo caso, la analisi è arrivata a termine.



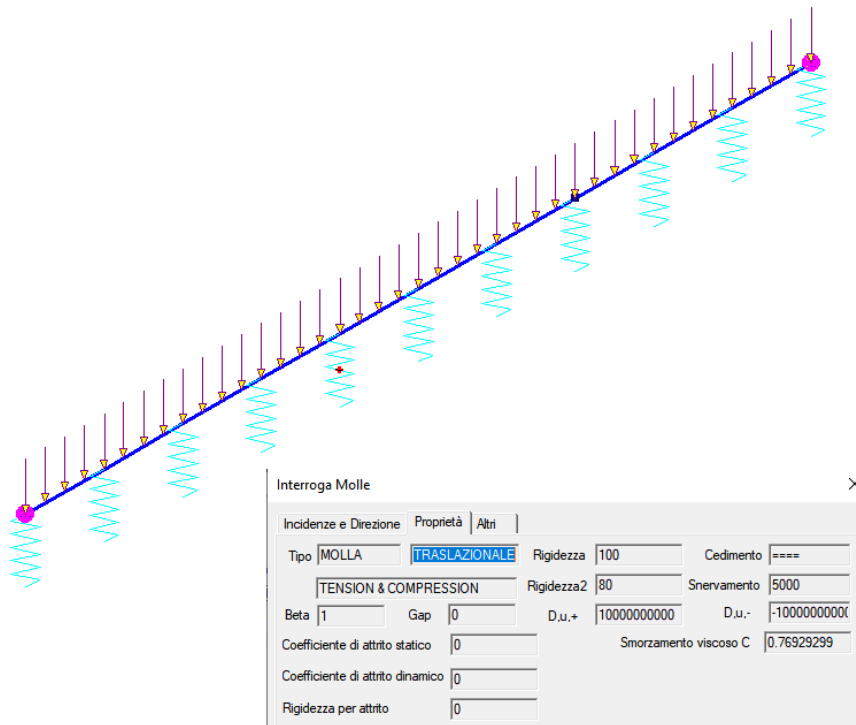
Nella **Figura 7**, si vede che il volume plastico si mantiene sempre nullo, ad eccezione di un breve istante in cui raggiunge un valore puntuale di  $2.55e^4 \text{ mm}^3$ , vale a dire  $25.5\text{cm}^3$ . Si tratta quindi di un fatto sostanzialmente insignificante per la struttura.

Nella **Figura 8**, si vede come la massima deformazione nel modello sia pari a  $1.74e-3$ , che corrisponde a una tensione elastica pari a  $365.4 > f_y$ . In effetti questa deformazione è al di là dello snervamento, e rappresenta una modesta plasticizzazione (la tensione è in realtà  $355 \text{ MPa}$ ). L'istante corrisponde a quello di massimo volume plastico. Si noti che al termine della analisi la massima deformazione torna al valore iniziale, che è  $7.81e-4$ , al quale corrisponde una tensione massima pari a  $164\text{MPa}$ .

Analogamente, nella **Figura 9**, si vede che il massimo Interstorey Drift torna al valore iniziale, che è un valore molto basso e compatibile con carichi orizzontali praticamente nulli. Questo vuole dire che la struttura è sostanzialmente rimasta in campo elastico e che non ha subito danni permanenti dall'evento simulato (con una tripletta di accelerogrammi).

## 14. Esempio di analisi dinamica con smorzamento negli elementi

In questa sezione si fa vedere un esempio di analisi dinamica, con molti elementi (molla) ai quali è stato dato, oltre a una rigidità, anche uno smorzamento viscoso. Il problema è studiato per essere a molti gradi di libertà ma al tempo stesso assimilabile a un problema di oscillatore semplice soggetto a oscillazioni forzate, con smorzamento viscoso.

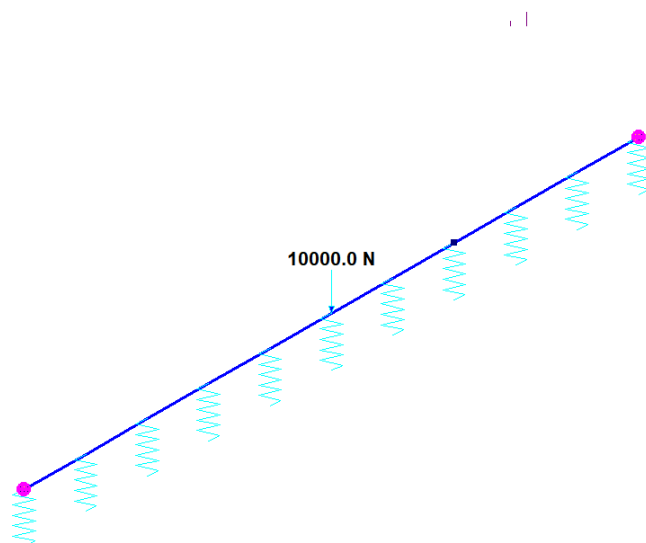


Data una asta divisa in 10 parti, essa abbia un peso di 3628.56N, corrispondente a una massa di 369.8837 Kg. L'asta è adagiata su un letto di molle relativamente cedevoli, aventi una rigidezza complessiva di 1.000.000 N/m=1.000N/mm. La oscillazione propria del sistema si ottiene come

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K}{M}} = \sqrt{\frac{1000000}{369.883}} = 51.9956 \text{ rad/sec}$$

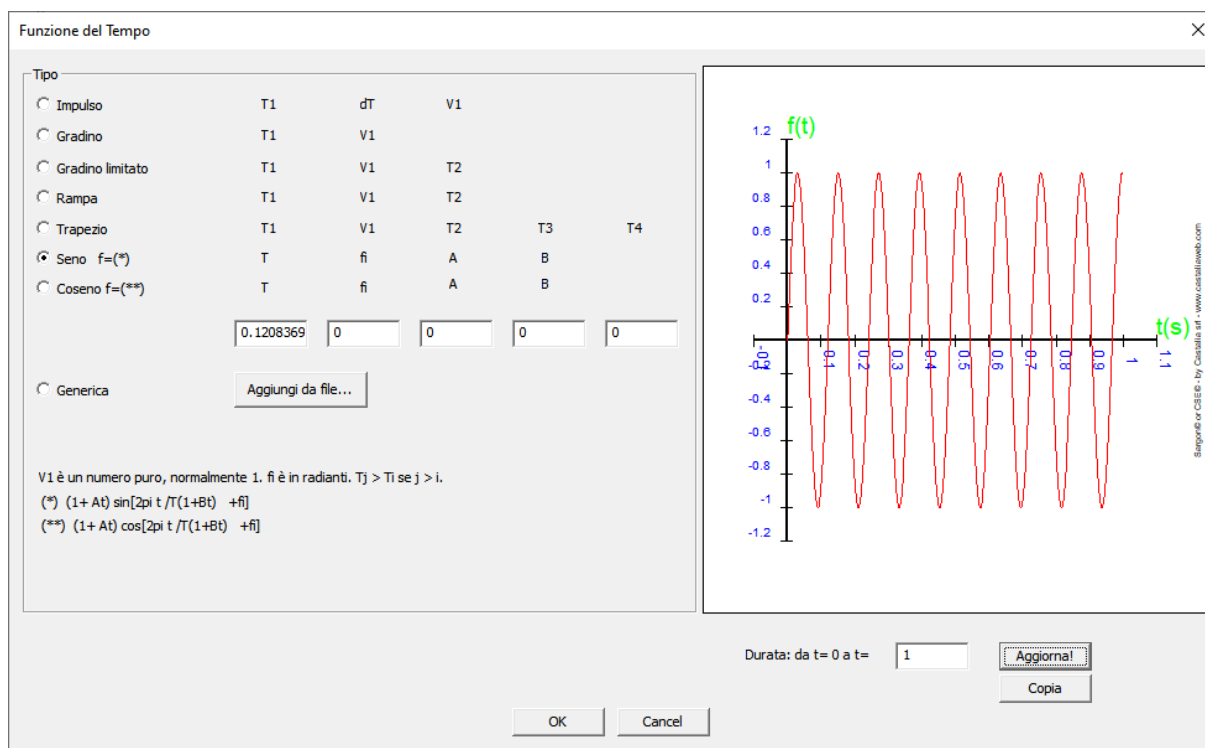
$$T_n = \frac{2\pi}{\omega_n} = 0.1208369 \text{ sec}$$

Nel primo caso di carico mettiamo solo il peso proprio. Nel secondo caso di carico, etichettato "DINAMICO" mettiamo 10.000N in mezzeria.



a srl - www.castaliaweb.com - ver. 15.92 February 6-2025 - sn.100000

Associamo a questa forza  $F$  una funzione sinusoidale del tempo  $f(t)$  avente lo stesso periodo proprio della struttura, e quindi in risonanza (sarà dunque applicata  $F f(t)$ ):



La forza messa al centro e il letto di molle cedevole implicano un atto di moto periodico puramente traslatorio verso il basso. Scegliamo di applicare uno smorzamento relativo al critico del 20%, il che implica uno smorzamento  $C$  pari a:

$$C = 2M\omega_n\nu = 2 \cdot 369.88 \cdot 51.9956 \cdot 0.2 = 7692.9299 \text{ Nsec/m} = 7.6929299 \text{ Nsec/mm}$$

Nota la rigidezza complessiva e lo smorzamento complessivo dell'oscillatore, si può calcolare la rigidezza delle molle interne dividendo per 10, e quella delle molle esterne dividendo per 20. Analogamente per lo smorzamento. Se si lavora in N, mm, sec, si ottiene

$$K_{\text{int}} = 100 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$K_{\text{ext}} = 50 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$C_{\text{int}} = 0.76929299 \frac{\text{N sec}}{\text{mm}}$$

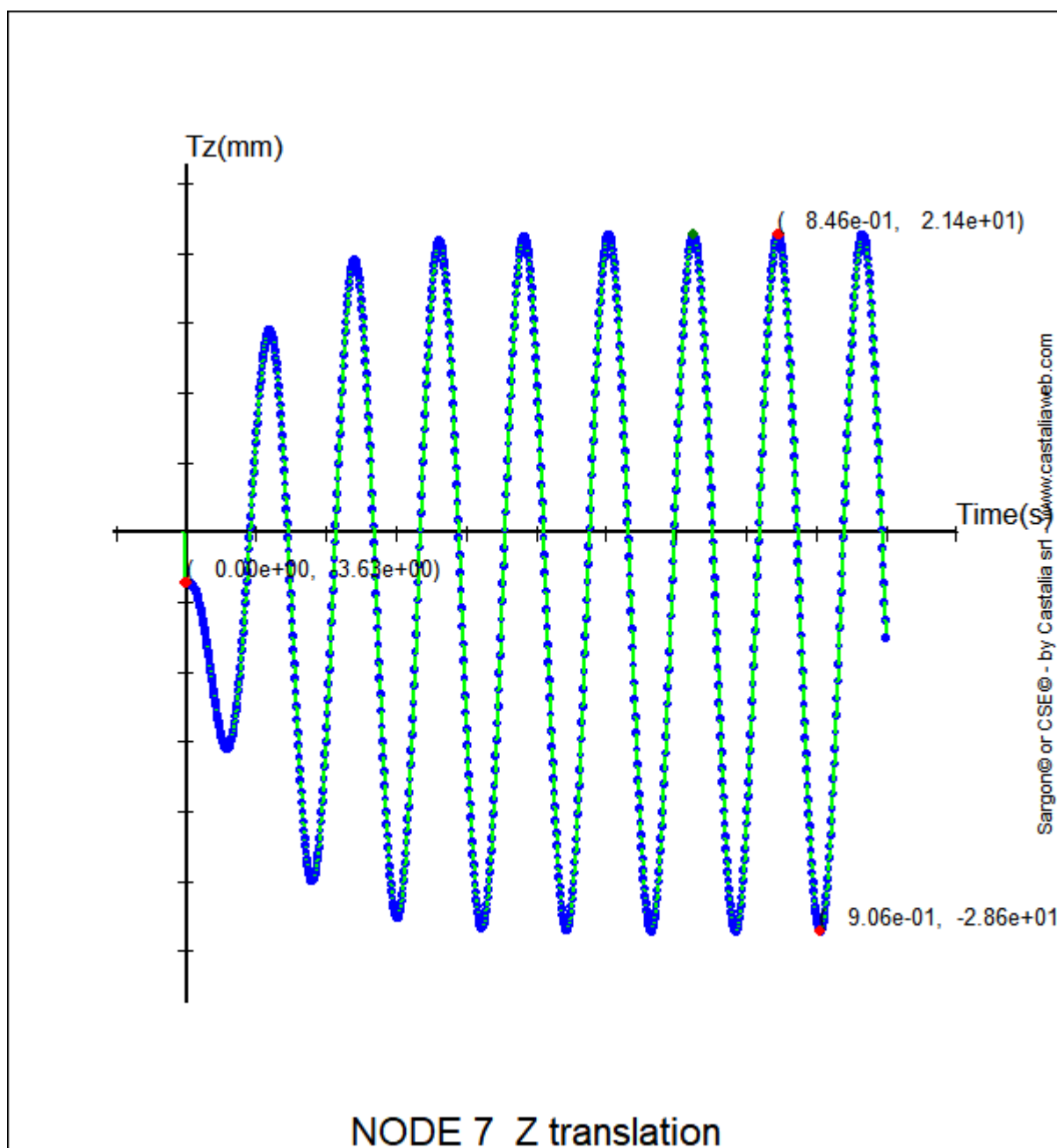
$$C_{\text{ext}} = 0.384646498 \frac{\text{N sec}}{\text{mm}}$$

Applicando tali valori di rigidezza e smorzamento alle singole molle, si ottiene una rigidezza K e uno smorzamento C pari a quelli complessivi (si veda la interrogazione dell'elemento biella). Come è noto dalla teoria, la risposta a una oscillazione forzata armonica in risonanza con la frequenza propria, amplifica la risposta statica per un fattore Q pari a

$$Q = \frac{1}{2\nu} = \frac{1}{2 \cdot 0.2} = \frac{1}{0.4} = 2.5$$

Nel nostro caso la risposta statica è data da  $F/K = 10.000/1000 = 10$  mm. Ne consegue che dovremmo trovare oscillazioni forzate, passato il transitorio, con ampiezza 25 mm. Il periodo di tali oscillazioni forzate coincide con il periodo della forzante.

Eseguita la analisi dinamica non lineare, avendo però impostato un comportamento lineare, con  $dT=0.001$  sec e  $\Delta T=1$ sec, si ottiene per lo spostamento nel nodo iniziale la seguente curva funzione del tempo:




Si vede che:

- Dopo un periodo transitorio, le ampiezze si stabilizzano e la differenza tra massimo e minimo è  $(21.4+28.6)=50 = 2 \times 25$ . Quindi è confermata la amplificazione del fattore 2.5 sul valore dello spostamento applicato staticamente.
- Il lasso di tempo corrispondente a un semi-periodo è pari a  $(0.906-0.846)=0.06 = T/2$ , nei limiti delle cifre significative disponibili.

- L'andamento è sinusoidale, e si stabilizza come predetto dalla teoria.
- Lo spostamento corrispondente alla applicazione del carico statico, corrispondente al tempo  $t=0$ , è pari a  $3628.56 \text{ N} / 1000 \text{ (N/mm)} = 3.628 \text{ mm} \rightarrow 3.63 \text{ mm}$ .
- Analoghi spostamenti hanno il nodo in mezzzeria e alla altra estremità, a conferma che il movimento è traslatorio.

Una analisi di questo tipo non si sarebbe potuta fare con la time history modale, perché, a causa della presenza di smorzatori concentrati, di fatto sovrapposti alle molle, il sistema non sarebbe stato disaccoppiabile. Invece, con la integrazione diretta del sistema, e il corretto assemblaggio alla matrice di smorzamento **C** dei contributi degli elementi, il sistema è stato risolto.

## 2.43 Come usare il formato IFC

A partire dalla versione 16.40 (Dicembre 2025) Sargon mediante il comando [File-Esporta](#)  può esportare un file in formato IFC, sia nella versione IFC2x3 che nella versione IFC4x3.

In sintesi, il file che viene creato contiene due diversi modelli:

- un modello analitico, che serve a trasferire quanto più è possibile del modello agli elementi finiti. L'uso di tale modello analitico serve alla creazione di un modello di calcolo strutturale agli elementi finiti.
- un modello fisico, che serve a dare una rappresentazione geometrica, il più possibile fedele, del modello analitico.

Al momento in cui si scrive, il modello analitico (che tipicamente fa uso delle primitive `IFCSTRUCTURALCURVEMEMBER`, `IFCSTRUCTURALSURFACEMEMBER`), non sembra essere gestito da nessun programma tra quelli maggiormente diffusi.

Ciò indica che la gestione del modello analitico tramite IFC non ha trovato consensi, e che di fatto IFC è inutilizzato a questo scopo. Dato che le cose potrebbero in futuro cambiare, e dato che Sargon è un programma di analisi strutturale, sembra corretto consentirgli di esportare IFC analitici, anche se al momento non solo sembrano non esistere programmi strutturali che li leggano, ma non esistono neppure visualizzatori. Se il file IFC contiene solo il modello analitico e non quello fisico, non si vedrà nulla. Ciò, anche utilizzando gli stessi esempi di Building Smart.

Al momento, la versione 16.40 di Sargon esporta in IFC (modello analitico) le seguenti sue primitive:

- Nodi
- Vincoli
- Molle
- Materiali
- Sezioni trasversali di tutti i tipi gestiti da Sargon con la temporanea eccezione dei profili a doppio L e a 4 L accoppiati.
- Spessori per le piastre e membrane.
- Elementi biella.
- Elementi trave (non ancora i nodi semirigidi).
- Svincoli di elementi trave.
- Offset rigidi di elementi trave.
- Molle se orientate come gli assi X, Y o Z..
- Elementi membrana.
- Elementi piastra
- Casi di carico.
- Combinazioni.
- Forze e coppie nodali.
- Carichi uniformemente distribuiti.
- Carichi termici (solo IFC 4x3).

La trasformazione degli elementi analitici in elementi dotati di rappresentazione geometrica (modello fisico), segue le seguenti regole:

- Elementi beam orizzontali: IFCBEAM
- Elementi beam vertical: IFCCOLUMN
- Altri elementi beam: IFCMEMBER
- Elementi truss: IFCMEMBER
- Elementi membrana o piastra con materiale avente  $E > 50000 \text{ MPa}$ ,  $50 \text{ GPa}$ , sempre IFCPLATE. Si presume infatti siano metalli.
- Elementi membrana o piastra con piano orizzontale: IFCSLAB
- Elementi membrana o piastra con piano verticale: IFCWALL
- Altri elementi membrana: IFCROOF
- Elementi molla: nessuna rappresentazione
- Elementi solidi: al momento, nessuna rappresentazione

## 2.44 Come fare le verifiche sul calcestruzzo armato

A partire dalla versione 18.00 rilasciata nel Luglio 2026, Sargon integra i comandi e le funzionalità che un tempo erano poste nel modulo esterno RCSTUDIO.

E' quindi ora possibile definire le armature delle membrature in calcestruzzo armato, ed eseguire le verifiche agli stati limite e alle tensioni ammissibili.

Il percorso da seguire si descrive con le seguenti tappe:

1. Ultimare il calcolo FEM e le eventuali verifiche di elementi in acciaio e legno, nonché la stress analysis. Definire quindi la struttura definitiva.
2. Cercare le membrature con [l'apposito comando](#)<sup>[1270]</sup>.
3. [Aggiungere le armature](#)<sup>[1271]</sup> alle membrature di interesse.



4. [Aggiungere il calcestruzzo](#)<sup>[1292]</sup> e [l'acciaio](#)<sup>[1294]</sup> da usare per le verifiche alle membrature di interesse.
5. [Impostare le verifiche](#)<sup>[1235]</sup> desiderate.
6. [Eseguire le verifiche](#)<sup>[1239]</sup>.
7. [Esaminare i risultati](#)<sup>[593]</sup> e se del caso [aggiungere o modificare le armature](#)<sup>[1287]</sup>.
8. [Produrre i disegni DXF](#)<sup>[1296]</sup>.
9. Produrre il tabulato OOO, già creato dalle verifiche, come risultato.





Nell'uso del programma vanno tenuti presenti i seguenti punti dirimenti:

- a) Il programma considera le armature sempre reagenti e non si occupa di ancoraggi.
- b) Il programma gestisce solo armature rettilinee longitudinali.
- c) Il programma verifica per (N, M2, M3) ma non considera taglio e torsione.
- d) Il programma lavora con sezioni generiche e armature generiche, con posizionamento libero sulla sezione.
- e) Il programma esegue i calcoli alle tensioni ammissibili e agli stati limite.
- f) Agli SL il programma calcola sia la risposta alle sollecitazioni che la risposta al limite ottenuta amplificando le sollecitazioni.
- g) Il programma si avvalve del modulo esterno RCSHAPE che esegue la verifica su un insieme di sezioni, per un insieme di casi di carico che corrispondono alle combinazioni del combi set attivo al momento della esecuzione delle verifiche.
- h) Le sezioni per RCSHAPE sono estratte automaticamente dal modello Sargon da Sargon stesso.

Ai seguenti liink, che puntano a sottosezioni di questo documento, ulteriori approfondimenti.

[Come ottenere il modello a membrature desiderato](#)<sup>[588]</sup>

[Come aggiungere le armature](#)<sup>[591]</sup>

[Come eseguire le verifiche](#)  593  
[Come ottenere e interpretare i risultati](#)  600  
[Come avere i disegni delle armature](#)  602  
[Come interpretare il tabulato](#)  603

## Come...ottenere il modello a membrature desiderato

Per *membratura* intendiamo un elemento prismatico avente sezione costante, composto nell'ambito della modellazione FEM da un certo numero di elementi finiti che devono necessariamente soddisfare le seguenti proprietà:

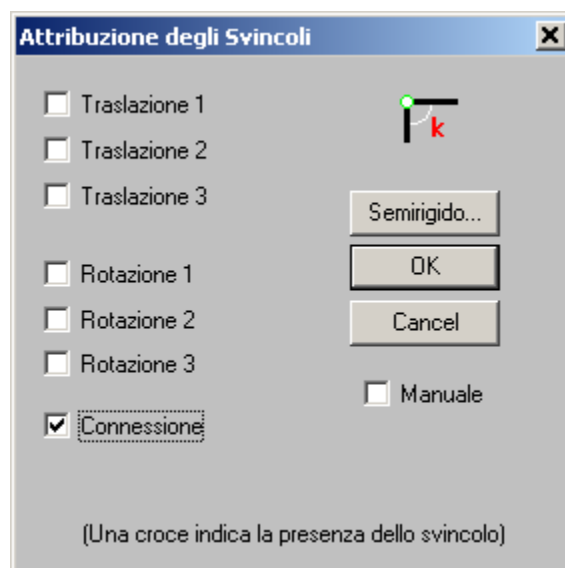
- Essere o tutti travi o tutti bielle
- Essere allineati
- Avere la stessa sezione
- Avere terzo nodo identico (rotazione del profilo identica)
- Avere lo stesso materiale
- Non avere alcuno svincolo reale al proprio interno (cerniere, pattini o altro)

Il soddisfacimento delle regole predette può portare ad avere membrature non desiderate, nel senso che vi sono situazioni nelle quali possono essere decodificate membrature che invece, pur essendoci continuità strutturale, sono composte da tratti distinti e quindi da membrature fisicamente diverse.

E' classico l'esempio della colonna passante che riceve travi passanti anch'esse perché incastrate nella colonna.

In assenza di alcuno svincolo si può distinguere la situazione di:

- Trave passante e colonna passante (solo c.a., non acciaio né legno: in CSE questa situazione non è ammissibile, in SARGON sì)
- Trave passante e colonna interrotta
- Colonna passante e trave interrotta
- Colonna interrotta e trave interrotta



**Sargon: come applicare una sconnessione fittizia, “segno di connessione”**

Per imporre delle soluzioni di continuità ad una linea d’asse che sarebbe altrimenti ininterrotta, e generare quindi più membrature là dove il programma potrebbe aggiungere una membratura unica, si possono aggiungere in Sargon dei “segni di connessione”, vale a dire delle sconnessioni fittizie, le quali non vengono in alcun modo tenute in conto nel calcolo, così da lasciare ininterrotte da svincoli le linee d’asse, ma delle quali invece si tiene conto allorché in CSE (Connection Study Environment, per le strutture in acciaio) o in RCSTUDIO (Reinforced Concrete STUDIO per le strutture in conglomerato cementizio armato), si abbia a ricostruire automaticamente un *modello a membrature* da un *modello a elementi finiti* (Sargon) o da un *modello a rami* (Cesco Plus, ma in realtà i rami altro non sono che elementi finiti).

Il prodotto della decodifica automatica del modello agli elementi finiti (FEM) è un modello a membrature, ed in SARGOn per il c.a. si lavora con membrature, non più con gli elementi finiti.

Beneinteso, il modello agli elementi finiti resta ben presente e tutte le informazioni necessarie a ricostruire i corretti posizionamenti ed il corretto stato di sforzo sono gestite automaticamente da SARGON che, nota che sia una certa posizione sulla membratura, ricostruisce in modo automatico quale elemento finito interessi ed in quale sua ascissa adimensionale locale.

Sebbene il concetto di *membratura* sia affine al concetto di *superelemento*, vi sono importantissime differenze.

Infatti in una membratura può soltanto essere prismatica e solo con sezione, materiale ed orientazione costante, là dove ai fini delle verifiche è possibile fare uso di “superelementi” o membrature non prismatiche.

Ne consegue che i superelementi in Sargon non vengono letti né impiegati per il c.a..

Il modo migliore per controllare come il programma abbia decodificato il modello FEM e creato il modello a membrature è, nei casi più semplici, cliccare sulle membrature selezionandole e deselectandole, in modo da vedere qual è la lunghezza loro attribuita dal programma. Nei casi più complessi è possibile selezionare per mezzo di box molte membrature per volta o interrogare il programma per conoscere il numero di membrature decodificate, e paragonare poi tale numero con quello effettivamente atteso.

Le visualizzazioni consigliate per le membrature sono quelle ad esse relative:  
[Membrature](#)<sup>[706]</sup>, [Solidi Membrature](#)<sup>[707]</sup>, [Solidi Trasparenti Membrature](#)<sup>[707]</sup>.

Un modo sicuramente interessante per eseguire le verifiche sulle membrature escludendo i tratti rigidi terminali (sede di picchi di momento non sempre realistici), consiste nel fare in modo che nel modello FEM i tratti terminali rigidi abbiano una sezione (rigida e fittizia) diversa dalla sezione adoperata per gli elementi finiti interni: in questo modo si è sicuri che gli elementi rigidi vengano decodificati come membrature diverse e quindi che questi tratti possano essere esclusi dal calcolo. In alternativa, è possibile adoperare la stessa sezione ma applicare agli estremi dei tratti rigidi dei “segni di connessione” che impongano la soluzione di continuità e quindi conducano a membrature differenti. Si ricorda che è possibile spezzare molti elementi per volta (comando Splitta) in due tratti diseguali, ed è quindi facilmente possibile generare un modello che abbia agli estremi tratti rigidi.

Le membrature che corrispondono ai tratti estremali possono facilmente essere scartate dalle verifiche: basterà non attribuire loro alcuna armatura. Analogo ragionamento vale per tutte quelle membrature che, o perché realizzate con profili in acciaio, legno o altro materiale, o perché semplicemente non interessano, debbano essere scartate dalle verifiche stesse.

## Come...aggiungere le armature

Il modello di armatura presentemente gestito è costituito da barre longitudinali diritte estendentisi parallelamente all'asse della membratura da un dato punto iniziale ad un dato punto finale all'interno della membratura. Al limite le barre possono estendersi per tutta la lunghezza della membratura.

Per definire l'armatura delle varie membrature sono disponibili una serie di comandi che consentono di scegliere e posizionare i ferri nel modo preferito.

La rappresentazione dell'armatura è fatta in modo wireframe o in modo solido. Delle varie viste che possiede Sargon (modi di rappresentare la struttura) due al momento sono quelle nelle quali è possibile vedere le armature: la [vista solida trasparente](#)<sup>[707]</sup> e la [vista sezionale](#)<sup>[708]</sup>.

I comandi per aggiungere o modificare le armature si trovano sotto il menu Elementi.

Un primo comando serve ad aggiungere le stesse armature a molte membrature tutte con la medesima sezione (tipicamente una serie di membrature eguali). Si tratta del comando [Struttura-C.A.-Aggiungi Armature](#)<sup>[1271]</sup>. In questo caso le armature vengono aggiunte a quelle già presenti sulle varie membrature. Si possono aggiungere le stesse armature a molte membrature per volta perché tutte queste membrature hanno la stessa sezione: è questo che garantisce un posizionamento univoco.

Un secondo comando pensato per consentire l'aggiunta e la modifica delle armature è il comando [Struttura-C.A.-Modifica Armature](#)<sup>[1287]</sup>, che consente funzionalità più di dettaglio ma che, proprio per questo, può funzionare solo su una singola membratura. Questo comando consente di modificare o aggiungere le armature esistenti su una unica membratura tenendo contemporaneamente sotto controllo sia la vista globale che la vista locale. Il comando consente di posizionare le armature sulla sezione in modo alfanumerico, in modo guidato o in modo grafico, mediante la traslazione di barre singole.

Le armature possono essere posizionate secondo vari schemi:

- Barre singole con posizionamento libero
- File di barre eguali parallele a un lato
- Insiemi di barre giacenti su una circonferenza a passo angolare costante

In fase di aggiunta il programma controlla che le barre siano posizionate all'interno della sezione e che le barre non si sovrappongano.

Oltre ai comandi precedenti, è possibile cancellare tutte le armature presenti sulle membrature selezionate ([Elimina tutte le armature](#)<sup>[1291]</sup>), ed è possibile fare in modo che un certo

numero di membrane venga ad avere le armature di una data membratura scelta cliccandoci sopra ([Pick-Armature](#)<sup>[1291]</sup>).

## Come...eseguire le verifiche

Per verifiche al momento si intende la ordinata esecuzione di calcoli fatti a livello di singole sezioni, per tutte le combinazioni di carico definite nel modello FEM, combi set attivo. Il comando è [Post-Calcestruzzo Armato-Verifica!](#)<sup>[1239]</sup>

Nella versione attuale Sargon non esegue verifiche a taglio né a torsione. Le verifiche di cui si parla sono quindi verifiche a presso o tensoflessione deviata, alle tensioni ammissibili ed agli stati limite.

Le sezioni possono essere molto molto generali, essendo descritte mediante un vettore di poligonali rappresentanti pieni o vuoti.

Sebbene in alcuni casi particolari sia possibile pervenire ad algoritmi di verifica relativi al taglio ed alla torsione, ciò è non è possibile in un contesto generale dove le forme sezionali appartengono a tipologie così ampie: è allo studio la possibilità di dotare Sargon di algoritmi di verifica per questi casi, non ancora coperti dal programma, e di dotarlo di regole semplificate ove queste risultino applicabili.

Le verifiche sezionali in Sargon sono realizzate dal programma RCSHAPE.

La preparazione dei dati di input, l'interfacciamento con i vari programmi di calcolo e la resa alfanumerica e grafica dei risultati, inclusi i disegni in formato dxf, sono invece realizzati da Sargon.

Il programma può essere impostato per eseguire vari tipi di calcoli:

- Analisi in esercizio in regime fessurato

- Verifiche alle tensioni ammissibili.
- Verifiche agli stati limite in accordo alla norma italiana o europea.

Per “norma italiana” si intende al momento:

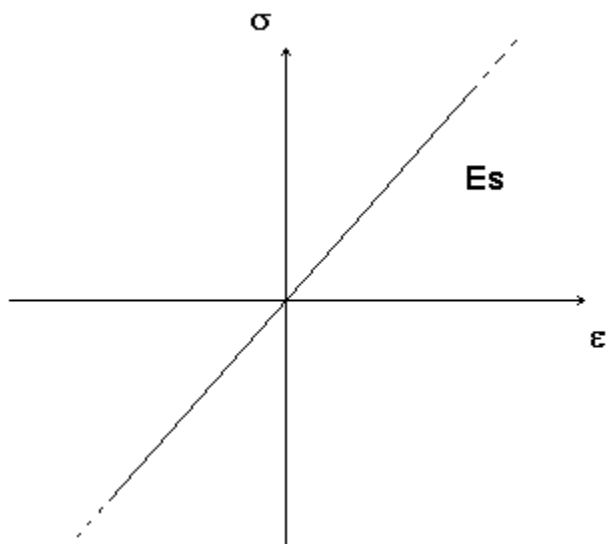
D.M. 9-1-1996 sezioni II e III. “Norme tecniche per il calcolo, l’esecuzione e il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche”

D.M. 17 Gennaio 2018 Norme Tecniche per le Costruzioni

Per “norma europea” si intende al momento:

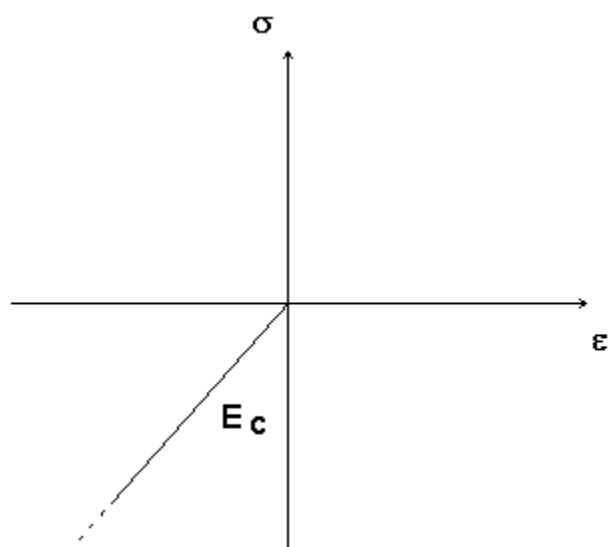
Eurocodice 2, parte 1.

### **Analisi in esercizio in regime fessurato**



Legge costitutiva adottata per l'acciaio

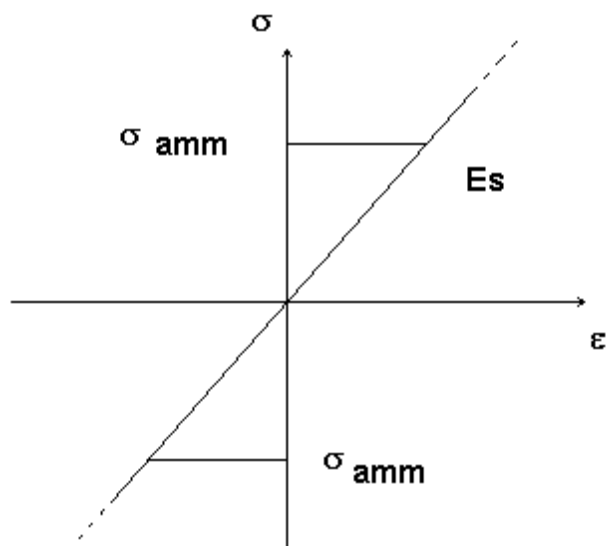




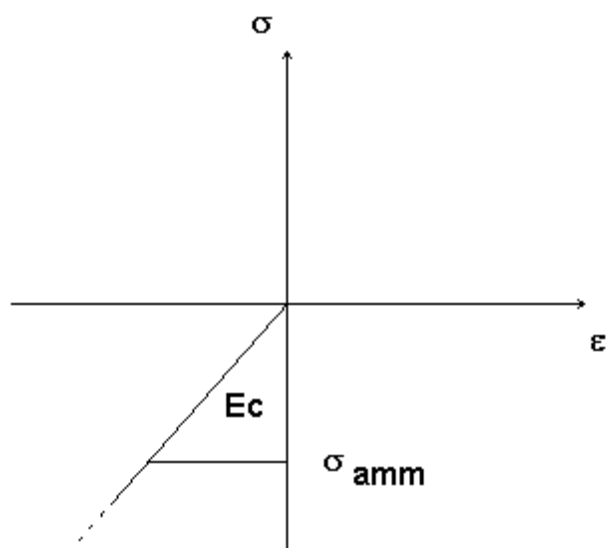
Legge costitutiva adottata per il calcestruzzo

Sono analisi del tutto simili a quelle per le tensioni ammissibili, e utilizzano la teoria elastica con coefficiente di omogeneizzazione acciaio-calcestruzzo. Il livello di sforzo può crescere indefinitamente, e non ci sono quindi “verifiche” né coefficienti di sfruttamento da definire.

### **Verifica alle tensioni ammissibili**



Legge costitutiva adottata per l'acciaio



Legge costitutiva adottata per il calcestruzzo

Si fa l'ipotesi di perfetta aderenza acciaio-calcestruzzo e che la sezione ruoti rimanendo piana.

In questo caso le leggi costitutive sono lineari per il calcestruzzo e per l'acciaio, ma il calcestruzzo non reagisce a trazione e c'è un limite ai valori di tensione, costituito dalle "tensioni ammissibili". Il modulo elastico dell'acciaio è pari a 210000N/mmq. Il modulo elastico del calcestruzzo è legato alla tensione cilindrica media di rottura  $f_{cm}$ , mediante la relazione:  $E_c = 22000 (0.1 f_{cm})^{0.3}$ .

Il coefficiente di sfruttamento del calcestruzzo è definito come rapporto adimensionale e maggiore di zero tra il modulo della massima tensione di compressione nel calcestruzzo e il modulo della tensione ammissibile del calcestruzzo stesso.

Il coefficiente di sfruttamento dell'acciaio è definito come rapporto adimensionale e maggiore di zero tra la massima tensione nelle barre di armatura e la tensione ammissibile dell'acciaio.

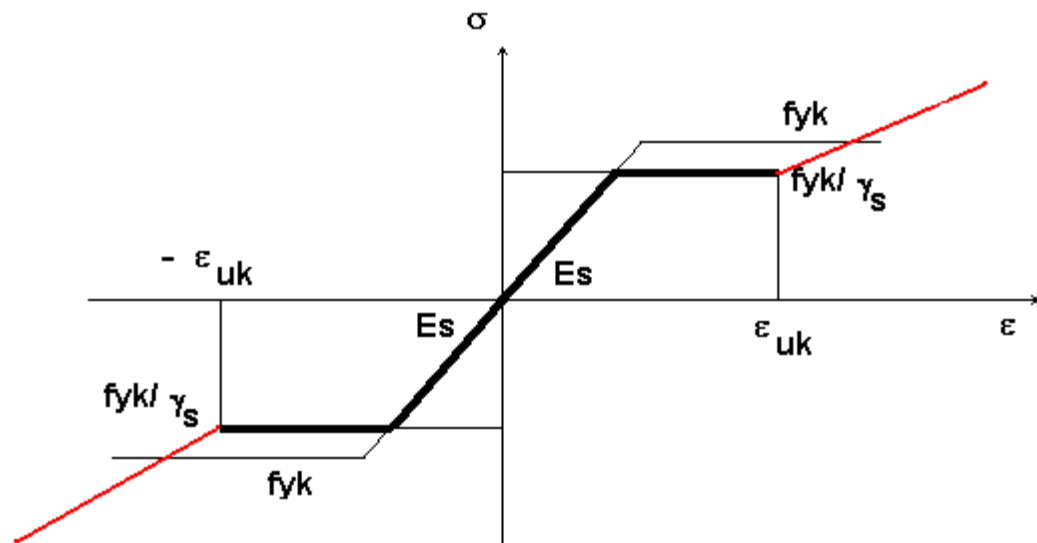
Il coefficiente di sfruttamento della sezione è il massimo tra quello del calcestruzzo e dell'acciaio.

L'area del calcestruzzo è omogeneizzata a quella dell'acciaio per mezzo di un fattore amplificativo, detto coefficiente di omogeneizzazione  $m$ , posto per default dal programma pari a 10, ma modificabile in sede di attribuzione delle caratteristiche del calcestruzzo ([Elementi-Assegna Calcestruzzo](#)<sup>1292</sup>).

## Analisi agli stati limite

Si fa l'ipotesi di perfetta aderenza acciaio-calcestruzzo e che la sezione ruoti rimanendo piana.

In questo caso le leggi costitutive sono: elastica perfettamente plastica e simmetrica per l'acciaio. Il calcestruzzo ha un ramo piatto coincidente all'asse delle deformazioni positive ovvero di trazione (ramo no-tension), mentre nel quadrante delle deformazioni e tensioni negative (di compressione) ha una curva a parabola-rettangolo. Le seguenti immagini descrivono il legame costitutivo adottato dalla norma:

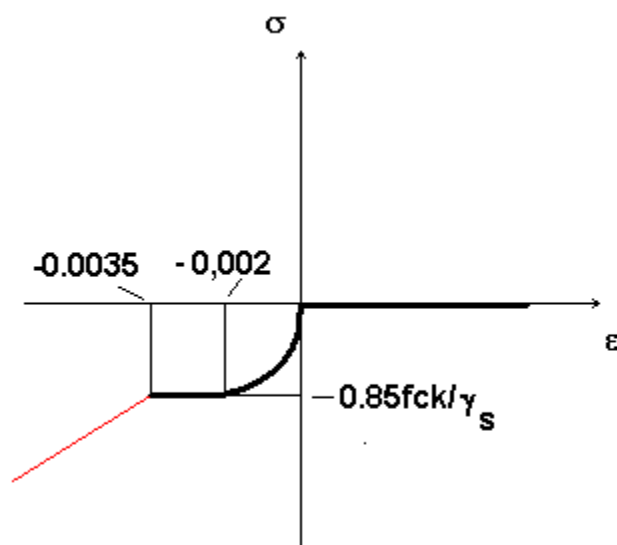


Legge costitutiva adottata per l'acciaio

La curva in colore nero più spessa indica la legge costitutiva dell'acciaio adottata dalla norma. Tale legge costitutiva ha un plateau al valore  $f_{sd} = f_{syk}/\gamma_s$ , e quindi la sezione non è in grado di equilibrare sollecitazioni maggiori di quelle corrispondenti alla piena plasticizzazione. Poiché nel calcolo può avvenire che le sollecitazioni risultanti dalla applicazione delle azioni applicate siano maggiori (anche ben maggiori) di quelle corrispondenti alla piena plasticizzazione, durante il procedimento di calcolo la legge costitutiva viene convenzionalmente proseguita seguendo i rami di colore rosso, in modo che un equilibrio sia sempre raggiungibile. Naturalmente equilibri che comportino tensioni maggiori di quelle di progetto non sono accettabili e vanno intesi come la manifestazione del fatto che la sezione non è in grado di sopportare le azioni applicate.

Il fattore  $\gamma_s$  vale 1.15.

Se si sono scelti materiali FeB... la massima deformazione dell'acciaio  $\epsilon_{uk}$  è pari all'1%.  
Infatti questi materiali, normati dal D.M. 1996, prevedevano un massimo per la deformazione pari al 10 per mille (1%).




Legge costitutiva adottata per il calcestruzzo

Per il calcestruzzo è adottata la legge costitutiva indicata nella figura soprastante. Il calcestruzzo non reagisce a trazione. A compressione reagisce con legge costitutiva parabolica sino alla deformazione di  $-0,002$  eppoi prosegue con un ramo perfettamente plastico sino alla deformazione ultima  $-0,0035$ . Per le stesse ragioni spiegate per l'acciaio, numericamente si fa proseguire la legge costitutiva con un ramo incrudente (in rosso), in modo da garantire l'esistenza di un punto di equilibrio.

La non linearità del ramo parabolico impone un calcolo iterativo per ogni situazione di carico. La massima tensione raggiungibile è la tensione di progetto pari a  $0,85 f_{ck}/\gamma_s$ . Il fattore  $\gamma_s$  vale 1,6.  $f_{ck}$  è la resistenza cilindrica caratteristica, pari a 0,83 volte la resistenza cubica caratteristica  $R_{ck}$ .

---

Ora che sono stati dettagliatamente chiariti i vari tipi di analisi che è possibile fare, passiamo alla descrizione dei passi operativi necessari per compiere le verifiche.

Per prima cosa occorre impostare le verifiche con il comando [Post-C.A.-Imposta](#). Questa impostazione va fatta in qualsiasi momento, ma comunque prima di lanciare il modulo RCSHAPE.


La analisi delle sezioni per mezzo di RCSHAPE deve essere fatta dopo aver aggiunto a tutte le membrature di interesse le armature di loro competenza e dopo aver attribuito a tutte le membrature pertinenti l'acciaio ed il calcestruzzo per le verifiche. Tali materiali sono assegnati ex novo e sono indipendenti dal materiale usato dal modello FEM.

Le sollecitazioni di calcolo per ogni combinazione sono lette automaticamente da SARGON impiegando i file .sdb.

Relativamente alle verifiche va detto quanto segue.

Vengono verificate tutte le sezioni di tutte le membrature che sono state selezionate al momento delle verifiche. Le membrature non selezionate non verranno prese in considerazione nel costruire il vettore delle sezioni da verificare.

Le membrature prive di armature non vengono incluse nella lista di quelle da verificare, anche se selezionate. Le sezioni delle membrature con armature, prive di armatura, non verranno sottoposte a verifica.

Le sezioni soggette a verifica sono tutte le sezione poste a distanza eguale lungo lo sviluppo della linea d'asse della membratura, la distanza essendo specificata col comando [Post-C.A.-Imposta](#), più tutte le sezioni che corrispondono ai nodi fem interni alla membratura ovvero a nodi che corrispondono ad estremi di elementi finiti interni componenti la membratura, se questi non coincidono con le sezioni equispaziate precedentemente descritte, più tutte le sezioni che corrispondono a discontinuità delle armature. Sono inoltre sempre presenti le sezioni poste ai quarti della luce della membratura.

## Come...ottenere ed interpretare i risultati

I risultati possono essere ottenuti con vari comandi, e tutti hanno una diversa utilità.

Per avere un colpo d'occhio immediato sulla situazione della struttura, conviene vedere questa in modo unifilare (comando [Membrature](#)<sup>[708]</sup>) e studiare il colore dei pallini colorati disegnati lungo l'asse di ciascuna membratura, uno in corrispondenza ad ogni sezione di verifica. Il colore di questi pallini è direttamente in corrispondenza al coefficiente di sfruttamento, sia esso quello di inviluppo al variare delle combinazioni (comando di resa grafica [Post-Calcestruzzo Armato-Inviluppo](#)<sup>[1239]</sup>), quello della combinazione corrente ([Post-Calcestruzzo Armato-Combinazione](#)<sup>[1240]</sup>), o quello relativo al lato acciaio ([Post-Calcestruzzo Armato-Acciaio](#)<sup>[1241]</sup>) o al lato calcestruzzo ([Post-Calcestruzzo Armato-Calcestruzzo](#)<sup>[1242]</sup>) nella combinazione corrente. Gli ultimi due comandi sono accessibili solo se si è eseguita una analisi alle tensioni ammissibili.

Visualizzata che sia una delle mappe a colori, è possibile mediante il comando [Post-Calcestruzzo Armato-Interroga](#)<sup>[1245]</sup> avere informazioni di dettaglio sui risultati. Mentre è attiva una di queste rese grafiche è possibile cambiare la combinazione in modo da vedere quel che succede in ogni combinazione studiata.

Le rese grafiche con i pallini colorati ed il comando di interrogazione danno informazioni succinte sui risultati delle verifiche. Data una certa combinazione ed una certa sezione di verifica, è possibile avere una idea molto precisa di come siano distribuiti gli sforzi sulla sezione, di dove sia l'asse neutro, e di che livello di sforzo sia stato raggiunto, mediante il comando [Post-Calcestruzzo Armato-Sforzi Adimensionali](#)<sup>[1243]</sup>. Questo comando fa passare istantaneamente ad una vista piana e frontale della sezione di interesse (la sezione attiva della membratura selezionata: è necessario che sia selezionata una sola membratura), con una restituzione grafica del campo di sforzo adimensionale. Lo sforzo adimensionale è un numero puro ottenuto dividendo lo sforzo esistente per il massimo sforzo possibile, la tensione ammissibile o quella di progetto e seconda del tipo di analisi svolto. Queste mappe a colori sono estremamente significative, e danno una idea della diffusione dello sforzo sulla sezione. Naturalmente tali mappe possono essere stampate o messe negli appunti e trasferite ad altri documenti per usi opportuni.

Un ulteriore livello di documentazione relativo alle verifiche svolte è costituito dal tabulato che è un file ASCII con estensione “.ooo” e che viene creato da Sargon. Si veda [Come Interpretare il Tabulato](#)<sup>[603]</sup> per maggiori informazioni.

## Come...avere i disegni delle armature

Sargon non vuole assolutamente proporsi come uno di quei programmi che consentono di creare in automatico le tavole di progetto delle armature. Sargon non produce – e non produrrà mai – tavole di progetto o disegni completi delle armature.

E’ infatti compito del progettista mettere a punto disegni delle armature che tengano in conto tutti quei fatti che solo il progettista può conoscere relativi alle disposizioni costruttive, disposizioni che non seguono regole matematiche implementabili, ma piuttosto “regole di cucina” basate sull’esperienza, che costituiscono il vero know how di ciascun progettista. Sargon non intende sostituirsi al progettista.

Tutto ciò premesso, è sembrato utile che il progettista potesse disporre delle informazioni relative alle armature anche in un contesto come quello del disegno, in modo da facilitare il passaggio delle informazioni tra l’ambiente del calcolo e quello del disegno.

Per Sargon tutte le armature sono efficaci. E’ compito del progettista aggiungere quelle provvidenze, lunghezze di ancoraggio, pieghe ed uncini, atte a garantire la perfetta efficacia delle barre che vengono compute nelle verifiche.

Sargon crea mediante il comando [Struttua-C.A-Crea DXF](#)<sup>[1296]</sup> una serie di file in formato DXF Autocad che contengono le informazioni di base sulle armature calcolate.

In particolare, viene creato un file diverso per ogni membratura che abbia ricevuto qualche armatura ed il materiale calcestruzzo e acciaio. All’interno del file viene descritta la membratura con il suo ingombro reale ideale (non-nodo) e le barre vengono posizionate così come nel modello di calcolo. Per rendere i disegni perfettamente intelligibili viene fatto un doppio disegno per ogni insieme di armatura, sia essa una fila di barre, una barra singola o una



circonferenza di barre. Ogni doppio disegno include, in proiezione ortogonale, una vista in sezione ed una vista nel piano xz della membratura (generalmente il piano degli assi principali 1-3).

Tali disegni potranno poi essere completati di quotature, ancoraggi, pieghe e quant'altro necessario alla corretta realizzazione in opera di quello che è il *modello di calcolo* gestito da Sargon.

## Come...interpretare il tabulato

Il tabulato viene creato in modo automatico alla esecuzione delle verifiche. Il tabulato è costituito da un file ASCII con estensione “.ooo” che viene creato nella stessa cartella ove è presente il modello di calcolo (file .RCS).

Il tabulato è diviso in varie tabelle, che verranno qui analiticamente descritte.

Unità di misura correnti			
Lunghezza	Forza	Tempo	Temperatura
mm	N	s	°C

La prima sezione elenca le unità di misura attive al momento della esecuzione delle verifiche. Tali unità di misura dovranno essere impiegate per interpretare i numeri presenti nel tabulato.

Modello ---> C:\ANALISI\RCSTUDIO\portale
*****
CALCOLO ALLE TENSIONI AMMISSIBILI
*****
*****
VERIFICATORE SEZIONALE: RCSHAPE
*****

La seconda sezione dice quale sia il modello originario, spiega quale calcolo sia stato fatto e ricorda il verificatore sezionale impiegato.

*****
DATI GENERALI
*****
Numero di nodi nel modello FEM = 10
Numero di elementi beam nel modello FEM = 3
Numero di elementi truss nel modello FEM = 0
Numero di forme sezionali nel modello FEM = 2
Numero di materiali nel modello FEM = 1
Numero di combinazioni di carico = 1
Numero di elementi in RCSTUDIO = 3
Numero di tipi di calcestruzzo in RCSTUDIO = 1
Numero di tipi di acciaio in RCSTUDIO = 1

La prima tabella si riferisce a dati generali del modello. La sigla “FEM” sta per “Finite Element Method” e si riferisce al modello usato per il calcolo. Gli “elementi in RCSTUDIO” sono le membrature.

*****							
DATI RELATIVI AGLI ELEMENTI							
*****							
Elemento	N1	N2	NS	NSTART	Lunghezza	Forma Sezionale	Materiale
(fem)							

1	7	8	11	1	4.000e+003	H40xB30	CLS_Rck30		
2	8	9	11	12	6.000e+003	H50xB30	CLS_Rck30		
3	10	9	11	23	4.000e+003	H40xB30	CLS_Rck30		
Elemento		Calcestruzzo						Acciaio	
1		Cls Normativa Italiana - Rck 300						Acciaio	
2		Cls Normativa Italiana - Rck 300						Acciaio	
3		Cls Normativa Italiana - Rck 300						Acciaio	

La tabella successiva dà per ogni membratura alcune informazioni, vale a dire i nodi iniziale e finale (del modello FEM), il numero di sezioni di verifica all'interno della membratura, il numero corrispondente alla prima delle sezioni di verifica della membratura nell'ambito delle sezioni complessivamente verificate nel modello (NSTART). Vieni poi fornita la lunghezza teorica, la forma sezionale ed il materiale, così come referenziati nel modello FEM.

La seconda tabella nella stessa sezione dice quale calcestruzzo e quale acciaio siano stati assegnati in RCSTUDIO alla membratura in esame.

*****						
DATI GENERALI RELATIVI AI MATERIALI						
*****						
*****						
CALCESTRUZZI						
*****						
Calcestruzzo	Rck	Ec	ec0	ec1	gammac	fcd
Cls Normativa Italia	3.000e+001	3.122e+004	2.000e-003	3.500e-003	1.600	1.323e+001
Calcestruzzo	Rck	m	Sigma amm.	Tau c0	Tau c1	
Cls Normativa Italia	3.000e+001	1.500e+001	9.750e+000	6.000e-001	1.829e+000	
*****						
ACCIAI						
*****						

Acciaio	fyk	Es	eyk	euk	gammas	fsd
Acciaio	4.300e+002	2.000e+005	2.150e-003	1.000e-002	1.150	3.739e+002
Acciaio	Sigma amm.					
Acciaio	2.550e+002					

Vengono poi forniti dati generali relativi a tutti i materiali introdotti nel modello RCSTUDIO, indipendentemente dal fatto che siano stati effettivamente usati.

Di ogni calcestruzzo vengono forniti vari dati, indipendentemente dal tipo di verifica richiesto.

Nella prima linea si danno i dati relativi agli stati limite.

Il nome; la tensione caratteristica cubica di rottura (Rck); il modulo di Young (Ec); la deformazione corrispondente al termine del tratto parabolico (ec0); la deformazione ultima (ec1); il valore del coefficiente gamma adottato (gammac); la tensione di progetto (fcd).

Nella seconda linea si danno i dati relativi alle tensioni ammissibili

La tensione caratteristica cubica di rottura (Rck); il coefficiente di omogeneizzazione (m); il valore della tensione ammissibile secondo la norma italiana (Sigma amm.); il valore della tensione tangenziale al di sotto della quale l'armatura a taglio può essere la minima (tauc0); il valore della tensione tangenziale al di sopra della quale la sezione deve essere riprogettata (tauc1).

Per l'acciaio vengono forniti:

la tensione di snervamento caratteristica (fyk); il modulo di Young di calcolo (Es); la deformazione caratteristica di snervamento (eyk); la deformazione caratteristica ultima (euk); il valore del fattore gamma (gammas); la tensione di progetto (fsd); il valore della tensione ammissibile (sigma amm).

*****					
DATI GENERALI RELATIVI ALLE SEZIONI DI VERIFICA					
*****					
N. sez	Elemento	Csi El.	Tipo	#FEM	Csi FEM

1	1	0.000	BEAM	1	0.000
2	1	0.100	BEAM	1	0.100
3	1	0.200	BEAM	1	0.200
4	1	0.300	BEAM	1	0.300
5	1	0.400	BEAM	1	0.400
6	1	0.500	BEAM	1	0.500

La tabella successiva ordina tutte le sezioni che sono state soggette a verifica, indicandone la membratura di appartenenza (Elemento), la ascissa adimensionale sulla membratura (Csi El), il tipo dell'elemento finito corrispondente alla sezione di verifica (Tipo), il numero di tale elemento nel modello di calcolo FEM (in CESCO tutti i rami sono beam), la ascissa adimensionale di tale sezione sull'elemento FEM corrispondente (per cross check coi tabulati dei programmi di calcolo).

*****				
FORME SEZIONALI E ARMATURE				
*****				
*****				
Sezione #	1	H40xB30	Numero poligonali	1
*****				
*****				
Poligonale	1	PIENO		
*****				
y =	-1.500e+002	z=-2.000e+002		
y =	1.500e+002	z=-2.000e+002		
y =	1.500e+002	z= 2.000e+002		
y =	-1.500e+002	z= 2.000e+002		
*****				
Numero barre	4	Area acciaio	1.018e+003	Percentuale armatura 0.848
*****				
Barra #	1	Fi18	y=-1.000e+002	z=-1.800e+002
Barra #	2	Fi18	y= 1.000e+002	z=-1.800e+002
Barra #	3	Fi18	y=-5.000e+001	z= 1.800e+002
Barra #	4	Fi18	y= 5.000e+001	z= 1.800e+002

La tabella successiva elenca, per ogni sezione soggetta a verifica, tutte le poligonali che la individuano e se sono pieni o vuoti, e tutte le armature presenti in quella sezione, ovvero in quel particolare punto lungo lo sviluppo della membratura.

Dapprima la lista delle poligonali componenti.

Questa descrizione è così generale da ricomprendere praticamente tutte le possibili sezioni. Ogni poligonale è individuata da un vettore di punti, di coordinate y e z nella unità attiva. Poi la lista delle singole barre presenti sulla sezione, e la percentuale di armatura relativa alla sezione lorda corrispondente all'insieme di tutte le armature presenti. Per ogni barra viene data la posizione sulla sezione per mezzo delle coordinate y e z rispetto all'origine. Viene inoltre indicato il diametro (Fi) seguito dal numero in mm corrispondente.

*****				
RISULTATI IN FORMA SINTETICA				
*****				
Sezione #	Sfruttamento Massimo	Combinazione	Causa	Sforzo (sigma)
1	0.410	1	CALCESTRUZZO	-4.000e+000
2	0.290	1	CALCESTRUZZO	-2.829e+000
3	0.174	1	CALCESTRUZZO	-1.693e+000
4	0.090	1	CALCESTRUZZO	-8.763e-001
5	0.125	1	CALCESTRUZZO	-1.221e+000
6	0.224	1	CALCESTRUZZO	-2.182e+000
7	0.344	1	CALCESTRUZZO	-3.359e+000
8	0.463	1	CALCESTRUZZO	-4.517e+000
9	0.579	1	CALCESTRUZZO	-5.649e+000
10	0.712	1	ACCIAIO TESO	1.815e+002
11	0.886	1	ACCIAIO TESO	2.258e+002
12	1.410***	1	ACCIAIO TESO	3.596e+002
13	0.069	1	CALCESTRUZZO	-6.699e-001

La tabella successiva è una tabella di riepilogo sintetico dei risultati delle verifiche. Viene dato lo sfruttamento massimo e la combinazione ove questo si è verificato, inoltre viene specificata la causa ed il valore di sforzo massimo nel materiale corrispondente. Una fila di tre asterischi "\*\*\*" evidenzia le sezioni non verificate.

*****				
RISULTATI IN FORMA ANALITICA				
*****				
Ipotesi di Navier - epsilon > 0 se di trazione				
Perfetta aderenza acciaio-calcestruzzo				
epsilon = ax + by + c				

Sezione #	Combi	Sig. cls	Sig. acc Max	Sig. acc min	N	M2	M3	a	b
c									
1	1	-4.000e+000	7.508e+001	0.000e+000	-9.000e+004	-2.628e+007	1.559e-018	-1.286e-022	-1.777e-006
5.545e-005									
2	1	-2.829e+000	3.503e+001	0.000e+000	-9.000e+004	-1.826e+007	1.410e-018	3.158e-024	-1.019e-006
8.297e-006									
3	1	-1.693e+000	5.051e+000	0.000e+000	-9.000e+004	-1.023e+007	1.260e-018	-1.775e-023	-4.005e-007
4.684e-005									
4	1	-8.763e-001	-7.132e+000	0.000e+000	-9.000e+004	-2.209e+006	1.110e-018	-8.365e-032	-7.911e-008
4.990e-005									
5	1	-1.221e+000	-2.485e+000	0.000e+000	-9.000e+004	5.815e+006	9.606e-019	-7.238e-032	2.082e-007
4.990e-005									
6	1	-2.182e+000	1.633e+001	0.000e+000	-9.000e+004	1.384e+007	8.110e-019	8.069e-024	6.454e-007
3.455e-005									
7	1	-3.359e+000	5.245e+001	0.000e+000	-9.000e+004	2.186e+007	6.613e-019	-9.643e-032	1.353e-006
1.869e-005									
8	1	-4.517e+000	9.413e+001	0.000e+000	-9.000e+004	2.989e+007	5.117e-019	2.478e-022	2.130e-006
8.723e-005									
9	1	-5.649e+000	1.375e+002	0.000e+000	-9.000e+004	3.791e+007	3.620e-019	-6.442e-032	2.924e-006
1.611e-004									
10	1	-6.766e+000	1.815e+002	0.000e+000	-9.000e+004	4.594e+007	2.124e-019	4.332e-023	3.723e-006
2.373e-004									

L'ultima tabella elenca i risultati in forma analitica, vale a dire per ogni combinazione. Per ogni sezione ed ogni combinazione viene fornito:

Il valore della tensione calcolata nel calcestruzzo e nell'acciaio teso e compresso.

Le tre componenti di azioni interne pertinenti alle verifiche eseguite, ovvero l'azione assiale ed i due momenti flettenti rispetto agli assi principali della sezione. I dati relativi all'asse neutro ovvero "a", "b" e "c".

Vale la seguente fondamentale espressione:

$$\varepsilon = ay + bz + c$$

dove (y,z) sono le generiche coordinate del generico punto sulla sezione. La retta di equazione

$$ay + bz + c = 0$$

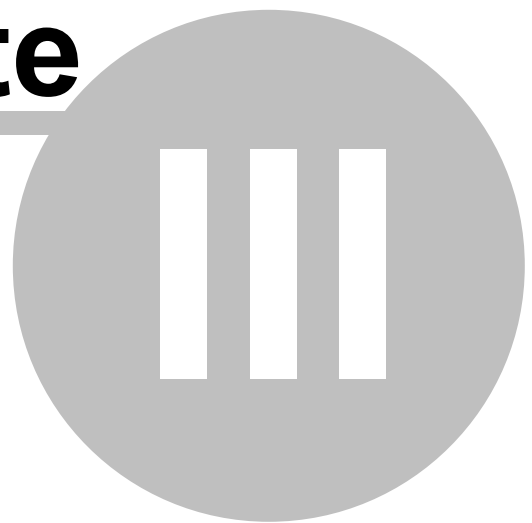
è quindi l'asse neutro della sezione nella condizione di carico indicata. Grazie a questi valori è possibile tracciare e controllare i risultati della elaborazione mediante calcoli a mano, ove questo sia reputato necessario.





# Parte

---



## 3 I comandi

### 3.1 Menu File, Ribbon: File, Strumenti

#### 3.1.1 Nuovo

**COMANDO: File-Nuovo**

[Ribbon-File]



Con questo comando si comincia una nuova struttura.

#### 3.1.2 Azzerà Timer

**COMANDO: File-Azzerà Timer!**

[Ribbon-File]



Con questo comando si azzerà il timer associato al modello correntemente aperto.

#### 3.1.3 Apri

**COMANDO: File-Apri**

[Ribbon-File]



Consente di aprire un file memorizzato su disco rigido, disco esterno o CD-ROM (anche in rete, se presente).

#### 3.1.4 Salva

**COMANDO: File-Salva**

[Ribbon-File]



Consente di salvare su disco il lavoro svolto.

### 3.1.5 Salva In

#### COMANDO: File-Salva In

[Ribbon-File]



Questo comando consente di salvare il modello corrente con un nuovo nome. L'utente sceglie il direttorio, il drive e il nome da assegnare al modello. Il file viene salvato con estensione *.wsr*.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento-applicazione.

### 3.1.6 Impostazioni

#### Comando: File-Impostazioni

[Ribbon-File]



Questo comando consente di stabilire, attraverso un opportuno [dialogo](#)<sup>613</sup>, le impostazioni generali all'avvio riguardanti la lingua dell'interfaccia, la norma attiva e le unità di misura. Tali impostazioni saranno effettive alla riesecuzione di Sargon.

**Tipo:** modale

#### 3.1.6.1 Impostazioni generali all'avvio (Dialogo)

#### IMPOSTAZIONI GENERALI ALL'AVVIO (DIALOGO)

In questo dialogo é possibile scegliere le seguenti impostazioni all'avvio di Sargon:

- lingua dell'interfaccia
- norma attiva
- unità di misura (spuntando la casella e premendo OK vengono memorizzate le unità correnti)
- [priming](#)<sup>381</sup> attivato o disattivato

Tali impostazioni saranno effettive alla riesecuzione di Sargon. Le prime due impostazioni si ritrovano sia che si inizi un nuovo modello sia che se ne apra uno esistente; le unità di misura all'apertura di un modello esistente sono invece quelle correnti al momento dell'ultimo salvataggio di quello stesso modello, e le unità definite come impostazioni all'avvio sono valide solo per un nuovo modello.

### 3.1.7 Salva Configurazione

#### COMANDO: File-Salva Configurazione

[Ribbon-File]



Questo comando dà la possibilità di salvare su un file (con estensione .sts) la configurazione della vista attiva al momento della esecuzione del comando. Con questo sistema ogni utente ha la possibilità di personalizzare il funzionamento di Sargon. Nel file di configurazione vengono salvati tutti i dati forniti nel menù Mostra.

**Tipo:** modale


**Destinazione:** applicazione.

### 3.1.8 Stampa

#### COMANDO: File-Stampa

[Ribbon-File]



Questo comando invia alla stampante il contenuto della finestra attiva. Sebbene non in modo totale, il funzionamento di questo comando è WYSIWYG (what you see is what you get). La finestra di stampa non coincide con quella video. Si suggerisce pertanto di usare [Anteprima di Stampa](#) .

**Tipo:**modale

**Destinazione:** vista.

### 3.1.9 Anteprima di stampa

**COMANDO:** File-Anteprima di Stampa

[Ribbon-File]



Sulla base del setup della stampante, ovvero della stampante disponibile, questo comando dà un'idea di quale sarà il risultato su carta della operazione di stampa.

**Tipo:**modale

**Destinazione:** vista.

### 3.1.10 Setup stampante

**COMANDO:** File-Setup Stampante

[Ribbon-File]

Questo comando consente di specificare le opzioni di stampa.

### 3.1.11 Titolo

**COMANDO:** File-Titolo

[Ribbon-File]

## T

Consente di impostare un titolo di stampa. La stringa specificata con il dialogo ([Titolo di Stampa](#)<sup>[616]</sup>) a cui il comando è collegato verrà riportata nella stampa successiva. Ad ogni finestra aperta è possibile associare un titolo di stampa indipendente. La stringa con il titolo viene riportata come seconda riga dall'alto nella legenda di stampa.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** vista.

### 3.1.11.1 Titolo di stampa (Dialogo)

#### TITOLO DI STAMPA (DIALOGO)

Questo dialogo consente di definire il titolo da associare alle stampe della finestra attiva. Definito un titolo questo verrà usato per tutte le stampe successive.

### 3.1.12 Commento

#### COMANDO: File-Commento

[Ribbon-File]



Consente di scrivere del testo a commento del modello. Il testo verrà salvato insieme al modello in modo da consentire di ricostruirne le caratteristiche salienti in un secondo momento. Appena eseguito il comando compare un opportuno dialogo ([Note di commento al modello](#)<sup>[616]</sup>) che consente di specificare o modificare il commento al modello.

#### 3.1.12.1 Note di commento al modello (Dialogo)

#### NOTE DI COMMENTO AL MODELLO (DIALOGO)

Questo dialogo è usato per specificare o modificare il commento al modello corrente.

### 3.1.13 Analizza

#### COMANDO: File-Analizza

[Ribbon - Post 1] [Ribbon - Post 2]

Questo comando consente di impostare e lanciare i solutori di Castalia: CLEVER per l'analisi statica, LEDA per l'analisi modale e SPECTRUM per l'analisi a spettro di risposta, SOCLEVER per l'analisi con non linearità geometrica, FREQUENCY per l'analisi di risposta in frequenza, CURAN per l'analisi con non linearità di materiale, DYNCURAN per la analisi di Time History non lineare, e BUCKL per l'analisi di buckling. All'esecuzione del comando corrisponde un opportuno [dialogo](#)<sup>617</sup>, che consente di decidere quali solutori lanciare dei quattro disponibili, e di impostare il loro funzionamento. Per maggiori informazioni su come usare i solutori si veda "Come Preparare ed Eseguire il Solving".

Nal caso particolare delle analisi a spettro di risposta, viene eseguito un ciclo sui 5 sismi definiti per verificare quali siano referenziati nel modello. Se un sisma è referenziato nel modello (ovvero esistono casi di carico di tipo SISMA\_MODALI che abbiano il loro nome che incomincia per XYZ\_ dove XYZ è l'identificatore di uno dei 5 sismi disponibili), verrà eseguita una analisi a spettro di risposta che impieghi gli spettri di quel sisma. Il comando può quindi dare luogo fino a 5 distinti run del programma WSPECTRM.EXE.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento.

#### 3.1.13.1 Analizza (Dialogo)

#### ANALIZZA (DIALOGO)

Questo dialogo consente di lanciare i solutori di Castalia: CLEVER, LEDA, SPECTRUM, BUCKLING, SOCLEVER, CURAN e FREQUENCY. La analisi di Time History

Modale è gestita senza bisogno di solutori esterni (ma deve essere stata fatta sia una analisi statica che una analisi modale).

Si può fare eseguire solo la analisi statica, la statica più la modale, la statica più la modale più la spettrale o la modale e la spettrale, a scelta. Se la corrispondente casella presenta il bottone premuto, l'analisi verrà eseguita.

I pulsanti **Imposta** danno accesso ai dialoghi che fanno impostare la analisi relativa al pulsante in questione:

[Analisi modale](#) 



[Analisi a spettro di risposta](#) 

[Analisi di buckling](#) 

[Analisi nonlineare \(geometrica\): SOCLEVER](#) 


[Analisi nonlineare \(materiale, geometrica e di contatto\): CURAN](#) 


[Frequency response](#) 

Nel caso della Time History modale, il dialogo [Time History Modale](#)  compare solo dopo essere usciti da questo dialogo con OK, avendo premuto il bottone corrispondente. Analogamente per la [Time History Non Lineare \(DYNCURAN\)](#) .

Il flag "**aggiungi se definite**" serve ad aggiungere le aree di taglio ai file dei solutori. Questo flag ha effetto anche sui solutori esterni.

Sotto "altre impostazioni" sono riepilogate ulteriori impostazioni utili a far funzionare i solutori in modo particolare, e/o per risolvere problemi specifici.

Il pulsante **Rinumerazione** dà accesso al [dialogo](#)  che consente di scegliere il rinumeratore tra un insieme di rinumeratori possibili. Mentre prima della versione 4.44 veniva sempre usato il rinumeratore PRM, a partire dalla 4.44 il rinumeratore usato per default è il RCM (Reverse Cuthill McKee), ferma restando la possibilità di scegliere e, al limite, di non rinumerare. Quest'ultimo rinumeratore, RCM, si dimostra nettamente più veloce su problemi medio grandi.

Il pulsante **Memoria** dà accesso ad un opportuno [dialogo](#)  che consente di decidere quanta memoria il solutore potrà allocare.



Se viene spuntata la casella **Tutte le Fasi**, in caso di analisi per fasi l'analisi si riferisce a tutte le fasi, una dopo l'altra. In caso contrario sarà analizzata solo la fase corrente. Se non è attiva la analisi per fasi, la scelta è irrilevante. Quindi se è richiesta ad esempio una analisi statica, ed è spuntata la opzione **Tutte le Fasi**, sarà fatta la analisi statica della Fase 1, della Fase 2, e così via fino all'ultima fase.

Se viene spuntata la casella **Sparse matrix**, viene lanciato lo sparse solver, altrimenti lo skyline (per i solutori che prevedono questa scelta).

Il flag "**Dof inattivi: Kii!=0**" comporta una scelta che può essere utile in molti casi. Se il flag è spento (manca il segno di spunta) il programma non fa nulla di particolare. Se invece è acceso il programma fa quanto segue. Se nel corso della soluzione viene trovata una riga ove  $K_{ii}=0$  (pseudo labilità), un grado di libertà cioè, al quale non sono associate rigidezze, allora il programma si comporta nel seguente modo.

In campo statico se a quel dof non sono associate forze (pseudolabilità non attivata), allora viene posto  $K_{ii}=0$ , ovvero si pone  $K_{ii}$  eguale ad un valore positivo non nullo. Questo non comporta alcun problema per il solving, il dof corrispondente verrà posto eguale a 0 nei calcoli. Se invece ci sono forze (pseudolabilità attivata) la correzione non viene eseguita ed il problema resta irrisolvibile.

In campo dinamico (analisi modale) la correzione viene eseguita se e solo se a quel dof non sono associate masse. La singolarità viene risolta ponendo  $k_{ii}=0$  e dunque andando a calcolare un periodo eguale a zero per il modo associato al dof in esame.

Questo flag consente di non vincolare tutti i dof inattivi (e di porre a zero i corrispondenti spostamenti). Per esempio, in un problema di membrana si potrà evitare di vincolare tutte le rotazioni dei nodi, se questo flag è attivato. In presenza di una labilità, è possibile tentare di rimuoverla attivando questo flag. Se la labilità è una pseudo labilità (nel senso sopra chiarito), allora questa verrà rimossa. Grazie a questo flag è anche possibile porre il drilling factor a zero, evitando così di perturbare la matrice di rigidezza: i dof inattivi verranno riconosciuti ed eliminati con il procedimento descritto.

Il flag **Stop dopo assemblaggio** serve ad interrompere l'esecuzione appena dopo la formazione della matrice di rigidezza. Può essere utile su modelli molto grandi, al fine di scegliere il rinumeratore ottimale per il problema in esame.

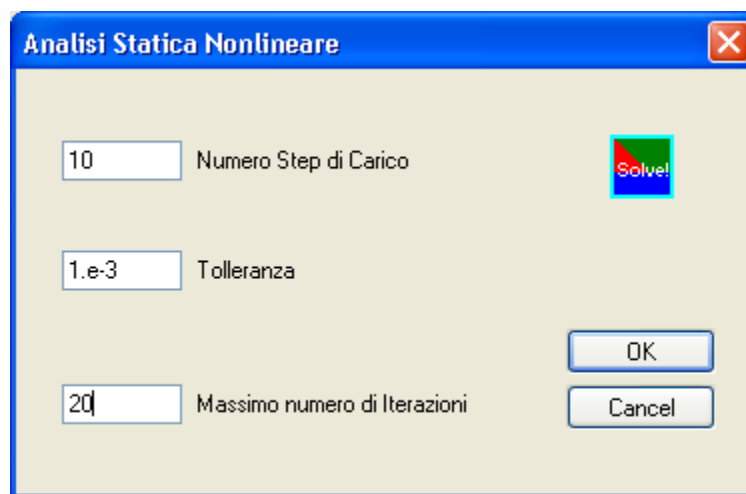
La quantità **Drilling factor** specifica la frazione della massima rigidezza diagonale che viene messa sul drilling dof dell'elemento plate-shell (rotazione dei nodi nel piano dell'elemento, vettore rotazione perpendicolare al piano dell'elemento). L'aggiunta di termini molto piccoli evita di avere dof rotazionali liberi, e quindi di interrompere la riduzione della matrice di rigidezza. In compenso la presenza di termini diagonali molto piccoli (e dummy) sulla matrice di rigidezza può generare instabilità numerica, allorché il rapporto tra il massimo ed il minimo termine tende a divenire molto grande. La possibilità di eliminare automaticamente i dof liberi consente di evitare l'uso del drilling factor (ponendo questo eguale a zero).

Il pulsante **Elementi Finiti** dà accesso ad un [dialogo](#)<sup>645</sup> che consente di scegliere il desiderato tipo di formulazione per gli elementi finiti.

Il parametro **Numero di cifre**, che ha effetto per tutti i solutori tranne CURAN, consente di stabilire il numero di cifre significative con cui devono essere stampati i risultati (spostamenti, azioni interne, reazioni vincolari, ecc.). Se non si vuole imporre un numero di cifre definito, è sufficiente lasciare il valore 0.

#### 3.1.13.1.1 Analisi statica nonlineare (Dialogo)

### ANALISI STATICA NONLINEARE (DIALOGO)



Questo dialogo consente di impostare alcuni parametri di funzionamento del solutore non lineare soclever.

Il **numero di step di carico** è il numero di intervalli in cui il carico totale viene suddiviso, per ogni caso di carico.

La **tolleranza** è la norma dell'errore relativo che viene considerata accettabile per arrestare una iterazione

Il **massimo numero di iterazioni** è il numero di iterazioni raggiunto il quale, indipendentemente dal conseguimento della convergenza, il procedimento si arresta.

#### 3.1.13.1.2 Acquisizione dati per analisi non lineare (Dialogo)

### ACQUISIZIONE DATI PER ANALISI NON LINEARE (DIALOGO)

Acquisizione dati per analisi nonlineare

Modalità gestione casi di carico (stazioni)

☐ Attiva stazioni (load path)

Se non attivate le stazioni, allora casi distinti

Convergenza

Norma errore

☒ SRSS

☐ Norma infinito (max abs. per ogni gdl)

Indicatore

☒ Spostamento 0.001 Tolleranza

☐ Residuo 0.001 Tolleranza

☐ Lavoro 0.001 Tolleranza

Divergenza 50 Tolleranza

Strategia analisi

Iterazioni

10 Massimo numero di iterazioni per passo

Ampiezza passi

☐ Numero passi predefinito

1 Numero di passi per ogni stazione

☒ Controllo automatico ampiezza passo

3 Numero desiderato di iterazioni

0.5 Esponente per la scelta incremento

0.5 Massimo incremento (dlambda, max)

0.01 Minimo incremento (dlambda, min)

☒ Diminuzione automatica ampiezza passo (se no convergenza)

Arc-length

☐ Passa all'arc-length se

☒ CSP < 0.3 CSP\_lim

☐ STEP > 2 STEP\_lim

Tipo di arc-length

☐ Sferico

☒ Cilindrico

☐ Ramm

☐ Fried

Non si arresta ai punti singolari  
CSP: current stiffness parameter

Metodo analisi

☒ Newton-Raphson completo

☐ Newton-Raphson modificato

☐ Quasi Newton-Raphson

Nonlinearità

☒ Materiale

☐ Geometrica

☐ Contatto

Altri

☒ Stampa messaggi

☒ Interpola sforzi ai nodi

Numero punti di integrazione Lobatto

10 Piastre (da 3 a 12 o 20)

5 Travi (da 3 a 12 o 20)

Numero fibre (elementi trave)

250 Numero fibre

Ritorno sul luogo plastico

1e-005 Tolleranza

100 Max n° iterazioni

Altri parametri

0.0001 Minimo modulo pivot non nulli

0.005 Precisione moltiplicatore limite

☐ Stampa spostamenti in ogni iterazione

OK Annulla Applica ?

Questo dialogo consente di impostare alcuni parametri di funzionamento del solutore non lineare CURAN.

Di seguito sono spiegate le varie sezioni del dialogo; per la definizione e il significato dei vari termini si rimanda alla [terminologia](#)<sup>[222]</sup>.

### Modalità gestione casi di carico (stazioni)

Se si attivano le stazioni ([load path](#)<sup>[223]</sup>) i casi di carico non vengono trattati [singolarmente](#)<sup>[223]</sup>, ma il punto di partenza del caso  $n+1$  è la condizione finale del caso  $n$ .

### Convergenza

Come *norma* dell'errore può essere utilizzata la radice quadrata della somma dei quadrati (SRSS) o la norma infinito (max abs).

Nella sezione *indicatori* possono essere modificate le tolleranze sullo spostamento, sul residuo, sul lavoro e sulla divergenza. I singoli controlli su spostamento, residuo e lavoro possono essere attivati o meno.

### Strategia analisi

L'utente può indicare il *massimo numero di iterazioni*<sup>[223]</sup> possibile, raggiunto il quale l'analisi viene interrotta.

L'ampiezza del *passo di carico*<sup>[223]</sup> può essere definita a priori dall'utente (ampiezza fissa) oppure possono essere impostati i parametri che governano il controllo e il calcolo del passo a ogni iterazione.

Se si sceglie la prima opzione e si indica, ad esempio, un passo pari a 2, al primo step verrà applicata la metà del carico totale e al secondo step l'altra metà.

Se si sceglie il *controllo automatico dell'ampiezza del passo*<sup>[228]</sup>, vanno indicati un numero desiderato di iterazioni, l'esponente per la scelta dell'incremento e i valori di incremento massimo e minimo.

Infine è possibile attivare o disattivare la diminuzione automatica dell'ampiezza del passo quando non viene raggiunta la convergenza.

### Metodo analisi

Sono attualmente disponibili il metodo di Newton-Raphson completo e quello modificato.

### Nonlinearità

Le tre nonlinearità disponibili sono:

- nonlinearità di **materiale**;
- nonlinearità **geometrica**;
- nonlinearità di **contatto**.

Le tre nonlinearità possono essere attivate o disattivate le une **indipendentemente** dalle altre.

La nonlinearità geometrica e quella di contatto hanno validità nel campo dei piccoli spostamenti.

### **Altri**

Si possono attivare o inibire i messaggi informativi durante l'analisi e si può attivare o meno l'interpolazione degli sforzi ai nodi degli elementi bidimensionali e tridimensionali.

### **Numero punti di integrazione Lobatto (piastre e travi)**

Può essere richiesto un numero di punti di Lobatto compreso tra 3 e 12 oppure pari a 20.

### **Numero di fibre (elementi trave)**

Si imposta il numero desiderato di fibre in cui verranno suddivise le sezioni.

### **Ritorno sul luogo plastico**

Si possono definire la tolleranza e il massimo numero di iterazioni.

### **Arc length**

Di default, il controllo sull'[arc length](#)<sup>[213]</sup> non è attivato. Per attivarlo occorre spuntare la casella **Passa all'arc length se**, dopodichè si deve scegliere il criterio secondo il quale passare o meno all'arc length. I criteri disponibili sono due:

- CSP: si passa all'arc length quando il *current stiffness parameter* è inferiore al valore limite indicato dall'utente nella relativa casella (CSP,lim);
- STEP: si passa all'arc length dopo il numero di step indicato dall'utente nella relativa casella (STEP,lim).

Sono disponibili 4 tipi di controllo arc length:

- sferico (Crisfield)
- cilindrico (Crisfield)
- Ramm
- Fried

I diversi tipi di controllo di arc-length differiscono per la misura dell'arco e per il criterio con cui viene calcolata la correzione iterativa. Il metodo più frequentemente usato è quello cilindrico, che usa solo il vettore degli spostamenti nodali per misurare l'arc length. Il metodo sferico è simile, ma la misura dell'arco è fatta usando oltre agli spostamenti anche i residui.

L'argomento è specialistico. Si rimanda ai testi seguenti per i necessari approfondimenti:

- [1] M.A. Crisfield, Non-linear Finite Element Analysis of Solids and Structures, Volume 1, Wiley, 2003
- [2] M.A. Crisfield, Non-linear Finite Element Analysis of Solids and Structures, Volume 2 - Advanced Topics, Wiley, 1997
- [3] Daniele Ferretti, Ivo Mori, Marco Morini, La stabilità delle strutture, McGraw-Hill, 2002

### Altri parametri

Si possono impostare il valore sotto al quale un pivot viene considerato nullo e la precisione del moltiplicatore limite. Inoltre è possibile chiedere la stampa degli spostamenti ad ogni iterazione.

#### 3.1.13.1.3 Analisi modale (Dialogo)

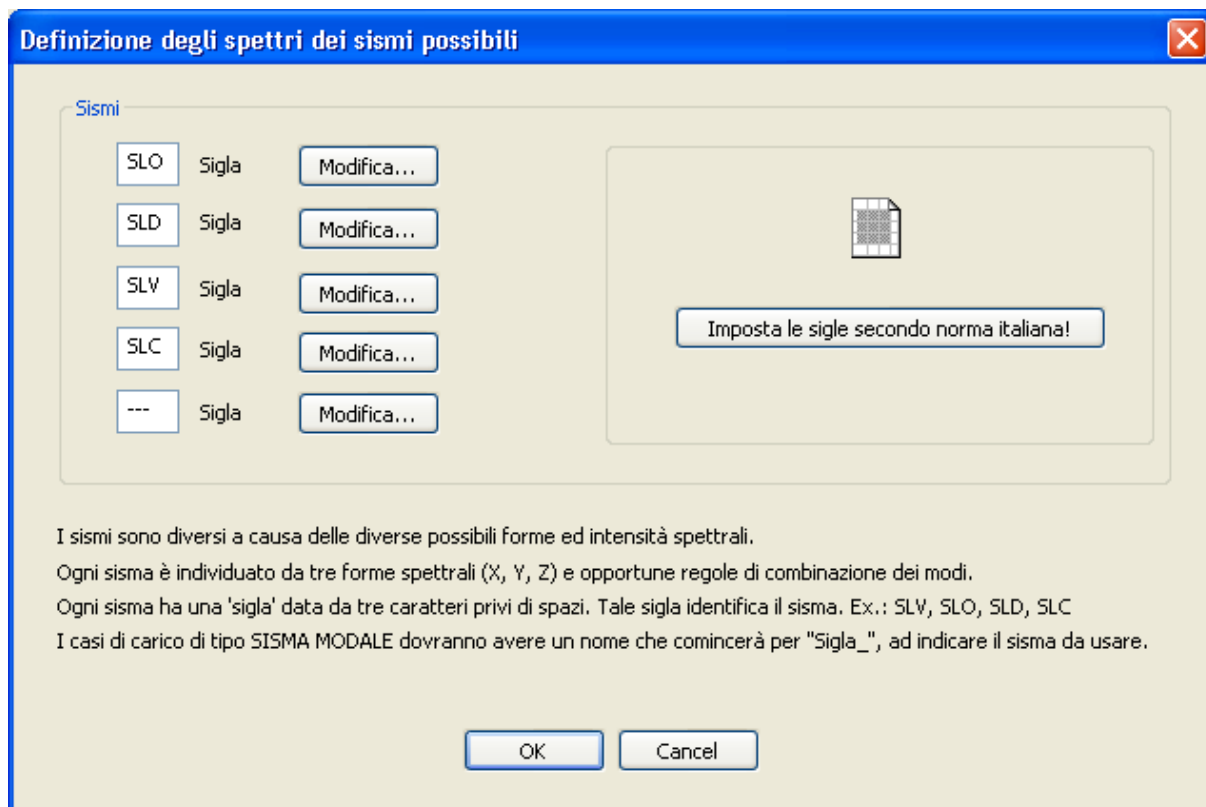
### ANALISI MODALE (DIALOGO)

Questo dialogo consente di impostare l'analisi modale (cfr. [Analisi modale con LEDA](#)<sup>188</sup>).

Il flag **Gravità** fa decidere se le masse dovute al peso proprio degli elementi verranno aggiunte (x) o no alle masse del modello.

## 3.1.13.1.4 Analisi a spettro di risposta (Property sheet)

## 3.1.13.1.4.1 Definizioni degli spettri dei sismi possibili (dialogo)



Questo dialogo consente di definire i sismi agenti sulla struttura in vari possibili casi di carico di tipo SISMA\_MODALE. Sono disponibili sempre 5 diversi sismi che possono essere usati o meno. A ciascun sisma l'utente deve associare una sigla di tre caratteri, che sarà poi usata dai casi di carico di tipo SISMA\_MODALE che impiegheranno tale sisma (il nome di questi casi di carico comincerà con l'identificatore del sisma, ad esempio, usando i dati della immagine in figura, il sisma SLV sarà usato dai casi di carico di tipo SISMA\_MODALE, che abbiano il nome che incomincia per "SLV\_").

Definito l'identificatore del sisma che interessa (eventualmente utilizzando il bottone **Imposta le sigle secondo la norma italiana!**), si passa a definire gli spettri di risposta nelle tre direzioni ed il criterio di combinazione dei modi, mediante la pressione del relativo bottone



**Modifica.** Ciò dà accesso a un [property sheet](#)<sup>627</sup> che consente di definire gli spettri e le modalità di combinazione dei modi.

#### 3.1.13.1.4.2 Spettro X, Y, Z (Property pages)

### SPETTRO X, Y, Z (PROPERTY PAGES)

Queste property pages fanno scegliere tra sei possibili tipi di spettro: lo spettro previsto dal D.M. italiano (1996 e 2008), lo spettro dell'EC8, lo spettro definito dall'ordinanza 3274 PCM del 20/3/2003, lo spettro secondo ASCE-7 (2005) e uno spettro definito per punti.

Il tipo di spettro è deciso dal bottone radio **Attiva** prescelto. Nel caso dello spettro utente, è possibile far scrivere al programma i file spettrox.pts spettroy.pts o spettroz.pts in modo coerente a uno degli spettri di inviluppo di segnali caricati nel modello con il comando [Edit-Azioni-Spettri di Inviluppo](#)<sup>1059</sup>.

A queste property pages segue la [property page](#)<sup>627</sup> dedicata alla determinazione dei metodi di combinazione dei modi.

Per maggiori informazioni si veda [Analisi a spettro di risposta con SPECTRUM](#)<sup>195</sup>.

#### 3.1.13.1.4.3 Combinazione dei modi e fattori di errore (Property page)

### COMBINAZIONE DEI MODI E FATTORE DI ERRORE (PROPERTY PAGE)

Questa property page fa decidere in che modo l'effetto dei vari modi verrà combinato per dare il risultato complessivo (cfr. anche [Analisi a spettro di risposta con SPECTRUM<sup>195</sup>](#)).

I metodi possibili sono tre: il **metodo NRC**, il metodo dell'**amplificazione modale** ed il metodo della Complete Quadratic Combination (CQC). Il metodo desiderato viene scelto accendendo il flag **attiva** corrispondente.

Per ogni caso di carico di tipo sisma modale è possibile indicare un **modo di riferimento**. Tale modo di riferimento, se indicato, sarà impiegato per determinare i segni degli spostamenti, delle reazioni e delle azioni interne. Se invece il modo di riferimento è 0, allora non sarà inizialmente eseguita alcuna correzione.

Una ulteriore correzione è poi eseguita opzionalmente e dipende dai valori dei parametri n, mt, m2 ed m3. Se essi sono nulli i segni corrispondenti non saranno modificati (e rimarranno o indisturbati, se per quel caso di carico non è stato specificato alcun modo di riferimento, o eguali a quelli del modo di riferimento se questo è stato indicato).

**n** indica se dare o meno correzione al segno dell'azione assiale: 0 indica nessuna correzione, un numero negativo indica che le azioni assiali saranno negative, un numero

positivo indica che le azioni assiali saranno negative. Tutti gli elementi saranno dunque tesi ( $n > 0$ ) o compressi ( $n < 0$ ).

**mt** indica se dare o meno correzione al segno del momento torcente: 0 indica nessuna correzione, un numero negativo indica che i momenti torcenti saranno negativi, un numero positivo indica che i momenti torcenti saranno positivi.

**m2** indica se correggere o meno il momento flettente secondo l'asse locale 2. 0 indica nessuna correzione, un numero positivo corrisponde a un diagramma in cui il momento ha sempre lo stesso segno. Un numero negativo corrisponde a un diagramma “a farfalla”. In entrambi i casi il taglio T3 verrà ricalcolato in modo da far equilibrio ai momenti ottenuti combinando i modi. Se non si vuole questa correzione occorre dare il valore 0 (e in questo caso tagli e momenti non saranno più in equilibrio).

**m3** indica se correggere o meno il momento flettente secondo l'asse locale 3. 0 indica nessuna correzione, un numero positivo corrisponde a un diagramma in cui il momento ha sempre lo stesso segno. Un numero negativo corrisponde a un diagramma “a farfalla”. In entrambi i casi il taglio T2 verrà ricalcolato in modo da far equilibrio ai momenti ottenuti combinando i modi. Se non si vuole questa correzione occorre dare il valore 0 (e in questo caso tagli e momenti non saranno più in equilibrio).

**cluster** indica il fattore di cluster ( $0.1 = 10\%$ ).


**mantieni i segni dei modi** è un flag che se attivato comporta il fatto che nella CQC gli effetti dei singoli modi siano presi col segno. Ciò comporta il fatto che i doppi prodotti pesati dal coefficiente di correlazione possano anche essere negativi. Se invece il flag è spento, allora verranno usati i valori assoluti, il che dà sempre luogo a doppi prodotti positivi.

**Coefficiente di smorzamento viscoso equivalente:** è un numero puro in genere pari a qualche percento. E' usato nel metodo della CQC per calcolare il coefficiente di correlazione modale.

**Modo** indica quale modo amplificare per il caso di carico selezionato nella lista posta immediatamente a sinistra.

---

## Fattori di errore

A partire dalle versione 7.1 la soluzione mediante il metodo dello spettro di risposta viene eseguita – a richiesta – anche secondo il metodo dello spettro di risposta con fattore di errore. Per una estesa trattazione del tema, si rimanda all’articolo allegato: [Spettro di risposta con fattore di errore](#) .

Il fattore di errore è un numero che è considerato in genere maggiore di 1 e dà conto del fatto che una certa grandezza al valore nominale,  $d^*$ , possa invece assumere un valore da questo diverso. Pertanto il programma indaga cosa succede se il valore “reale”  $d$  è più basso ( $d^*/f$ ) oppure più alto ( $d*f$ ) di quello nominale  $d^*$ .

Il fattore di errore non è né potrebbe essere un numero “rigoroso”, probabilistico o “esatto”, ma solo una (peraltro fondamentale) stima ingegneristica, motivata da considerazioni che dipendono dal singolo problema in esame. Il fattore di errore è un grado di libertà che il progettista mantiene per sé e che serve ad indagare situazioni prossime, ma non simili, a quelle allo studio.

Vengono definiti i seguenti fattori di errore:

Sul fattore di struttura ( $f_{eq}$ ). Ovviamente il fattore di struttura “di calcolo” risulterà pari a  $q^*/f$ , essendo a favore di sicurezza il numero minore. Porre  $f_q=1$  significa non variare il coefficiente di struttura nominale.

Sulla intensità di massa a parità di distribuzione ( $f_{eM}$ ). In genere spostamenti e sollecitazioni aumentano con la massa, e quindi generalmente il programma finirà con l’adottare una risposta con un livello di massa pari a  $M*f_{eM}$ . Porre  $f_{eM}=1$  significa non variare la intensità di massa. Questo fattore di errore è a parità di distribuzione, e quindi non c’entra nulla con l’eccentricità accidentale, che dovrà essere studiata a parte.

Sulla intensità del modulo elastico ( $f_{eE}$ ). In pratica la rigidezza viene variata in modo omogeneo a parità di distribuzione. Ciò viene fatto anche quando nel modello compare più di un materiale. Non esiste un caso valido in generale. Gli spostamenti tendono a diminuire all’aumentare di  $E$ , ma le azioni interne restano invariate o aumentano. Porre  $f_{eE}=1$  significa non variare il modulo di elasticità e quindi non variare la rigidezza.

Sul periodo ( $f_{eaT}$ ) a causa di errori non dipendenti dalla intensità di massa o di rigidezza. Tale fattore di errore tiene in conto le incertezze sul periodo di calcolo dovute alla discretizzazione alle dimensioni geometriche, ecc..

In generale, detto  $T$  il periodo di un modo,  $C$  il suo coefficiente di risposta,  $X$  lo spostamento ad esso associato, e  $F$  la azione interna ad esso associata, valgono le seguenti espressioni per i fattori di errori derivati:

$$f_{eT} = f_{eaT} \sqrt{\frac{f_{eM}}{f_{eE}}} \quad (*)$$

$f_{eC} = f_{eC}(T, f_{eaT}, f_{eM}, f_{eE}, f_{eq})$  una funzione che dipende dallo spettro adottato

$$f_{eX} = f_{eC} f_{eT}^2$$

$$f_{eF} = f_{eM} f_{eC}$$

Il programma calcola dapprima dei periodi « lower bound » ed « upper bound » grazie alla (\*). Da questi può valutare dei coefficienti di risposta “lower bound” e “upper bound” e quindi dei fattori di errore su  $C$ ,  $f_{eC}$ . Fatto ciò, il programma indaga sugli spostamenti e sulle azioni interne mediante le due formule indicate, e quindi perviene ai massimi valori ( $>1$ ) per  $f_{eX}$  ed  $f_{eF}$ . A questo punto i valori “nominali” degli spostamenti saranno amplificati da  $f_{eX}$ , mentre i valori nominali degli sforzi saranno amplificati da  $f_{eF}$ . Il risultato è una sovrastima a favore di sicurezza, tenendo in conto possibili variazioni di fattore di struttura, della intensità di massa a parità di distribuzione, della intensità di rigidezza a parità di distribuzione, del periodo a causa di errori diversi da quelli indicati.

Poiché in generale  $f_{eX}$  ed  $f_{eF}$  saranno diversi, è normale che gli spostamenti in uscita non siano “coerenti” con le azioni interne calcolate sul modo. Il programma prende le variazioni che comportano, separatamente, il caso peggiore (spostamenti maggiori, azioni interne maggiori).

Un volta calcolati gli effetti modali in questo modo, questi vengono poi combinati per le vie normali.

### **Valori da adottare per i fattori di errore**

Ovviamente dipende dalle circostanze, dal tipo di struttura ecc. Si possono comunque dare le seguenti indicazioni di larga massima.

#### **Fattore di struttura.**

Nei casi più fortunati, ovvero strutture simili a quelle studiate in letteratura, regolari, normate, un 10% di errore sul fattore di struttura sembra il minimo, pertanto nei casi più fortunati 1.1 per  $f_q$ .

#### **Massa**

Se la struttura è stata accuratamente modellata (anche per le masse non strutturali), e i variabili sono modesti ci si può limitare a un 5% ( $f_m=1.05$ ). Nel caso in cui le masse siano state valutate grossolanamente e/o i variabili siano molto importanti,  $f_m=1.1-1.2$ . Errori maggiori suggeriscono di migliorare il modello o di indagare varie possibili configurazioni di variabili.

#### **Rigidezza**

Per strutture in acciaio nelle parti rilevanti,  $f_{eE}=1.02-1.05$ . Nel caso del calcestruzzo almeno  $f_{eE}=1.1$ , ma anche  $f_{eE}=1.3$  dipendentemente dal tipo di garanzia sulla qualità del calcestruzzo che si può pensare di ottenere.

#### **Periodo (errori aggiuntivi)**

Del tutto ineluttabile appare un  $f_{eT}=1.05$ . Nel caso di strutture rozzamente modellate, o prive di estremi rigidi benchè funzionanti a telaio, anche  $f_{eT}=1.1-1.2$ .

---

### **Calcolo spostamenti**

Nei casi in cui sia definito un fattore di struttura, il calcolo degli spostamenti e delle azioni interne avviene in coerenza con uno spettro di risposta elastico ridotto mediante il fattore di


struttura  $q$ . Mentre le azioni interne sono "corrette" nel senso che tengono conto della duttilità, gli spostamenti non sono coerenti con quanto si otterrebbe sull'oscillatore semplice, dato che gli spostamenti effettivi sono molto maggiori di quelli ottenuti con lo spettro di progetto (ovvero lo spettro elastico ridotto dal fattore di struttura  $q$ ). Essi si ottengono moltiplicando gli spostamenti coerenti con lo spettro di progetto per un fattore  $\mu$ . Normalmente gli spostamenti "plastici" sono coerenti con quelli dello spettro elastico (regola di equal spostamento, posto  $T_1$  come periodo del modo considerato, se  $T_1 > T_C$ ) e allora  $\mu=q$ , ma in certi casi il fattore  $\mu$  può essere maggiore di  $q$  (quando  $T_1 < T_C$ ). Se gli spostamenti "effettivi" (ovvero quelli plastici) devono essere utilizzati per le verifiche si hanno due possibilità.

- 1) Si calcolano gli spostamenti ridotti dal fattore di struttura  $q$  e poi ci si ricorda di moltiplicare tali spostamenti per  $\mu$  ogni volta che vengono utilizzati.
- 2) Si calcolano gli spostamenti senza ridurli per il fattore  $q$  e si usano direttamente per le verifiche.

Per default il programma segue l'approccio 1), ovvero utilizza lo spettro di progetto sia per le azioni interne che per gli spostamenti. In questo modo gli spostamenti danno luogo alle azioni interne calcolate, con l'ordinario legame sforzi-deformazioni. E' tuttavia possibile attivare l'approccio 2, ed in tal caso le azioni interne e le reazioni vincolari saranno calcolate con lo spettro di progetto, mentre gli spostamenti con lo spettro elastico. Per attivare l'opzione 2) occorre porre un segno di spunta nella casella "**escursione plastica**".

#### 3.1.13.1.5 Analisi di buckling (Dialogo)

### ANALISI BUCKLING (DIALOGO)

Questo dialogo consente di impostare l'analisi modale (cfr. [Analisi di buckling con BUCKLING](#)  188).

## 3.1.13.1.6 Frequency response (Dialogo)

**FREQUENCY RESPONSE (DIALOGO)**

**Frequency Response**

Frequenze delle forzanti caso per caso (hz)

Caso	Freq. (hz)
1	1.000
2	1.000
3	1.000
4	1.000
5	1.000
6	1.000
7	1.000
8	1.000

esempio:  
1 5.3  
2 1.2

Combinazione casi

☒ SRSS

☐ Valore efficace

☐ Somma dei moduli

Smorzamento modale

Numero punti:  **Aggiorna**

Freq. (hz)	Smorz. (nu)
0.000e+000	0.000e+000
1.000e+002	5.000e-002

esempio:  
2.5 0.05  
10.0 0.10

Modi da tenere in conto

**Tutti**

<input checked="" type="checkbox"/> # 1
<input checked="" type="checkbox"/> # 2
<input checked="" type="checkbox"/> # 3
<input checked="" type="checkbox"/> # 4
<input checked="" type="checkbox"/> # 5
<input checked="" type="checkbox"/> # 6
<input checked="" type="checkbox"/> # 7
<input checked="" type="checkbox"/> # 8

OK Cancel

Questo dialogo consente di impostare il funzionamento del solutore per l'analisi di risposta in frequenza.

Nel riquadro in alto a sinistra "**Frequenza delle forzanti caso per caso (hz)**" vengono stabiliti i valori di frequenza delle forzanti caso per caso a partire dal primo. Se il numero di casi di carico è maggiore di 1 l'ultimo caso di carico non compare, essendo riservato alla combinazione degli effetti.

Nel riquadro in basso a sinistra (**Smorzamento modale**) vengono definiti i punti che individuano la curva che dà lo smorzamento in funzione della frequenza. Se il numero di punti cambia occorre specificare il nuovo valore e poi premere il tasto **Aggiorna**. Per ogni punto occorre fornire prima la frequenza (in hertz) e poi lo smorzamento relativo al critico.



Nel riquadro in basso a sinistra (**Modi da tenere in conto**) si selezionano o deseleggiano i modi a seconda che si desideri o meno tenerne conto nei calcoli. Il pulsante **Tutti** consente di specificare che si vogliono tenere in conto tutti i modi, nessuno escluso.

Il riquadro in alto a destra (**Combinazione Casi**) consente di specificare il metodo da impiegare per combinare gli effetti di diversi insieme di forze agenti a frequenze differenti. Sono possibili tre sistemi: SRSS (radice quadrata della somma dei quadrati), valore efficace e somma dei moduli.

### 3.1.13.1.7 Time History Modale (Dialogo)

## TIME HISTORY MODALE (DIALOGO)

Time History Modale (Lineare) X

**Input**

☒ Analisi sismica con accelerogrammi

**Applicazione**

☒ Applica EX

☒ Applica EY

☒ Applica EZ

**Segnali**

R0001.sce0010001mf2.SEW	EU	...	Scalato di	1
R0001.sce0010001mf2.SNS	EV	...	Scalato di	1
R0001.sce0010001mf2.UP	EZ	...	Scalato di	1

34 Angolo in gradi da asse W->E a asse X

EU ed EV saranno composti per dare EX ed EY. EX, EY, EZ possono essere o no applicati.

☐ Analisi dinamica con casi dinamici

**Casi di carico della Time History**

☒ Aggiungi all'ultimo esistente

☐ Sovrascrivi a partire dal numero

**Combinazioni associate alla Time History**

Considera concomitanti i casi come nella combi

☒ Aggiungi all'ultima

☐ Sovrascrivi a partire dalla

**Smorzamento relativo al critico dei Modi**

☐ Nessuno smorzamento

☒ Rayleigh  T1  nu1  T2  nu2

☐ Wilson-Penzien o Light Damping Approximation

0.146594	0.198358	<input type="text" value="50"/> Numero punti <input type="button" value="Aggiorna!"/>						
0.147687	0.196938							
0.147744	0.196864							
0.149207	0.194997							
0.149210	0.194993							
0.149530	0.194590							
0.150395	0.193509	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Periodo (s)</th> <th>Smorz. (nu)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>esempio: 0.0</td><td>0.05</td></tr> <tr><td>10.0</td><td>0.05</td></tr> </tbody> </table>	Periodo (s)	Smorz. (nu)	esempio: 0.0	0.05	10.0	0.05
Periodo (s)	Smorz. (nu)							
esempio: 0.0	0.05							
10.0	0.05							

**Modi da considerare nella analisi**

<input checked="" type="checkbox"/> Mode = 1	Period= 1.265	%X= 0.000	%Y= 87.783	%Z= 0.000
<input checked="" type="checkbox"/> Mode = 2	Period= 1.224	%X= 0.000	%Y= 0.167	%Z= 0.000
<input checked="" type="checkbox"/> Mode = 3	Period= 1.045	%X= 93.894	%Y= 0.000	%Z= 0.000
<input checked="" type="checkbox"/> Mode = 4	Period= 0.635	%X= 0.000	%Y= 0.002	%Z= 0.000
<input checked="" type="checkbox"/> Mode = 5	Period= 0.631	%X= 0.000	%Y= 0.000	%Z= 0.000
<input checked="" type="checkbox"/> Mode = 6	Period= 0.546	%X= 0.000	%Y= 0.484	%Z= 0.000
<input checked="" type="checkbox"/> Mode = 7	Period= 0.515	%X= 0.000	%Y= 0.000	%Z= 0.000
<input checked="" type="checkbox"/> Mode = 8	Period= 0.512	%X= 0.000	%Y= 4.830	%Z= 0.000
<input checked="" type="checkbox"/> Mode = 9	Period= 0.496	%X= 0.000	%Y= 3.081	%Z= 0.000
<input checked="" type="checkbox"/> Mode = 10	Period= 0.414	%X= 0.000	%Y= 0.000	%Z= 0.000
<input checked="" type="checkbox"/> Mode = 11	Period= 0.412	%X= 0.000	%Y= 0.377	%Z= 0.000
<input checked="" type="checkbox"/> Mode = 12	Period= 0.398	%X= 0.000	%Y= 0.232	%Z= 0.000
<input checked="" type="checkbox"/> Mode = 13	Period= 0.349	%X= 0.000	%Y= 1.974	%Z= 0.000

**Dati Analisi e Progresso**

<input type="text" value="Test"/>	Identificatore	<input type="button" value="Calcola!"/>	Integrale di Duhamel sui modi
<input type="text" value="0.05"/>	dT (sec)		Spostamenti
<input type="text" value="40"/>	Durata (sec)		Reazioni vincolari
			Azioni interne e sforzi

**Curve**

☒ Sfruttamento semplificato struttura (beam e truss)

☒ Sfruttamento semplificato elementi selezionati (beam e truss)

☒ Energia elastica di deformazione

Deseleziona combinazioni al di sotto di

**Consigli**

- 1 - Usare un combi Set dedicato
- 2 - Usare un numero ragionevole di step (500-2000)
- 3 - Selezionare i nodi e gli elementi per le curve (tank 3)

Questo dialogo consente di impostare il funzionamento del solutore per l'analisi time history modale.

La Time History modale può essere una analisi sismica con accelerogrammi, o una analisi dinamica, utilizzando i casi di carico etichettati DINAMICO. La decisione è presa tramite il riquadro **Input**.

Se si sceglie **Analisi Sismica con Accelerogrammi**, allora bisogna decidere (con i tre controlli ...) in quali delle tre direzioni siano contemporaneamente attivi accelerogrammi. Ad ogni direzione attiva deve corrispondere un accelerogramma scelto tra quelli disponibili nel modello mediante i bottoni ... (gli accelerogrammi sono aggiunti al modello mediante il comando [Edit-Azioni-Accelerogrammi](#)<sup>[1045]</sup>). E' inoltre possibile scalare l'accelerogramma di un fattore numerico (caselle **Scalato di**).

Va tenuto presente quanto segue:

- Un conto è la direzione degli accelerogrammi importati dentro il modello, definita come angolo tra la direzione del moto degli accelerogrammi e l'asse Overst-Est. Un altro conto sono le direzioni X e Y del modello. Gli accelerogrammi, in generale, descrivono moti in certe direzioni geografiche.
- Di norma bisogna caricare tre accelerogrammi e indicare l'**Angolo in gradi formato dall'asse X della struttura con l'asse geografico Ovest-Est**. In questo modo il programma comporrà gli accelerogrammi associati a EU ed EV, nella direzione X e nella direzione Y, ottenendo EX ed EY. E' necessario che le direzioni associate a EU ed EV differiscano di 90°. Se ciò non succede il programma non procede. L'angolo tra X e WE è positivo se antiorario. Ad esempio N è 90°, S è 270°.
- I controlli **Applica EX**, **Applica EY**, **Applica EZ**, servono a decidere quali accelerogrammi tra EX, EY, EZ, saranno effettivamente applicati. Si può quindi simulare un terremoto solo ondulatorio (EX ed EY), solo sussultorio (EZ), o ondulatorio e sussultorio (EX, EY, EZ, che è la norma). Volendo, si può anche simulare un terremoto solo EX o solo EY.
- E' buona regola che i due accelerogrammi selezionati per EU ed EV, si riferiscano allo stesso evento. Il programma tuttavia non fa un controllo a riguardo.

Se invece si sceglie **Inalisi Dinamica con Carichi Dinamici**, allora la Time History utilizza tutti i casi di carico etichettati dinamici, con le loro  $f(t)$  sovrapponendoli. In questo modo si può studiare la struttura quando sottoposta a forzanti qualsiasi.

Il riquadro "**Smorzamento relativo al critico dei modi**", serve a dare una curva che consentirà al programma di associare ad ogni modo uno smorzamento relativo al critico.

E' possibile avere:

1. **Nessuno smorzamento.**
2. **Smorzamento alla Rayleigh.** In questo caso andrà specificato il valore di  $\alpha$  e quello di  $\beta$ , sapendo che la matrice di smorzamento **C** sarà calcolata come  $C = \alpha M + \beta K$ . Lo smorzamento alla Rayleigh consente la disaccoppiabilità del moto e quindi la analisi modale.
3. **Smorzamento alla Wilson-Penzien**, o *light damping approximation*, in questo caso lo smorzamento relativo al critico di ciascun modo viene determinato da una curva che dà lo smorzamento in funzione del periodo dei modi. La curva ha in ascissa i periodi ed in ordinata lo smorzamento relativo al critico. Il punto della curva avente il massimo periodo (ad esempio 10s), deve essere al di là del modo attivato avente il periodo maggiore, in modo da evitare estrapolazioni. Il numero di punti viene specificato con la casella **Numero di Punti**, e poi premendo il tasto **Aggiorna!**. Se ad esempio si vuole che tutti i modi abbiano smorzamento relativo al critico del 5%, basterà aggiungere due soli punti, (0, 0.05) e (100, 0.05) assumendo che nessun modo attivo abbia periodo superiore a 100 s. Naturalmente la curva può avere un numero arbitrario di punti e in tal modo è possibile associare a ciascun modo (di cui è noto il periodo) uno smorzamento relativo al critico ben preciso.

La casella **Identificatore**, associa alla Time History una sigla o un nome, utile per distinguere le varie possibili Time History eseguite l'una dall'altra. Ciò influisce sul nome del file che contiene le CURVE associate alla analisi.

La casella **dT** indica il passo temporale di avanzamento della analisi. E' buona norma che non sia troppo alto (non più 1/10 del periodo del modo attivato a periodo più breve), ma nemmeno troppo basso onde evitare un numero eccessivo di step di analisi e quindi di nuovi

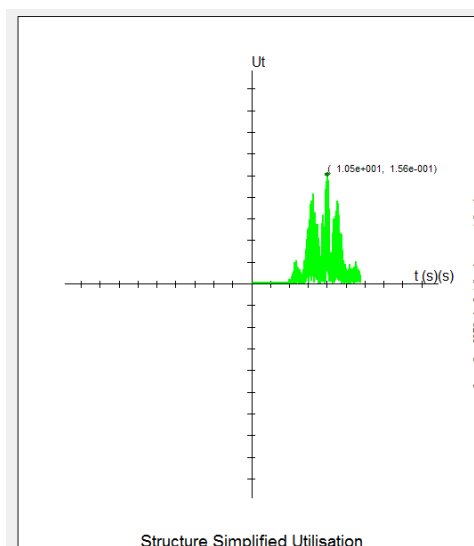
casi di carico. Per i modi presumibilmente meno importanti si può pensare di violare la regola dell'1/10.

La casella **Durata** indica per quanti secondi si estenderà l'analisi (da 0 a Durata). Il numero di passi (**nstep**) è dunque dato da  $Durata/dT + 1$ .

Il riquadro **Modi da considerare nella Analisi** consente di attivare solo alcuni modi ed altri no. Solo i modi attivati (ovvero con la spunta) saranno considerati nella analisi. I bottoni **Tutti** e **Nessuno** servono a selezionare rapidamente tutti i modi o nessun modo.

Il riquadro **Casi di Carico della Time History** specifica dove saranno messi gli nstep casi di carico corrispondenti ad ogni istante della analisi. **Aggiungi all'ultimo esistente** indica che semplicemente i nuovi **nstep** casi di carico saranno accodati ai casi di carico esistenti. **Sovrascrivi a partire dal numero** è utile per evitare di accrescere inutilmente, ripetendo la stessa analisi, il vettore dei carichi. Il numero indicato è quello del primo caso di carico ad essere sovrascritto.

Il riquadro **Combinazioni associate alla Time History** consente di specificare dove saranno messe le nuove nstep combinazioni. Infatti, la Time History genera anche nstep nuove combinazioni nelle quali ogni singolo istante della analisi sarà combinato con gli stessi carichi di una certa combinazione di riferimento, fattorizzati allo stesso modo (**Considera concomitanti i casi come nella combi**). Si tratta di specificare in tal modo le azioni concomitanti alla time history (di solito permanenti e quasi permanenti). La combinazione di riferimento deve ovviamente esistere e di solito è la numero 1, unica nel combi set dedicato. Anche in questo caso le combinazioni possono essere aggiunte all'ultima esistente (**Aggiungi all'ultima**) o sovrascritte a quelle esistenti a partire da un certo numero di combinazione (**Sovrascrivi a partire dalla**).



Il riquadro **Curve** consente di specificare quali curve saranno create e memorizzate su disco in opportuno file ".pmc". Oltre alle curve dei nodi ed elementi beam e truss selezionati nel serbatoio 3 (spostamenti, reazioni vincolari, azioni interne agli estremi), sempre aggiunte, per ogni elemento selezionato nel serbatoio 3 può essere aggiunta una curva di sfruttamento semplificato (**Sfruttamento semplificato elementi selezionati**), e, molto importante, una sola curva della intera struttura, con il massimo sfruttamento semplificato degli elementi beam e truss (selezionati o meno: **Sfruttamento semplificato struttura**). Questa ultima curva dà il valore massimo dello sfruttamento semplificato della struttura in funzione del tempo, e quindi consente di determinare quali istanti e quali combinazioni siano verosimilmente le più importanti da verificare e quali invece possano essere scartate. A tale fine, **Deseleziona le combinazioni al di sotto di**, consente di specificare un valore di sfruttamento semplificato massimo, al di sotto del quale la corrispondente combinazione, relativa a un certo istante, sarà deselezionata e quindi non considerata nelle verifiche che potranno essere successivamente eseguite.

Lo sfruttamento semplificato di un elemento nella versione attuale del programma è il rapporto tra la tensione normale dovuta alla somma dei tre contributi assiali e flettenti (se presenti), e la tensione di snervamento non fattorizzata ( $|N/Af_y| + |M_2/W_2f_y| + |M_3/W_3f_y|$ ).

Il bottone **Calcola!** dà il via alla analisi. I controlli **Integrale di Duhamel sui Modi**, **Spostamenti**, **Reazioni Vincolari** e **Azioni interne e sforzi**, indicano il progresso della analisi.

## 3.1.13.1.8 Time History Non Lineare (Dialogo)

Time History Non Lineare

**Input**

- ☒ Analisi sismica singola con accelerogrammi
 

032.060.b000.69.C8mp30P2.12d.tac	EU	...	Scalato di	1
032.060.b000.69.C8mp30P2.r2d.rac	EV	...	Scalato di	1
032.060.b000.69.C8mp30P2.r2d.zac	EZ	...	Scalato di	1
- ☐ Multi analisi sismica con i segnali selezionati (cfr EDEM)
 

Numero attribuito alla prima analisi
- ☐ Analisi dinamica con casi dinamici

**Analisi sismiche (singola o multipla)**

Applicazione:

- ☒ Applica EX
- ☒ Applica EY
- ☒ Applica EZ

Orientazione struttura:

Angolo in gradi da asse WE a asse X  
Positivo se ANTIORARIO

**Smorzamento intrinseco ("Inherent damping")**

- ☐ Nessuno smorzamento intrinseco
- ☒ Rayleigh
 

<input type="text" value="1.265"/> Periodo 1	<input type="text" value="0.05"/> Smorzamento 1	Verifica
<input type="text" value="1.045"/> Periodo 2	<input type="text" value="0.05"/> Smorzamento 2	
- ☐ Elementare

**Analisi**

Identificatore

dT (sec)

Durata (sec) (\*)

☐ Aggiungi massa propria elementi

**Integrazione**

- ☒ Newmark
 

Beta	<input type="text" value="0.25"/>	Gamma	<input type="text" value="0.5"/>
------	-----------------------------------	-------	----------------------------------
- ☐ Wilson-Theta
 

Theta	<input type="text" value="1.42"/>
-------	-----------------------------------

**Consigli e Richiami**

- 1 - Usare un numero ragionevole di step (500-3000)
- 2 - Selezionare i nodi e gli elementi per le curve (serbatoio 3)
- 3 - Tutte le combinazioni esistenti in questo combi set saranno ridefinite
- 4 - I casi di precedenti analisi di TH (modali o non lineari) saranno eliminati
- 5 - I nuovi casi saranno accodati a quelli esistenti senza quelli di TH precedenti
- 6 - Ogni nuovo caso fotografa la situazione in un istante
- 7 - Ogni combinazione utilizza un solo caso
- 8 - Nelle analisi i casi statici esistenti sono aggiunti uno all'altro (load path)
- 9 - Nelle analisi sismiche non ci devono essere casi "dinamici"
- 10 - Nelle analisi non-sismiche deve esistere almeno un caso "dinamico"
- 11 - Nelle analisi non-sismiche i casi dinamici agiscono contemporaneamente:  
se L3 ha  $f_3(t)$  e L4 ha  $g(t)$  il carico totale è  $L3f(t) + L4g(t)$
- 12 - I fattori di scala valgono anche per le sismiche multiple
- 13 - Se applica EXoEYoEZ, analisi multiple solo una per segnale selezionato
- 14 - Se applica EXeEY, analisi multiple a coppie di segnali selezionati
- 15 - Se applica EXeEYez, analisi multiple a terne di segnali selezionati
- 16 - Leggere attentamente la guida!

OK Cancel

Questo dialogo serve a impostare la analisi dinamica non lineare.

Il primo riquadro, **Input**, serve a decidere che tipo di analisi fare. Sono possibili tre tipi di analisi:

1. Analisi sismica singola con Accelerogrammi
2. Analisi sismica Multipla con i segnali (accelerogrammi) selezionati.
3. Analisi dinamica con i casi dinamici.

Si veda anche [Come fare analisi dinamiche non lineari](#) <sup>553</sup>.

### Analisi sismica singola

Per le tre componenti **EU**, **EV** ed **EZ** va scelto un accelerogramma mediante i bottoni "...". U e V sono le direzioni (tra loro normali) in cui gli accelerogrammi orizzontali sono definiti, rispetto alla direzione WE (tale direzione è letta al momento in cui l'accelerogramma è importato nel modello, e fa parte dei dati che lo contraddistinguono). I tre accelerogrammi - perché la analisi abbia senso - devono riferirsi allo stesso evento (naturale o simulato). I segnali possono essere scalati di un certo fattore, anche se tale operazione non corrisponde ad alcun significato fisico: si tratta di un artificio numerico. Si possono poi specificare **Applica EX**, **Applica EY** ed **Applica EZ**.

- Se si scelgono tutte e tre **Applica EX**, **EY**, **EZ**, i segnali U e V saranno convertiti alle direzioni X e Y, considerando che l'asse X della struttura formi un angolo in gradi (positivo se antiorario) come specificato nella opportuna casella (34° in questo esempio da E verso N).
- Se si scelgono due **EX**, **EY**, i segnali U e V saranno convertiti alle direzioni X e Y, considerando che l'asse X della struttura formi un angolo in gradi (positivo se antiorario) come specificato nella opportuna casella (34° in questo esempio da E verso N).
- Se si sceglie solo **EX**, o solo **EY**, o solo **EZ**, non sarà applicata alcuna conversione, e il segnale corrispondente, rispettivamente, a EU, EV, EZ, sarà applicato nella direzione X, Y, Z.
- Altre scelte non sono possibili

Nel modello non devono essere presenti casi di carico DINAMICI. Tutte le combinazioni del combi set attivo saranno cancellate, al loro posto saranno messe combinazioni relative a un solo step dinamico. Tutti i casi di carico esistenti di tipo TH (modale o non lineare) saranno eliminati (possibili precedenti analisi di time history). Saranno aggiunti tanti casi di carico quanti gli step di carico. Si consiglia di tenere un solo caso di carico statico, che ricomprenda i carichi permanenti e i variabili al loro livello quasi-permanente.

I casi di carico di tipo statico sono sommati tra loro e costituiscono il punto di partenza per la parte dinamica.

### Analisi sismica Multipla

In questo caso saranno eseguite un certo numero di analisi dinamiche sismiche, una dopo l'altra. Il numero di queste analisi è determinato da quali accelerogrammi presenti nella struttura sono selezionati. Per selezionare gli accelerogrammi si deve usare il comando EDEM (anche senza lanciare la analisi EDEM). I segnali scelti nelle caselle EU, EV, EZ, non hanno significato.

- Se è selezionato solo **Applica EX** o **Applica EY** o **Applica EZ**, ad ogni segnale selezionato corrisponde una analisi sismica con quel solo accelerogramma (senza conversioni) applicato nella corrispondente direzione della struttura.
- Se sono selezionati **Applica EX** e **Applica EY**, allora ci saranno tante analisi quanto è il numero degli accelerogrammi selezionati, diviso per due. Gli accelerogrammi saranno selezionati a coppie, di eguale evento, agenti in direzioni ortogonali, e saranno poi convertiti, per mezzo dell'angolo specificato, alle direzioni X e Y della struttura.
- Se sono selezionati **Applica EX** e **Applica EY** e **Applica EZ**, allora ci saranno tante analisi quanto è il numero degli accelerogrammi selezionati diviso per tre. Gli accelerogrammi saranno selezionati a triplete, di eguale evento. I segnali orizzontali, agenti in direzioni tra loro ortogonali e non coincidenti con gli assi X e Y della struttura, saranno convertiti agli assi X e Y della struttura, noto che sia l'angolo formato dall'asse X della struttura con WE.
- Non sono ammesse altre selezioni.

Nel modello non devono essere presenti casi di carico DINAMICI. Tutte le combinazioni del combi set attivo saranno cancellate, al loro posto saranno messe combinazioni relative a un solo step dinamico. Tutti i casi di carico esistenti di tipo TH (modale o non lineare) saranno eliminati (possibili precedenti analisi di time history). Saranno aggiunti tanti casi di carico quanti gli step di carico. Si consiglia di tenere un solo caso di carico statico, che ricomprenda i carichi permanenti e i variabili al loro livello quasi-permanente.

I casi di carico di tipo statico sono sommati tra loro e costituiscono il punto di partenza per la parte dinamica.



Per risparmiare step di carico, ogni analisi è condotta per la minima durata  $T$  che assicura che per  $t > T$  tutti i segnali comportino accelerazioni inferiori a 0.003g. Ciò vuole dire che le analisi hanno in genere durate diverse e che il campo **Durata** non è usato.

I risultati in termini di azioni interne, spostamenti e altro saranno quelli relativi alla ultima analisi. Tuttavia, *per ogni analisi eseguita* sarà salvato un file con estensione .PMC, che conterrà tutte le curve richieste di quella analisi (spostamenti dei nodi selezionati nel serbatoio 3, funzione del tempo, azioni interne degli elementi trave e biella selezionati nel serbatoio 3, funzioni del tempo, deformazione massima nelle fibre del modello, funzione del tempo (HEALTH EPS), massimo interstorey drift nel modello in funzione del tempo (HEALTH IDR), volumi plastici e rotti, in funzione del tempo). Queste curve consentiranno di capire lo svolgimento della analisi in modo sintetico ed efficace.

Ancora forse più importante dei file precedenti, la Multi Analisi Sismica, produrrà, al suo termine, un file denominato MODELLO.IDENTIFICATORE.NLDYN.START.END.pmc, dove:

- MODELLO è il nome del modello
- IDENTIFICATORE è l'identificatore della tornata di analisi.
- START è il numero di partenza assegnato al ciclo di analisi (**Numero attribuito alla prima analisi**). Per esempio 51.
- END è il numero dell'ultima analisi eseguita, ad esempio 100.

Questo file memorizza, per ogni analisi, i valori massimi, in quella analisi, degli "HEALTH INDICES" della struttura, ovvero HEALTH IDR, HEALTH EPS, Volume Plastico e Volume Rotto. Inoltre, per ogni analisi è memorizzata la sua durata e un codice di uscita pari a 3 per analisi non arrivate a convergenza (collasso), 2 per analisi terminate ma con plasticità e danni permanenti, e 1 per analisi terminate con volume plastico nullo e massimo interstorey drift inferiore a 5/10.000 (0.0005).

Queste curve sono fondamentali per capire quali siano le simulazioni che portano ai risultati peggiori per la struttura.

Si immagini di voler fare 100 analisi sismiche, divise in 4 ondate da 25. Alla prima tornata si comincerà con il numero 1, alla seconda con il numero 26, alla terza con 51, alla quarta 76. Si troveranno alla fine i seguenti file:

MODELLO.IDENTIFICATORE.NLDYN.1.25.pmc

MODELLO.IDENTIFICATORE.NLDYN.26.50.pmc

MODELLO.IDENTIFICATORE.NLDYN.51.75.pmc

MODELLO.IDENTIFICATORE.NLDYN.76.100.pmc

Prima di eseguire ogni "ondata" di analisi sarà ovviamente necessario cambiare gli accelerogrammi selezionati, in modo da studiare simulazioni (eventi) diversi. Se si esaminano triplette, ogni selezione ricomprenderà 75 accelerogrammi (25 triplette).

### **Analisi dinamica con casi dinamici**

In questo caso viene eseguita una analisi dinamica, considerando i casi di carico con la etichetta DINAMICO. Ognuno di questi casi di carico ha associata una funzione del tempo  $f(t)$ . I casi di carico dinamici sono sovrapposti.

I casi di carico di tipo TH vengono eliminati. I casi di carico di tipo statico sono sommati tra loro e costituiscono il punto di partenza per la parte dinamica.

---

---

Il secondo riquadro **Smorzamento Intrinseco** ("inherent damping") serve a stabilire il tipo di smorzamento. Al momento è possibile o non dare alcuno smorzamento o lo smorzamento alla Rayleigh. In questo secondo caso, occorre fornire due **Periodi** e due **Smorzamenti** relativi al

critico, associati ai due periodi. Nel riquadro **"Verifica"** è possibile controllare, con le scelte precedenti, che smorzamento verrebbe associato a un certo periodo. Ovviamente, ciò ha senso solo in campo lineare, perché in campo non lineare non è possibile disaccoppiare la struttura in modi che restino gli stessi nel corso della analisi. Nel caso della THNL, la matrice di smorzamento a ogni passo viene formata come  $C_t = \alpha M + \beta K_t$  ("t" sta per tangente) e quindi varia se varia la matrice di rigidezza tangente. Solo all'inizio, quando la  $K_t$  coincide con la matrice di rigidezza elastica, lo smorzamento coincide con quello della THM.

Il terzo riquadro, **Analisi**, consente di definire un identificatore della tornata di calcoli (che sarà usato per formare il nome del file che conterrà le curve), un passo temporale **dT** (valore proposto 0.05 sec, non deve essere né troppo grande né troppo piccolo), una **Durata** che si applica solo per analisi sismiche singole o per analisi dinamiche. Nel caso di analisi sismiche multiple la **Durata** dipende dai segnali, come già spiegato. Il flag **Aggiungi massa propria elementi**, consente di aggiungere alla matrice delle masse (se non è già stato fatto) le masse proprie degli elementi finiti. Il bottone Impostazioni Non Linearità, consente di impostare la analisi non lineare con il dialogo [Acquisizione dati per analisi non lineare](#)<sup>621</sup>.

Il quarto riquadro **Integrazione**, specifica che algoritmo usare per la integrazione delle equazioni del moto, nel tempo. Si può usare la integrazione di Newmark (consigliata) o quella di Wilson. In entrambi i casi vanno fissati i corrispondenti parametri.

#### 3.1.13.1.9 Tipo di elementi finiti (Dialogo)

### TIPO DI ELEMENTI FINITI (DIALOGO)

Questo dialogo consente di scegliere il tipo di formulazione per gli elementi finiti, disponibile nei vari solutori. Per una discussione sui vari elementi finiti disponibili si veda [Come scegliere gli elementi finiti](#)<sup>273</sup>.

CST	elemento triangolare a deformazione costante
QUAD4	elemento isoparametrico bilineare integrazione piena
QUAD4SRI	elemento isoparametrico bilineare integrazione selettiva (2x2+1x1).
QM6WI	elemento a 4 nodi non compatibile modificato alla Wilson-Ibrahimbegovic
TETRA	elemento tetraedrico a deformazione costante
PENTA	elemento pentaedrico
BRICK	elemento isoparametrico trilineare
BRICKSRI	elemento isoparametrico trilineare a integrazione ridotta (2x2x2 per la parte flessionale, 1x1x1 per la parte tagliante)
BRICKWI	elemento isoparametrico con correzione di Wilson Ibrahimbegovic.

#### 3.1.13.1.10 Rinumerazione (Dialogo)

### RINUMERAZIONE (DIALOGO)

Questo dialogo consente di scegliere uno dei rinumeratori disponibili, o anche di evitare la rinumerazione. Il problema della rinumerazione ha un suo peso esclusivamente su modelli grandi ( $> 10.000$  equazioni).

Se impiegando il comando che consente di riordinare i nodi si è giunti ad una ampiezza di banda soddisfacente, si può evitare di far eseguire la rinumerazione, risparmiando tempo di calcolo. Se invece la base di partenza è un modello con banda elevata ( $> 10\%$  dell'ordine del problema), allora è consigliabile rinumerare.

I metodi disponibili sono:

RCM Reverse Cuthill Mc Kee, è un CM con l'ordine invertito.

CM Cuthill Mc Kee

PFM Profile Front Minimization (da un lavoro di Wilson)

PRM, ovvero PFM modificato con un maggior numero di passaggi per valutare la gerarchia dei nodi, secondo un suggerimento dato dallo stesso Wilson nel suo lavoro.

Su modelli molto grandi RCM si mostra nettamente più veloce di PRM e PFM, ed inoltre il profilo è minore di quello ottenibile con il semplice CM. Pertanto RCM è la scelta consigliata ed attuata per default.

#### 3.1.13.1.11 Memoria (Dialogo)

### MEMORIA DA ALLOCARE

Questo dialogo consente di scegliere la quantità di memoria che i solutori andranno ad allocare.

Il dialogo è diviso in due parti.

Nella parte di destra sono riepilogati alcuni dati utili per fare la scelta.

#### **Memoria fisica**

E' la memoria RAM totalmente esistente sul computer.

#### **Memoria disponibile**

È la quantità di memoria RAM libera, ovvero non impegnata dal sistema operativo o da altri processi, nel momento attuale..

#### **Page file totale**

E' la quantità totale di memoria virtuale. E' una memoria ad accesso più lento.

#### **Page file disponibile**

E' la quantità di memoria virtuale disponibile nel momento attuale.

Nella parte di sinistra si può scegliere tra due opzioni. L'opzione standard prevede che il programma allochi tutta la **memoria disponibile**. Questa è in linea di principio la scelta ottima, in quanto sfrutta la RAM ( e non la memoria virtuale) e non interferisce con gli altri processi attivi. Sotto W95, e peggio ancora sotto W98, tuttavia, la quantità di memoria disponibile può essere così bassa (<1Mb) da risultare decisamente troppo esigua. Il problema può essere eliminato o ridotto chiudendo le applicazioni attive ed eliminando dalla *esecuzione*

*automatica* programmi tipo office che risultano particolarmente avidi di memoria. Se necessario si può specificare una quantità di memoria ben definita anzichè quella libera. Questa memoria può essere una frazione della memoria RAM totale (per esempio 1/3, 1/2) oppure può essere pari o superiore alla RAM totale. Se la memoria è una frazione della RAM disponibile si hanno ottime probabilità (crescenti con il ridursi della frazione) che il s.o. allochi questa memoria come memoria fisica, eventualmente penalizzando (rallentando) le altre applicazioni correntemente eseguite ( e cioè scaricandone la RAM su disco). Se invece la memoria si avvicina o supera drasticamente la memoria RAM esistente, allora si farà certamente uso della memoria virtuale, ragion per cui si avrà un rallentamento generale delle operazioni, dovuto al continuo swap su disco.

Tutti i solutori di Castalia hanno una loro strategia di swap su disco, per cui potendo scegliere è meglio evitare l'uso della memoria virtuale. In certi casi tuttavia, è possibile che il fatto di vedere la matrice di rigidezza divisa in pochi blocchi sia globalmente più favorevole, ancorchè venga usata la memoria virtuale. Su problemi grossi rispetto all'hardware disponibile la scelta ottima deve essere raggiunta sperimentalmente.

Si tenga presente che la sola matrice di rigidezza occupa uno spazio in bytes ottenibile dalla seguente formula:

$$S = \text{ndof} * \text{avb} * 8$$

Dove ndof è il numero di gradi di libertà, avb è la banda media (average bandwidth). L'ideale sarebbe avere una RAM allocata ALLRAM tale che

$$\text{ALLRAM} > S$$

### 3.1.14 Crea Input

#### COMANDO: File-Crea Input

[Ribbon-File]

Questo comando consente di creare in automatico un file di input formattato adatto ad uno dei solutori con i quali Sargon è interfacciato. Al comando corrisponde un [Dialogo](#)<sup>[649]</sup>, che fa scegliere il solutore desiderato. Al termine del comando, nel direttorio del modello sarà presente un file avente le caratteristiche richieste. Il file può essere senza estensione, in funzione del solutore scelto.

Note: per creare il file di input per Sap2000 è necessario che nel modello non vi siano casi di carico o combinazioni con nomi uguali.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento.

#### 3.1.14.1 Scrittura dell'input file (Dialogo)


### SCRITTURA DELL'INPUT FILE (DIALOGO)

Questo dialogo fa scegliere il tipo di solutore per il quale si vuole scrivere il file di input.

#### 3.1.15 Importa risultati

### COMANDO: File-Importa Risultati

[Ribbon-File]

Questo comando consente di caricare in Sargon i risultati ottenuti con uno dei solutori con i quali Sargon è interfacciato. In pratica il comando lancia un eseguibile che legge i file di output del solutore scelto e scrive i file binari con sforzi e spostamenti nel formato di Sargon. I file di output del solutore devono essere nello stesso direttorio del file .wsr corrispondente al modello. Alla esecuzione del comando corrisponde un [Dialogo](#)  che fa scegliere il solutore.

### Nota per gli utenti di SAP80<sup>©</sup>

Sap80<sup>©</sup> non produce file binari utilizzabili da SARGON in fase di lettura dei risultati.

Per tale ragione l'interfacciamento tra Sap80<sup>©</sup> e SARGON viene ottenuto leggendo i tabulati prodotti dal solutore sotto forma di file ASCII.

I criteri un pò bizzarri impiegati da Sap80<sup>©</sup> nella generazione dei campi numerici fanno sì che alcune tra le possibili scelte di unità di misura penalizzino fortemente la precisione dei risultati scritti da Sap80<sup>©</sup> in forma tabulare. Per esempio, se i tagli T2 o T3 sono nulli nel tabulato mentre nulli non sono (ciò può avvenire in SAP80<sup>©</sup> a causa dell'impiego di un formato fisso non esponenziale), i diagrammi di momento e di taglio calcolati di conseguenza saranno scorretti.

In linea generale si ottiene la massima precisione in output scegliendo unità di misura "piccole" quando si genera il file di input del solutore (ad esempio, [mm] piuttosto che [m] per le lunghezze, [N] piuttosto che [t] per le forze ecc.).

Una volta caricati i risultati l'utente è poi libero di impiegare il sistema di unità di misura a lui più comodo.

### **Nota per gli utenti di SAP90<sup>©</sup>**

Dalla versione 2.26 in poi, SARGON gestisce sia la versione 5.01 che le versioni 5.10 e 5.20 di Sap90<sup>©</sup>. Le versioni di Sap90<sup>©</sup> in questione sono infatti differenti relativamente ai file binari di output (segnatamente il .s3). Per decidere quale versione di Sap90<sup>©</sup> è stata adottata SARGON usa il seguente criterio:

- se esistono i file .ERR, .PL, .LDS, nessuno escluso, la versione è la 5.01.
- se esiste il file .P1 la versione è la 5.10 o la 5.20 (è indifferente quale delle due).
- se la versione non è nè la 5.01, nè la 5.10 nè la 5.20 la versione è sconosciuta: in tal caso viene stampato un messaggio d'errore in fase di caricamento dei risultati Sap90.



Poichè la Casa Madre non garantisce l'uniformità dei formati, si raccomanda l'utenza Sap90<sup>©</sup> di prestare particolare attenzione ad ogni cambio di versione, verificando, nelle prime esecuzioni, la bontà dei risultati letti e avvisando Castalia di ogni malfunzionamento. In ogni caso Castalia non garantisce la bontà dei risultati per versioni diverse dalla 5.01, 5.10, 5.20.

### Nota per gli utenti di SAP2000<sup>©</sup>

L'interfacciamento con sap2000 è stato realizzato a partire dalla versione 7.1 di Sap2000, e dalla versione 4.45 di Sargon. Nelle sue linee generali, l'interfacciamento con Sap2000 segue le regole generali già descritte per Sap90, la differenza è che il file di input non può essere fatto girare direttamente, ma deve prima essere importato in Sap2000. In effetti il file che viene scritto non è altro che un file di input per Sap90, il quale può essere importato in Sap2000 (comando File-Import).

Una volta importato il file in Sap2000, si può eseguire il solving producendo i due file binari di output, che sono il file *modello.u* e *modello.u3*. Il primo file contiene gli spostamenti, il secondo file contiene le azioni interne negli elementi. Il primo file ha un numero di bytes eguale a

$$Nd*6*8*Nl$$

Dove Nd è il numero di nodi, Nl il numero di casi di carico base. Il file .u3 ha invece un numero di bytes eguale a:

$$(Nb+Nt)*6*5*8*Nl$$

dove Nb è il numero di elementi trave, Nt il numero di elementi biella, Nl il numero di casi di carico. *Il numero 5 indica che le azioni interne sono campionate in cinque punti lungo l'elemento.* Ogni eventuale modifica, facilmente riscontrabile controllando il numero di bytes del file, porterebbe alla errata lettura dei risultati.

Per importare i risultati da Sap2000 conviene seguire questa procedura:

- Creare in file di input per sap90/sap2000 con sargon;
- Spostare il file creato in un'altra cartella di servizio

- Avviare sap2000 ed importare il file nella cartella di servizio;
- Eseguire l'analisi
- Spostare i file modello.u e modello.u3 nella cartella originaria
- Importare i risultati con il comando sargon File-Importa risultati

Lo spostamento di cartella è necessario in quanto anche sap2000 usa l'estensione .sdb.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento.

### 3.1.15.1 Lettura dei risultati del solving (Dialogo)

## LETTURA DEI RISULTATI DEL SOLVING (DIALOGO)

Questo dialogo consente di scegliere il solutore del quale si vogliono importare i risultati.

### 3.1.16 Crea listato

#### COMANDO: File-Crea Listato

[Ribbon-File]



Questo comando consente di creare un file ASCII corrispondente al tabulato di output del programma. Il tabulato è organizzato in capitoli, che possono essere inclusi o meno nel tabulato. In generale vengono stampate le informazioni relative agli oggetti selezionati. I risultati delle verifiche vengono sempre stampati su tutti gli elementi. Alla esecuzione del comando corrisponde un opportuno [property sheet](#)<sup>[653]</sup> composto da cinque fogli ([Lingua](#)<sup>[653]</sup>, [Geometria e Proprietà](#)<sup>[654]</sup>, [Casi Combinazioni e Azioni](#)<sup>[654]</sup>, [Risposta Strutturale](#)<sup>[654]</sup>, [Verifiche](#)<sup>[654]</sup>), ognuno dei quali corrisponde ad un certo insieme di capitoli.

Il tabulato ha un'estensione di tre lettere. La prima lettera indica la norma attiva al momento di esecuzione del comando (A, C, E, B per CNR, AISC, EC3, BS); la seconda e la terza lettera dipendono dalla lingua scelta: IT per italiano, EN per inglese. Così un tabulato .CEN indica norme CNR ed è scritto in inglese (gli altri CIT, EIT, EEN, AIT, AEN di conseguenza). Nel caso della norma CNR SL le estensioni differiscono da questa regola, e sono: C2I (italiano), C2E (inglese), C2S (spagnolo).

Una volta eseguito il comando si può scegliere di aprire automaticamente il file usando blocco note.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento.

### 3.1.16.1 Creazione del listato (Property sheet)

#### CREAZIONE DEL LISTATO (PROPERTY SHEET)

Questo property sheet contiene i seguenti fogli:

[Lingua](#)  653

[Geometria e proprietà](#)  654

[Casi combinazioni e azioni](#)  654

[Risposta strutturale](#)  654

[Verifiche](#)  654

#### 3.1.16.1.1 Lingua (Property page)

#### LINGUA (PROPERTY PAGE)

Questa property page fa scegliere la lingua in cui verrà scritto il tabulato.

## 3.1.16.1.2 Geometria e proprietà (Property page)

**GEOMETRIA E PROPRIETÀ (PROPERTY PAGE)**

Questa property page fa scegliere quali capitoli del tabulato aggiungere e quali no.

## 3.1.16.1.3 Casi combinazioni e azioni (Property page)

**CASI COMBINAZIONI E AZIONI (PROPERTY PAGE)**

Questa property page fa scegliere quali capitoli del tabulato aggiungere e quali no.

## 3.1.16.1.4 Risposta strutturale (Property page)

**RISPOSTA STRUTTURALE (PROPERTY PAGE)**

Questa property page fa scegliere quali capitoli del tabulato aggiungere e quali no.

## 3.1.16.1.5 Verifiche (Property page)

**VERIFICHE (PROPERTY PAGE)**

Questa property page fa scegliere quali capitoli del tabulato aggiungere e quali no.

**3.1.17 Crea Report****COMANDO: File-Crea Report**

[Ribbon-File]

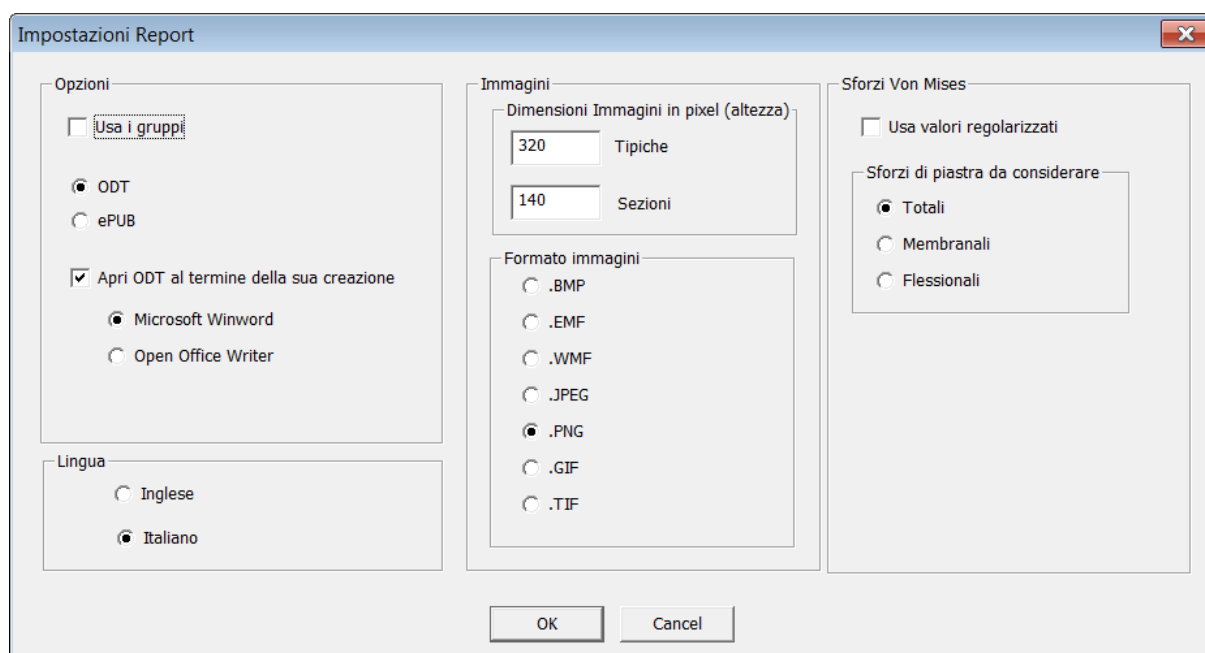


Alla esecuzione del comando compare un opportuno dialogo che consente di determinare le impostazioni per la creazione del report in formato ODT o ePUB.

Va tenuto presente che nel report ODT o ePUB possono anche essere aggiunti dei commenti, memorizzando tali commenti in opportuni testi grazie ai comandi posti sotto il menu Struttura-Testi.

### 3.1.17.1 Impostazioni Report ePUB (dialogo)

#### IMPOSTAZIONI REPORT (DIALOGO)



Questo dialogo serve a dare le impostazioni con cui verrà creato il report: il formato ODT o ePUB, la lingua, le dimensioni delle immagini della intera struttura ("Tipiche") o delle sezioni trasversali ("Sezioni"). Si può anche scegliere il formato delle immagini (consigliato: .PNG) e di conseguenza determinare la dimensione del file e la qualità delle immagini.

Il flag "Usa Gruppi" chiede di aggiungere alla tabella con i risultati anche delle righe riferentesi ai gruppi. E' specialmente utile per suddividere i risultati di piastre e membrane a seconda del gruppo di appartenenza. Se non sono stati definiti i gruppi conviene non usare questa opzione.

Il file ODT può automaticamente essere aperto al termine della creazione, scegliendo uno dei due programmi disponibili.

Gli sforzi di Von Mises usati per generare le tabelle del report possono essere quelli regolarizzati con la media ai nodi, o quelli originari. Per gli elementi piastra si può scegliere se includere solo gli sforzi membranali, solo quelli flessionali o quelli totali.

Si ricorda che al report è possibile aggiungere delle scritte personalizzate, usando i comandi posti sotto Struttura-Testi.

### 3.1.18 Esporta

#### COMANDO: File-Esporta

[Ribbon-File]



Questo comando consente di esportare informazioni (sotto forma di file) da Sargon. Alla sua esecuzione corrisponde la creazione di un file del tipo scelto dall'utente, e con il nome del modello. Scelto il tipo sono anche scelte le informazioni contenute. Ad esempio, il tipo .dxf indica la creazione di un file in formato .dxf contenente il disegno tridimensionale della struttura. Il tipo .arf indica informazioni di rimando per Strucad, e così via. I tipi disponibili sono:

<b>.dxf</b>	per AUTOCAD
<b>.arf</b>	per STRUCAD
<b>.sr3</b>	Sargon binario
<b>.sr4</b>	Sargon ASCII
<b>.ifc</b>	Industry Foundation Classes
<b>.ASC</b>	Tekla ASCII
<b>.SDN</b>	Steel Detailing Neutral File

**.OBJ** 3D a facce

A partire dalla versione 9.00 il comando relativo alla esportazione di primitive grafiche in formato dxf è stato potenziato in modo da assorbire le funzionalità precedentemente incluse nei moduli ARX, non più supportati. In particolare è possibile esportare sia travi e bielle che piastre e membrane. Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>682</sup> che consente di stabilire i criteri con i quali il file DXF viene creato.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento.

### 3.1.19 Importa

**COMANDO: File-Importa**

[Ribbon-File]



Questo comando importa in Sargon informazioni contenute in file esterni aventi un certo formato. I formati possibili sono:

<b>.anf</b>	mesh in formato STRUCAD di ACECAD.
<b>.bed</b>	ALGOR BEDIT
<b>.csv</b>	ALGOR
<b>.dat</b>	STRAP (file geomX.dat)
<b>.dxf</b>	mesh in formato AUTOCAD di AUTODESK.
<b>.esd</b>	mesh in formato SuperDrawII della ALGOR.
<b>.mct</b>	midas
<b>.r3d</b>	risa3d
<b>.sdb</b>	Sap 2000 (deve risiedere sul computer in uso)
<b>.shl</b>	SICS
<b>.sr2</b>	modello Sargon Windows, file binario interno di scambio
<b>.sr3</b>	modello Sargon Windows, file binario esterno di scambio

<b>.sr4</b>	modello Sargon Windows, file ASCII di scambio
<b>.srg</b>	modello Sargon in versione DOS.
<b>.std.txt</b>	STAAD (file creato usando la macro STD2STX.VBS da dentro STAAD PRO)

Per eseguire questo comando è necessario che il modello sia nuovo. Per informazioni su come importare file in formato .dxf, .esd o .anf si veda [Come creare la mesh](#)<sup>72</sup>.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento.

### 3.1.20 Crea file avi...

#### COMANDO: File-Crea file avi

[Ribbon-File]



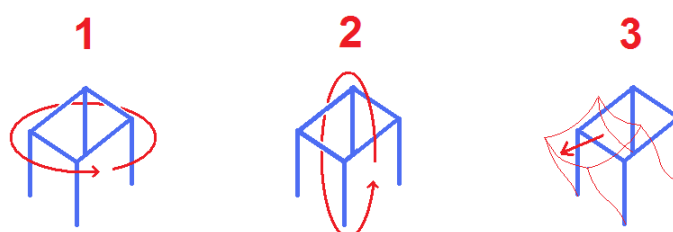
Questo comando consente la creazione di video in formato *avi* del modello Sargon corrente. I video sono costituiti da una successione di immagini statiche opportunamente create e disposte da Sargon, in accordo ai parametri definiti dall'utente nel [dialogo](#)<sup>660</sup> proposto all'esecuzione del comando.

E' possibile creare 3 tipi di filmato:

1. **Volo uccello su parallelo:** a partire dalla vista corrente, viene effettuata una rotazione di 360° della vista, come se una telecamera ruotasse attorno alla struttura su un piano parallelo. Se è attivo un comando di post-processing, i risultati corrispondenti verranno inclusi nella vista (ad esempio se è attiva la visualizzazione degli sforzi assiali negli elementi beam e truss in un dato caso di carico, tali sforzi saranno visibili anche nel video).

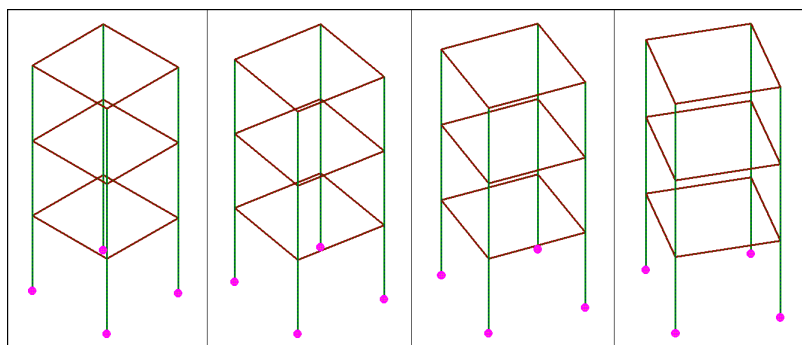


2. **Volo uccello su meridiano:** simile al precedente, con la differenza che la rotazione avviene su un piano verticale.
3. **Deformata corrente:** in caso di analisi statica, a partire dalla vista indeformata corrente si raggiunge vista deformata nel caso di carico attuale. Se non si tratta di una deformata statica ma di una deformata modale o critica, il video va dalla vista indeformata a quella deformata, quindi ritorna alla vista indeformata ed infine mostra la deformata negativa per tornare di nuovo all'indeformata.

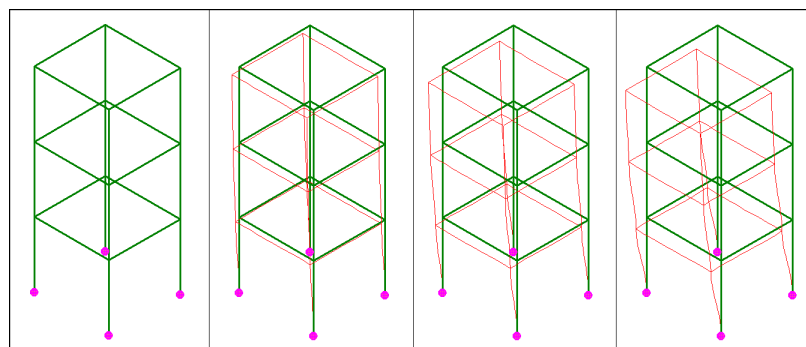


Le 3 modalità disponibili

Le immagini seguenti mostrano due esempi indicativi di frame successivi che costituiscono un video a volo d'uccello (su parallelo) e un video con deformata animata.




Esempio: volo uccello su parallelo



Esempio: deformata animata

Il file AVI creato dal programma, per ragioni di compatibilità, è privo di CODEC. Ciò vuol dire che la sua dimensione può essere molto grande. Per ridurre la dimensione di questi file AVI creati in modo automatico da Sargon, è sufficiente editare e poi salvare il file AVI originario in uno dei numerosi programmi per la gestione e la conversione dei file AVI disponibili in rete, o gratuitamente o al prezzo di pochi euro.

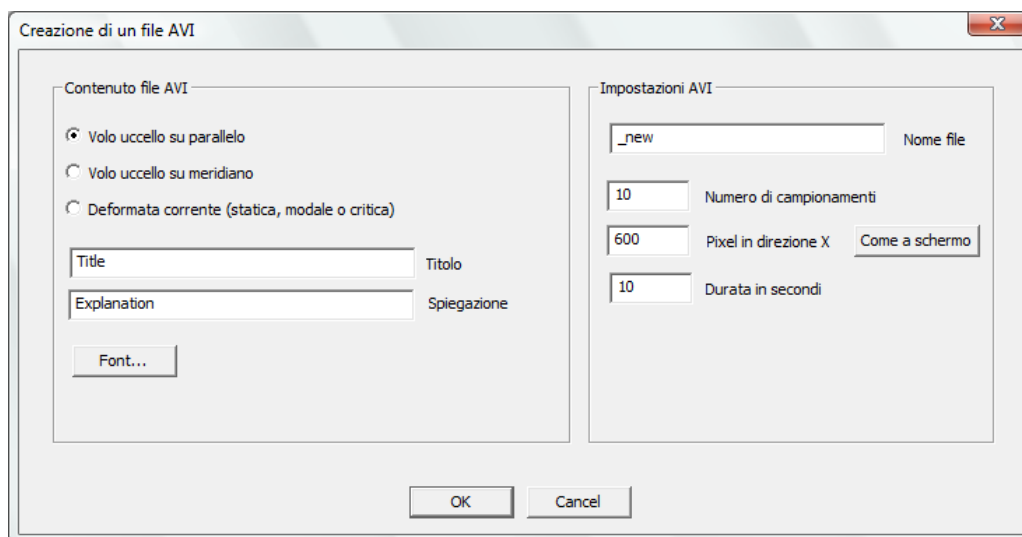
Per i dettagli sulle impostazioni e sui parametri del video si veda la descrizione del [dialogo](#) 

**Tipo:** modale

**Destinazione:** cartella del modello.

### 3.1.20.1 Creazione di un file AVI

#### CREAZIONE DI UN FILE AVI (DIALOGO)



In questo dialogo si definiscono le impostazioni per la creazione di un file avi.

Innanzitutto, si sceglie il [tipo](#)<sup>[658]</sup> di filmato che si vuole ottenere:

1. Volo uccello su parallelo
2. Volo uccello su meridiano
3. Deformata corrente

Si possono definire un **titolo** e una **spiegazione** opzionali.

Occorre quindi definire il **nome** che si vuole assegnare al video. Il nome completo del file avi creato sarà così definito:

*[nome modello] + [nome video] .avi*

Il file verrà creato nella stessa cartella in cui si trova il modello Sargon.

Attraverso il bottone *Font* è possibile scegliere il font delle scritte che verranno aggiunte nel video (titolo e spiegazione).

Vanno infine definiti i parametri relativi a:

- **Numero di campionamenti:** è il numero di step in cui viene suddivisa una rotazione completa o il passaggio dalla vista deformata a quella indeformata. Maggiore è il numero di campionamenti, maggiori sono la "fluidità" del video ma anche le sue dimensioni su disco.
- **Pixel in direzione X:** le dimensioni del video possono essere diverse da quelle della finestra corrente (o meglio, della sola vista grafica, al netto dell'ingombro delle barre dei bottoni, dei menu, ecc.). Se si preme *Come a schermo*, il numero di pixel in direzione X (larghezza della vista) verrà posto uguale alla larghezza in pixel della vista corrente; se si specifica un numero diverso, il video verrà riscalato. La dimensione in direzione Y (altezza della vista) è calcolata automaticamente per mantenere inalterato l'aspect ratio (rapporto altezza-larghezza) della vista corrente. Maggiori dimensioni in pixel comportano dimensioni maggiori del file su disco.
- **Durata in secondi:** determina la durata del video. Si tenga presente che la durata massima di un'immagine è limitata a 1 secondo, per evitare di avere video troppo lenti: la durata in secondi di un filmato, quindi, può essere al massimo pari al numero di immagini totali (dipendente dal numero di campionamenti). Per una maggior scorrevolezza del video, è consigliabile che i secondi di durata del video siano sensibilmente maggiori del numero totale di immagini. **Nota:** la durata effettiva del video potrebbe differire lievemente da quella richiesta, in quanto la durata delle immagini viene arrotondata.

**Nota:** uno zoom della struttura viene effettuato automaticamente, in base alle dimensioni definite per il video, in modo che l'intera struttura sia sempre [inclusa](#)<sup>[742]</sup> interamente in tutte le immagini. C'è una sola eccezione a questa regola: se si crea un video in modalità "deformata corrente", definendo la dimensione X del video pari a quella dello schermo, lo zoom della vista corrente viene mantenuto. In questo modo si può creare un video che mostra un dettaglio della deformata animata.

### 3.1.21 Fondi

#### COMANDO: File-Fondi

[Ribbon-File]



Questo comando fonde nel modello corrente un altro modello, presente su file. La fusione tra i due modelli avviene seguendo certe regole, che verranno qui riepilogate.

Sia detto padre il modello attivo al momento della esecuzione del comando, e figlio il modello il cui file viene specificato dall'utente.

- il modello padre determina i casi e le combinazioni, in numero e tipo;
- i nodi vengono fusi (considerati coincidenti) se distano tra loro meno della tolleranza specificata nel modello padre;
- gli elementi del modello figlio vengono aggiunti agli elementi del modello padre;
- il modello risultante perde la possibilità di leggere sforzi e deformazioni precedentemente calcolati;
- tutte le azioni del modello figlio vengono aggiunte al modello padre, ordinatamente caso per caso. I casi del modello figlio aventi numero d'ordine maggiore al numero totale di casi del modello padre vengono scartati, e con essi le azioni in essi contenute. Si noti che è sempre possibile organizzare i casi in modo che non vi siano casi scartati (è sufficiente aggiungere casi vuoti al modello padre, sino a raggiungere il numero di casi del modello figlio).
- I superelementi del modello figlio vengono aggiunti al modello padre.
- Tutte le caratteristiche degli elementi, inclusi i coefficienti di libera inflessione, i fattori di riduzione dell'area, le sezioni ed i materiali, vengono copiate nel modello padre.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento.

### 3.1.22 Aggiorna

**COMANDO:** File-Aggiorna

[Ribbon-File]

Questo comando aggiorna il modello corrente sulla base delle informazioni fornite in un file esterno. I formati gestiti sono:

**.anf    Strucad****Tipo:** modale**Destinazione:** documento.**Note sull'aggiornamento con file .anf**

Questo comando legge un file **.anf** salvando tutto quanto è possibile del modello corrente. Il nome del modello finale è quello del file **.anf**. Se i nodi descritti nel file **.anf** hanno la stessa posizione (a meno della tolleranza) di quelli del modello corrente essi verranno identificati, e le forze ed i vincoli applicati ad essi non verranno perse. Lo stesso dicasi per gli elementi. Due elementi sono reputati eguali se sono attaccati agli stessi nodi dell'unifilare e se sono dello stesso tipo (truss in Sargon e dichiarati truss nell' **.anf**, beam in Sargon e dichiarati beam nell' **.anf**). Sono possibili i seguenti casi:

**a) Nodo di Sargon presente in Strucad**

Conserva i vincoli e le forze applicate.

**b) Nodo di Sargon non presente in Strucad**

Viene cancellato, e con esso i suoi vincoli e le forze ad esso applicate.

**c) Nodo di Strucad non presente in Sargon**

Viene aggiunto, ma su di esso non ci sono nè vincoli nè forze.

**d) Elemento di Sargon presente in Strucad**

Acquisisce la sezione e le eccentricità di quello in Strucad. Conserva i coefficienti di libera inflessione, i carichi, i coefficienti di riduzione dell'area presenti in Sargon.

**e) Elemento di Sargon assente in Strucad (ovvero anche se di tipo diverso)**

Viene cancellato, e con esso tutti i dati Sargon ad esso associati, inclusi i carichi.

**f) Elemento di Strucad assente in Sargon**

Viene aggiunto, ma senza carichi e con tutti i default.

Questo comando è molto potente. Esso consente di non perdere che un minimo di informazione dopo aver fatto un modello in Sargon che debba essere modificato in Strucad.

**3.1.23 Comandi****COMANDO: File-Comandi**

[Ribbon-File]

Questo comando consente di leggere un insieme di comandi contenuti in un file. I comandi devono seguire una certa sintassi, ed il file, ASCII, deve essere costruito seguendo certe regole.

La possibilità di eseguire comandi contenuti in un file può essere molto utile in contesti nei quali si debba eseguire un gran numero di operazioni simili, oppure quando si debbano generare modelli o sotto modelli in modo parametrico.

Qui di seguito viene accluso un esempio di file di comandi (estensione .scm):

\$ combinazioni per AFS 2000

\_ADDCOMBI Permanenti + accidentali

\_COMBI 1 1 1.00

\_COMBI 1 2 0.70

\_COMBI 1 3 0.90

\_ADDCOMBI Permanenti + sisma x

```
_COMBI 2 1 1.00  
_COMBI 2 4 1.00
```

Il file .scm è costituito da un certo numero di linee. Ogni linea può essere un commento o un'istruzione. Se la linea è un commento essa deve cominciare con il carattere "\$". Se la linea è un comando deve cominciare con un identificatore di comando. Tutti gli identificatori cominciano con il carattere "\_". Le linee che non cominciano con "\$" nè con "\_" devono essere continuazioni di comando (per i comandi che ammettono continuazione su linee successive).

Qui di seguito viene indicata la sintassi dei comandi che si possono eseguire da file. Nelle spiegazioni di seguito elencate si tengano presenti le seguenti regole convenzionali:



















Ciò che è tra parentesi quadre è opzionale.

Ciò che è tra parentesi graffe può essere un numero o una variabile precedentemente definita.

Sono ammesse le operazioni tra variabili (+, -, \*, /) e l'uso delle parentesi tonde anche annidate nelle espressioni. Sono inoltre ammesse le funzioni sin(), cos(), tan(), atan(), asin(), acos(). Per familiarizzarsi con le macro si vedano i file .scm contenuti nel direttorio di installazione.

[\\_ADDCOMBI](#)<sup>[667]</sup>  
[\\_ADDELE](#)<sup>[671]</sup>  
[\\_ADDPM](#)<sup>[672]</sup>  
[\\_ADDLCASE](#)<sup>[667]</sup>  
[\\_ADDNODE](#)<sup>[671]</sup>  
[\\_ADDVAR](#)<sup>[670]</sup>  
[\\_COMBI](#)<sup>[668]</sup>  
[\\_COMBISELECT](#)<sup>[669]</sup>  
[\\_COMBISELECTALL](#)<sup>[669]</sup>  
[\\_COMBIUNSELECT](#)<sup>[669]</sup>  
[\\_COMBIUNSELECTALL](#)<sup>[669]</sup>  
[\\_CONSTRNODE](#)<sup>[675]</sup>  
[\\_CURPROP](#)<sup>[674]</sup>




[\\_\\_DELNOD](#)   
[\\_\\_ENDLOOP](#)   
[\\_\\_ENDNEWSTRUC](#)   
[\\_\\_FORCENODE](#)   
[\\_\\_MASSNODE](#)   
[\\_\\_MOMENTNODE](#)   
[\\_\\_LOOP](#)   
[\\_\\_NEWBLOCK](#)   
[\\_\\_NEWSTRUC](#)   
[\\_\\_PBEAM](#)   
[\\_\\_POSITION](#)   
[\\_\\_POSTIMPORT](#)   
[\\_\\_PREFIX](#)   
[\\_\\_REMOVE](#)   
[\\_\\_SUMLCASE](#)   
[\\_\\_SUMXYZLCASE](#)   
[\\_\\_UNIT](#)   
[\\_\\_ZEROLCASE](#) 

**\_\_ADDCOMBI    name**

**name**                    nome da dare alla combinazione (può contenere spazi e va fino alla fine della linea)

Aggiunge una combinazione a quelle esistenti.

Questo comando è molto utile quando si debbano assegnare parecchie combinazioni. Usato in combinazione con il comando [\\_\\_COMBI](#)  consente di rendere molto molto rapida l'aggiunta e la modifica delle combinazioni. Conviene usare questo comando quando le combinazioni sono molte.

**\_\_ADDLCASE    kind   psi0   psi1   psi2   name**

**kind** indica il tipo del caso di carico e può assumere uno dei valori seguenti:

**GRAVITY**

**DEAD**

**LIVE**

**SNOW**

**WIND**

**EARTHSTATIC**

**THERMAL**

**EARTHMODAL**

**Psi0** coefficiente di combinazione

**Psi1** coefficiente di combinazione (valore frequente)

**Psi2** coefficiente di combinazione (valore quasi permanente)

**name** nome da dare al caso di carico (può contenere spazi e va fino alla fine della linea)

Aggiunge un caso di carico a quelli esistenti.

Questo comando è molto utile quando si debbano assegnare parecchi casi di carico. Esempio:

```
_ADDLCASE SNOW 0.7 0.2 0.0 Neve sulla copertura
```

```
_COMBI nc nl fact
```

**nc** numero della combinazione

**nl** numero del caso di carico

**fact** fattore che il caso nl ha nella combinazione nc

Assegna il fattore di un caso in una combinazione.

Questo comando è molto utile quando si debbano assegnare parecchie combinazioni. Usato in combinazione con il comando [ADDCOMBI](#)<sup>[667]</sup> consente di rendere molto molto rapida l'aggiunta e la modifica delle combinazioni. Conviene usare questo comando quando le combinazioni sono molte.

**\_COMBISELECT nc**

**nc**            numero della combinazione da selezionare

Seleziona una combinazione.

**\_COMBISELECTALL**

Seleziona tutte le combinazioni.

**\_COMBIUNSELECT nc**

**nc**            numero della combinazione da deselezionare

Deseleziona una combinazione.

**\_COMBIUNSELECTALL**

Deseleziona tutte le combinazioni.

**\_REMOVE   what   num**

**what**                    indica cosa si vuole cancellare e può assumere uno dei valori seguenti:

**COMBI** per rimuovere una combinazione

**LCASE** per rimuovere un caso di carico

**num**                    indica il numero che individua l'oggetto da cancellare

Cancella casi o combinazioni di carico. Si noti che ad ogni cancellazione e prima di eseguire ogni altro comando, i casi e le combinazioni vengono rinumerati in modo da mantenere una numerazione sequenziale. Ad esempio, se si hanno i casi 1, 2, 3, 4, 5 e si cancella il caso 2, si avranno i casi **1, 2, 3, 4**, i quali, prima della cancellazione avevano ordinatamente i seguenti numeri (1, 3, 4, 5).

**\_ADDVAR   type   name   explain**

**type**                    indica se il parametro è reale o intero e può assumere uno dei valori seguenti:

**REAL**   perchè il parametro sia un numero reale

**INT**       perchè il parametro sia un numero intero

**Name**                    indica il nome che individua il parametro (max 19 caratteri)

**Explain**       è la spiegazione da dare a chi deve fornire il parametro (l'utente): max 100 caratteri

Consente di aggiungere un parametro, del quale si dà il nome ed il valore.

**\_ADDNODE** {**suffix1**} {**x**} {**y**} {**z**} [**to** {**suffix2**} {**x2**} {**y2**} {**z2**} {**step**}]

**suffix1** indica il suffisso del primo nodo da aggiungere.

**x** indica l'ascissa del primo nodo da aggiungere

**y** indica l'ordinata del primo nodo da aggiungere

**z** indica la quota del primo nodo da aggiungere

**step** indica il passo di incremento del suffisso da suffix1 a suffix2

Consente di aggiungere nodi. Valgono le seguenti regole:

$\text{suffix2} \geq \text{suffix1}$

$\text{suffix1} + n * \text{step} = \text{suffix2}$   $n$  è un intero che deve esistere

**\_ADDELE** **type** {**suffix1**} {**suff\_n1**} {**suff\_n2**} {**suff\_n3**} [**to** {**suffix2**} {**stepe**} {**stepn**}]

**type** indica il tipo degli elementi e può assumere uno dei valori seguenti:

BEAM perchè gli elementi siano travi

TRUSS perchè gli elementi siano bielle

**suffix1** indica il suffisso del primo elemento da aggiungere.

**suff\_n1** indica il suffisso del primo nodo del primo elemento

**suff\_n2** indica il suffisso del secondo nodo del primo elemento

**suff\_n3** indica il suffisso del terzo nodo del primo elemento. Se viene indicato "INFPX", "INFPY", "INFPZ", "INFMX", "INFMY", "INFMZ", verrà usato il terzo nodo posto all'infinito Positivo o Negativo specificato.

**suffix2** indica il suffisso dell'ultimo elemento da aggiungere.

**stepe** indica il passo di incremento del suffisso dell'elemento

**stepn** indica il passo di incremento del suffisso del primo e del secondo nodo (il terzo non viene incrementato).

Consente di aggiungere elementi trave o biella.

**\_ADDPM type {suffix1} {suff\_n1} {suff\_n2} {suff\_n3} {suff\_n4} [to {suffix2} {stepe} {stepn}]**

**type** indica il tipo degli elementi e può assumere uno dei valori seguenti:

**PLATE** perchè gli elementi siano piastre

**MEMBR** perchè gli elementi siano membrane

**suffix1** indica il suffisso del primo elemento da aggiungere.

- suff\_n1** indica il suffisso del primo nodo del primo elemento
- suff\_n2** indica il suffisso del secondo nodo del primo elemento
- suff\_n3** indica il suffisso del terzo nodo del primo elemento
- suff\_n4** indica il suffisso del quarto nodo del primo elemento (se = 0 l'elemento è triangolare)
- suff\_x2** indica il suffisso dell'ultimo elemento da aggiungere.
- stepe** indica il passo di incremento del suffisso dell'elemento
- stepn** indica il passo di incremento del suffisso del primo, del secondo nodo, del terzo e (se diverso da zero) del quarto nodo

Consente di aggiungere elementi piastra o membrana.

**\_PREFIX type string**

**type** indica il tipo degli oggetti dei quali viene stabilito il prefisso e può assumere uno dei valori seguenti:

**BEAM, TRUSS, NODE, PLATE, MEMBR, SPRING**

**string** indica la stringa che, da ora in poi costituirà il prefisso per gli oggetti del tipo specificato (max 15 caratteri)

Consente di specificare un prefisso diverso da aggiungere al suffisso. In questo modo si possono usare numerazioni di suffisso identiche avendo nomi diversi.

**\_LOOP var {start} {end}**

**var** nome della variabile (anche nuova) da iterare nel ciclo

**start** valore iniziale

**end** valore finale

Esegue le istruzioni contenute sino al prossimo [\\_ENDLOOP](#)<sup>[674]</sup> un numero di volte pari a (end-start+1). I loop possono essere annidati.

**\_ENDLOOP**

marca la fine delle istruzioni contenute in un blocco di [\\_LOOP](#)<sup>[674]</sup>.

**\_CURPROP {prop}**

**prop** numero della proprietà di sezione da assegnare ai successivi elementi trave e biella aggiunti



Stabilisce il valore corrente del numero di sezione. Tale numero viene usato nel comando [ADDELE](#)<sup>[671]</sup> come numero da attribuire agli elementi aggiunti.

## `_DELNODE`

Elimina i nodi non referenziati dalla struttura corrente.

## `_CONSTRNODE {suffix1} to {suffix2} {step} [TX] [TY] [TZ] [RX] [RY] [RZ]`

suffix1	suffisso del primo nodo
suffix2	suffisso dell'ultimo nodo
step	incremento del suffisso
TX	la traslazione x è vincolata
TY	la traslazione y è vincolata
TZ	la traslazione z è vincolata
RX	la rotazione x è vincolata
RY	la rotazione y è vincolata
RZ	la rotazione z è vincolata

Applica la maschera di vincolo specificata ai nodi specificati, da suffix1 a suffix2 (con il prefisso corrente). Se il grado di libertà è libero non mettere il corrispondente codice: ad esempio una cerniera sferica sarà "TX TY TZ".

## `_NEWSTRUC`

indica che le istruzioni fino al successivo [ENDNEWSTRUC](#)<sup>[676]</sup> si riferiscono ad una nuova struttura locale, che diventa la struttura corrente. Appena raggiunta l'istruzione

`_ENDNEWSTRUC`, la struttura locale viene fusa automaticamente con le regole del comando "Fondi", nella struttura principale. Le istruzioni `\_NEWSTRUC`<sup>[675]</sup> non possono essere annidate.

Se il contenuto di un file di macro viene avvolto tra due istruzioni `_NEWSTRUC` ed `_ENDNEWSTRUC`, questo può poi essere richiamato da un altro file senza problemi di interferenza. Si veda il file di esempio "prattXZ.scm".

## `_ENDNEWSTRUC`

termina un blocco `\_NEWSTRUC`<sup>[675]</sup> ed ordina che la struttura locale venga fusa con quella principale.

## `_NEWBLOCK {x} {y} {z} filename`

x Traslazione x da applicare al nuovo blocco

y Traslazione y da applicare al nuovo blocco

z Traslazione z da applicare al nuovo blocco

filename nome del file di comandi da eseguire

Consente di eseguire una macro contenuta in un altro file. I nodi e gli oggetti definiti nel nuovo blocco vengono inseriti in una struttura a parte, che, alla fine del blocco, viene fusa con la struttura corrente. Prima di essere fusa la struttura locale viene traslata di (x, y, z).

## `_POSITION`

Chiede all'utente una traslazione globale della intera struttura corrente. Se questa istruzione viene eseguita come parte di un blocco richiamato da un comando `_NEWBLOCK` non viene materialmente eseguita, in quanto lo shift è già precedentemente stato specificato (se un file è usato direttamente il comando consente di posizionare la struttura corrente, se è usato indirettamente con una chiamata a `\_NEWBLOCK`<sup>[676]</sup> la istruzione `_POSITION` diviene superflua).

**\_POSTIMPORT fatherlcase sonlcase file\_path**

Vengono importati nel modello corrente, e sovrascritti, gli spostamenti, gli sforzi e le reazioni vincolari calcolati in un altro modello, che deve avere lo stesso numero di nodi e di elementi. **fatherlcase** è il caso di carico del modello corrente. **sonlcase** è il caso di carico da cui trarre i risultati nel modello "son", di appoggio. **file\_path** è l'intero percorso del file di appoggio da cui trarre i risultati (c:\pluto\paperino.wsr). Il comando è utile per automatizzare la sovrascrittura dei risultati da un altro modello nel modello corrente. Automatizza il comando **Post-Importa**.

**\_FORCENODE {suffix1} to {suffix2} {step} {lcase} {Fx} {Fy} {Fz}**

suffix1	suffisso del primo nodo
suffix2	suffisso dell'ultimo nodo
step	incremento del suffisso
lcase	caso di carico
Fx	componente in direzione x della forza
Fy	componente in direzione y della forza
Fz	componente in direzione z della forza

Applica la forza specificata ai nodi specificati, da suffix1 a suffix2 (con il prefisso corrente). Quando il comando viene eseguito il caso di carico **lcase** deve esistere.

**\_MASSNODE {suffix1} to {suffix2} {step} {Mx} {My} {Mz}**

suffix1	suffisso del primo nodo
suffix2	suffisso dell'ultimo nodo
step	incremento del suffisso

Mx	componente in direzione x della massa traslazionale
My	componente in direzione y della massa traslazionale
Mz	componente in direzione z della massa traslazionale

Applica la massa specificata ai nodi specificati, da suffix1 a suffix2 (con il prefisso corrente).

**\_MOMENTNODE {suffix1} to {suffix2} {step} {lcase} {Mx} {My} {Mz}**

suffix1	suffisso del primo nodo
suffix2	suffisso dell'ultimo nodo
step	incremento del suffisso
lcase	caso di carico
Mx	componente in direzione x della coppia
My	componente in direzione y della coppia
Mz	componente in direzione z della coppia

Applica la forza specificata ai nodi specificati, da suffix1 a suffix2 (con il prefisso corrente). Quando il comando viene eseguito il caso di carico **lcase** deve esistere.

**\_pBEAM {suffix1} to {suffix2} {step} {lcase} {px} {py} {pz}**

suffix1	suffisso del primo nodo
suffix2	suffisso dell'ultimo nodo
step	incremento del suffisso
lcase	caso di carico
px	componente in direzione x del carico uniformemente distribuito

py	componente in direzione y del carico uniformemente distribuito
pz	componente in direzione z del carico uniformemente distribuito

Applica il carico uniformemente distribuito specificato agli elementi beam specificati, da suffix1 a suffix2 (con il prefisso corrente). Quando il comando viene eseguito il caso di carico **lc case** deve esistere.

#### **\_SUMLCASE lc1 lc2 {fact}**

lc1	caso di carico (lc1) a cui si somma un altro caso di carico lc2
lc2	caso di carico che viene sommato a lc1
fact	fattore per cui viene moltiplicato lc2 prima di sommarlo a lc1

#### **\_SUMXYZLCASE lc1 lc2 {factx} {facty} {factz}**

lc1	caso di carico (lc1) a cui si somma un altro caso di carico lc2
lc2	caso di carico che viene sommato a lc1
factx	fattore per cui viene moltiplicato lc2 in direzione x prima di sommarlo a lc1
facty	fattore per cui viene moltiplicato lc2 in direzione y prima di sommarlo a lc1
factz	fattore per cui viene moltiplicato lc2 in direzione z prima di sommarlo a lc1

#### **\_UNIT unit**

<b>unit</b>	nuova unità di misura da adottare, può assumere i seguenti valori:
mm	millimetri
cm	centimetri
mt	metri

in	pollici
ft	piedi
yd	iarde
N	Newton
DAN	Deca Newton
KN	Kilo Newton
GR	Grammi
KG	Kilogrammi
ton	Tonnellate
p	libbre
kip	migliaia di libbre
sec	secondi
min	minuti
hou	ore
°C	gradi centigradi
°F	gradi Farenheit

Assume l'unità di misura specificata come unità con la quale interpretare i successivi dati di input.

#### ZEROLCASE lc1

lc1            caso di carico (lc1) da azzerare

**Tipo:** immediato.

**Destinazione:** documento.

### 3.1.24 Calcolatrice

**COMANDO: File-Calcolatrice**

[Ribbon-File]



Questo comando lancia la calcolatrice di Windows.

**Tipo:** immediato

### 3.1.25 Esci

**COMANDO: File-Esci**

[Ribbon-File]



Questo comando fa uscire da Sargon. Se i documenti aperti sono stati modificati si viene richiesti di salvarli.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** applicazione.

## 3.2 Creazione di un file (Dialogo)

### CREAZIONE DI UN FILE (DIALOGO)

Questo dialogo serve a stabilire l'estensione del file di esportazione e, nel caso del file DXF, a decidere in che modo il file debba essere creato.

Se si sceglie come estensione “.arf” si crea un file di collegamento con STRUCAD.

Se si sceglie “.dxf” si crea un file di collegamento per tutti i CAD DXF compatibili. In questo ultimo caso sono presenti alcune caselle di scelta che consentono di stabilire in che modo venga creato il file.

**Travi e bielle:** sono contenute in questo riquadro le scelte in merito agli elementi finiti trave e biella.

**Piastre e membrane:** sono contenute in questo riquadro le scelte in merito agli elementi finiti piastra e membrana.

#### Travi e bielle

**Come wireframe:** ogni trave o biella (o membratura) viene esportata come una linea.

**Come solidi (linee e polilinee):** ogni trave o biella viene trasformata in solido descritto per mezzo di linee

**Come solidi (facce 3d):** ogni trave o biella o membratura viene trasformata in solido descritto per mezzo di facce 3d. Questa scelta è consigliabile per il rendering e lo shading.

**Non esportare:** in questo caso gli elementi non verranno esportati

**Solo selezionate:** in questo caso verranno esportati solo gli elementi selezionati (travi o bielle)

**Con eccentricità:** in questo caso nella creazione del file si terrà conto della presenza di eventuali eccentricità

**Come membrature e non come fem:** in questo caso il programma ricerca automaticamente le membrature (usando il segno di connessione e le informazioni sulla giacitura e sulle forme sezionali) ed esporta quelle. Ciò vuol dire che un pezzo spezzato in più elementi finiti viene di fatto ad essere esportato come un elemento unico.



## Piastre e membrane

**Come facce 3d:** ad ogni elemento corrisponde una sola faccia 3d

**Come solidi (tutte linee):** in questo caso si restituiscono i solidi tenendo conto dello spessore, ma restituendo i solidi mediante linee.

**Come solidi (facce 3d):** in questo caso si restituiscono i solidi tenendo conto dello spessore e mediante 5 (elementi triangolari) o 6 (elementi quadrangolari) facce 3d.

**Non esportare:** in questo caso questi elementi non vengono esportati

**Solo selezionate:** in questo caso vengono esportati solo gli elementi selezionati

Le funzionalità servite da questo dialogo sostituiscono quelle servite dal modulo WSR.ARX e dal comando WSRIN, descritto in precedenti versioni del programma.

## 3.3 Menu Mostra, Ribbon: Home

### 3.3.1 Personalizza interfaccia

#### COMANDO: Mostra-Personalizza interfaccia

Questo comando ha come scopo quello di consentire all'utente di personalizzare l'interfaccia. Tale attività può consistere:

- nel modificare le barre dei bottoni predefinite
- nell'aggiungere nuove barre di bottoni, il cui contenuto è liberamente scelto dall'utente
- nel modificare l'aspetto dei bottoni e la eventuale presenza di scritte
- nell'assegnare opportune sequenze di tasti alla esecuzione di un comando

#### Il funzionamento del comando

All'esecuzione del comando compare un dialogo di sistema, ed alla sua uscita i cambiamenti richiesti vengono applicati.

Il dialogo di sistema è composto da diversi pannelli:

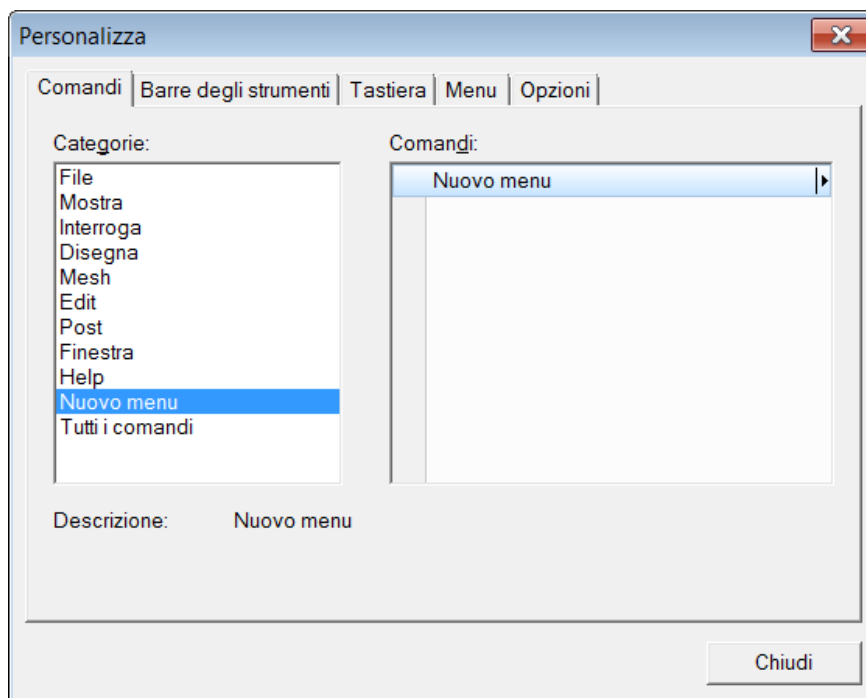
Pannello Comandi

Pannello Barre degli strumenti

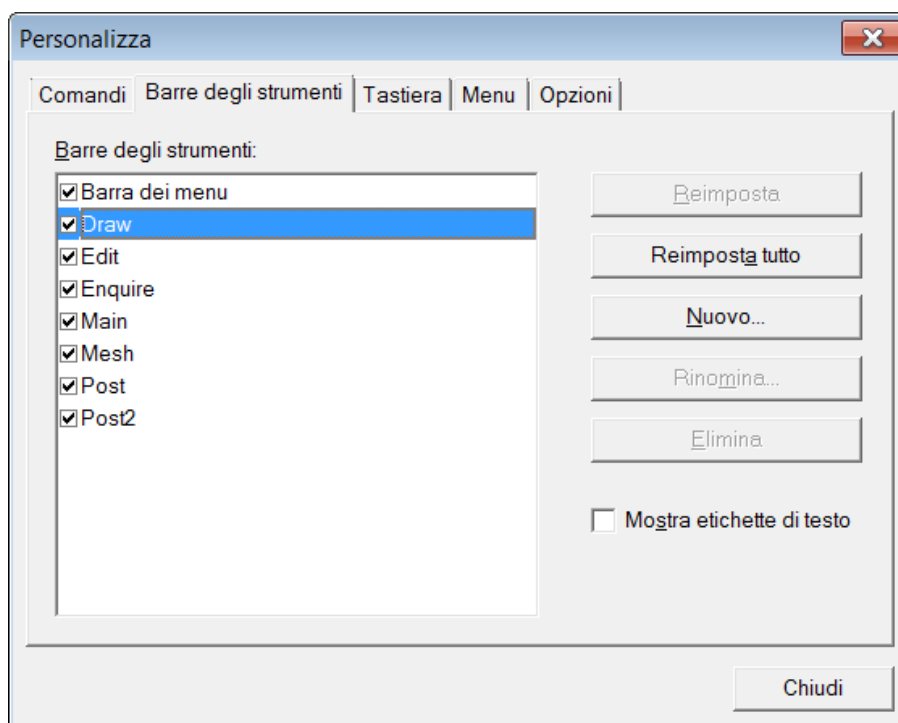
Pannello Tastiera

Pannello Menu

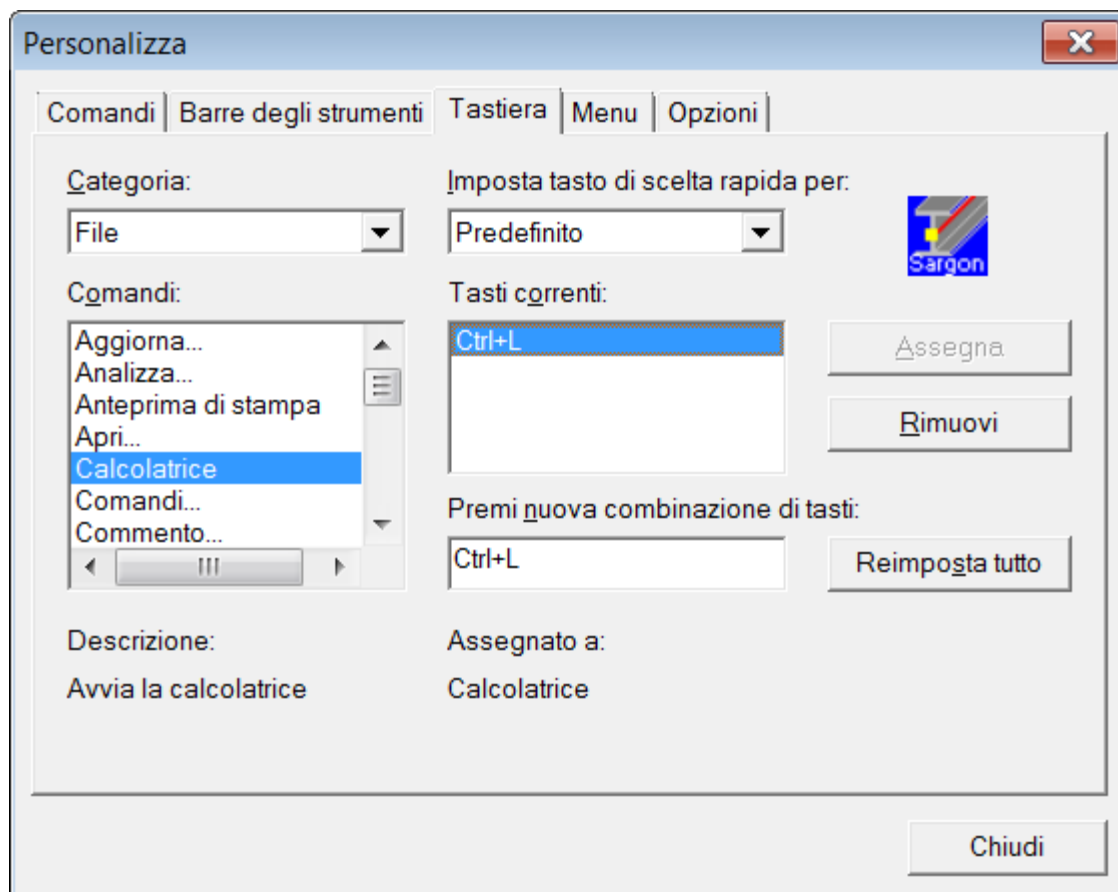
Pannello Opzioni



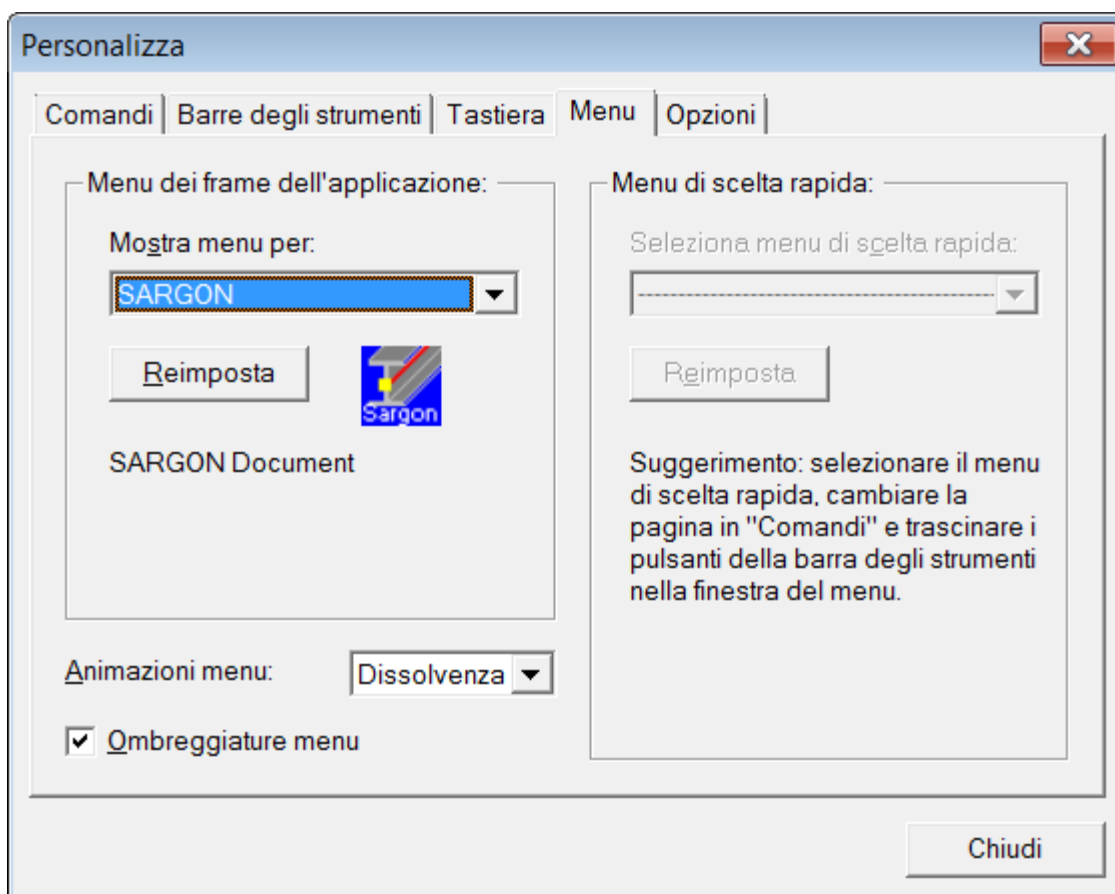
Il Pannello Comandi elenca tutti i comandi disponibili, sia in ciascun menu sia come lista complessiva. Se si sceglie "Nuovo menu" e si trascina la freccia in una posizione plausibile, ad esempio in coda al menu principale, si crea lo spazio per trascinare ivi nuovi comandi, definendo un menu aggiuntivo. Se, nel corso della esecuzione del comando Personalizza Interfaccia, si clicca il tasto destro del mouse sul nuovo menu, è possibile mutarne il nome ed anche eliminarlo.



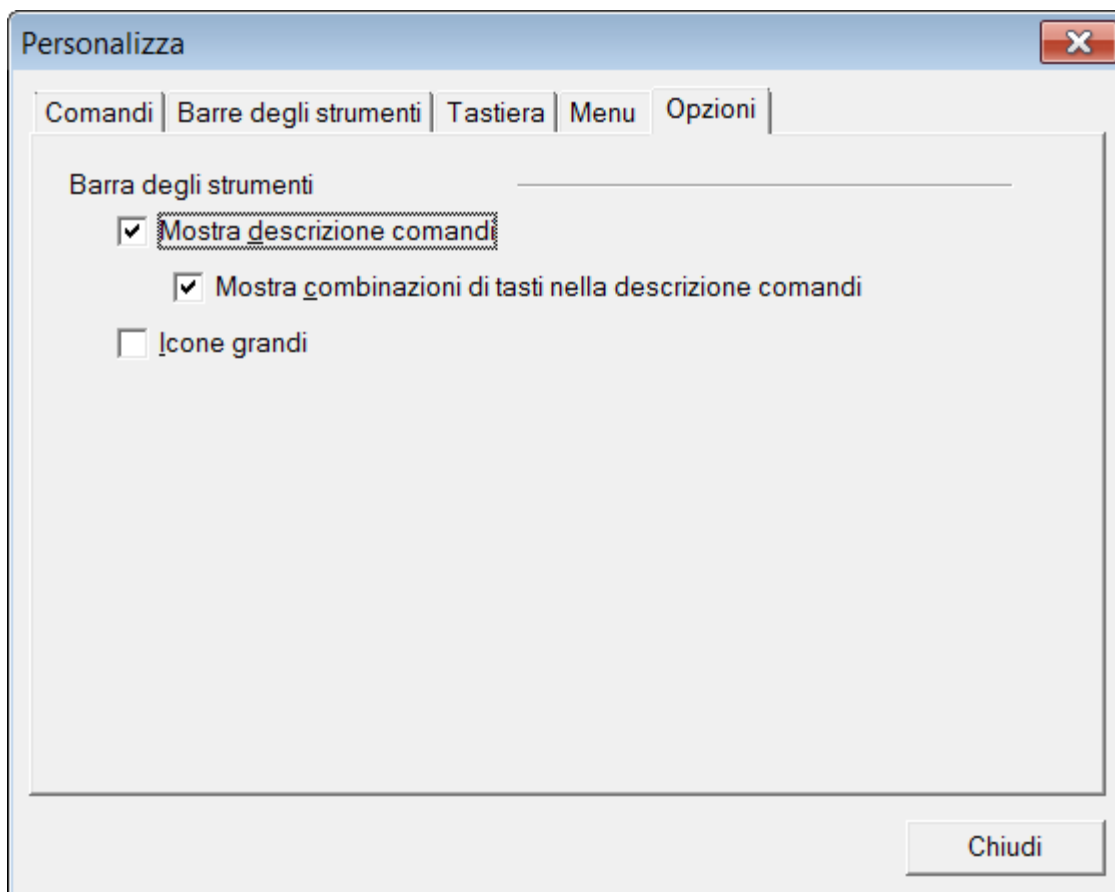
Il Pannello Barre degli strumenti elenca le barre dei bottoni disponibili e consente di decidere se si devono vedere o no. Esso, tramite il bottone "Nuovo" consente anche di aggiungere nuove barre dei bottoni, che verranno definite trascinando i bottoni desiderati all'interno della barra stessa. Infatti alla pressione del bottone "Nuovo" si crea una barra vuota all'interno della quale è possibile trascinare nuovi bottoni presi tra tutti quelli disponibili.



Il Pannello Tastiera consente di associare a ciascun comando una opportuna sequenza di tasti, per consentire maggiore rapidità di esecuzione. Scelto un comando, ed introdotta una sequenza di tasti (ad esempio Ctrl+L) si preme il bottone "Assegna" per assegnare la sequenza di tasti al comando.



Il Pannello Menu consente di fare scelte sul modo di rappresentare il Menu.



Il Pannello Opzioni consente di fare alcune scelte: se usare icone grandi o piccole per i bottoni, se aggiungere o no le scritte esplicative (tool tip).

Tutte queste opzioni consentono di creare una interfaccia davvero personalizzata.

Le impostazioni vengono salvate nel registro alla voce HKEY\_CURRENT\_USER\Software\Castalia\Sargon, così che alle successive sessioni l'interfaccia resti come l'utente ha scelto.

Nel caso in cui si adotti uno schermo a 14", i settaggi di default non sono accettabili perchè ci sono troppi bottoni. L'utente potrà scegliere di ridurre il numero dei bottoni a proprio piacimento, in modo da adattare la lunghezza delle barre allo schermo disponibile.

## Le barre predefinite

Le barre sono spostabili e possono essere messe anche altrove. Non è necessario che tutte le barre siano contemporaneamente presenti sullo schermo. Esse sono tematiche, ovvero ad ogni barra corrisponde un gruppo di comandi affini.



La barra “principale” racchiude comandi usati frequentemente in ogni fase del lavoro (meshing, definizione di carichi, proprietà e vincoli, postprocessing).

Le altre barre sono:



La barra Disegna, per i comandi sotto il menu Disegna.



La barra Mesh, per i comandi sotto il menu Mesh.



La barra Edit, per i comandi sotto il menu Edit.



La barra Post, per i comandi di post-processing.



La barra Post2, per i comandi di post-processing.



La barra Inquire, per i comandi di interrogazione.

**Tipo:**modale

**Destinazione:** applicazione.

### **3.3.2 Barra di Stato**

#### **COMANDO: Mostra-Barra Di Stato**

Questo comando fa vedere oppure no la barra di stato della vista attiva al momento della esecuzione del comando.

**Tipo:**modale

**Destinazione:** vista.

### **3.3.3 Aspetto applicazione**

#### **3.3.3.1 Win 2000**

Questo comando è usato per modificare l'aspetto della interfaccia, in accordo alla tipologia definita dal nome del comando stesso. La modifica ha effetto immediato ed è conservata per le sezioni successive (la memorizzazione avviene nella chiave di registro HKEY\_CURRENT\_USER\Software\Castalia\CSE.

#### **3.3.3.2 Office XP**

Questo comando è usato per modificare l'aspetto della interfaccia, in accordo alla tipologia definita dal nome del comando stesso. La modifica ha effetto immediato ed è conservata per le sezioni successive (la memorizzazione avviene nella chiave di registro HKEY\_CURRENT\_USER\Software\Castalia\CSE.



### 3.3.3.3 Windows XP

Questo comando è usato per modificare l'aspetto della interfaccia, in accordo alla tipologia definita dal nome del comando stesso. La modifica ha effetto immediato ed è conservata per le sezioni successive (la memorizzazione avviene nella chiave di registro HKEY\_CURRENT\_USER\Software\Castalia\CSE).

### 3.3.3.4 Office 2003

Questo comando è usato per modificare l'aspetto della interfaccia, in accordo alla tipologia definita dal nome del comando stesso. La modifica ha effetto immediato ed è conservata per le sezioni successive (la memorizzazione avviene nella chiave di registro HKEY\_CURRENT\_USER\Software\Castalia\CSE).

### 3.3.3.5 Visual Studio 2005

Questo comando è usato per modificare l'aspetto della interfaccia, in accordo alla tipologia definita dal nome del comando stesso. La modifica ha effetto immediato ed è conservata per le sezioni successive (la memorizzazione avviene nella chiave di registro HKEY\_CURRENT\_USER\Software\Castalia\CSE).

### 3.3.3.6 Visual Studio 2008

Questo comando è usato per modificare l'aspetto della interfaccia, in accordo alla tipologia definita dal nome del comando stesso. La modifica ha effetto immediato ed è conservata per le sezioni successive (la memorizzazione avviene nella chiave di registro HKEY\_CURRENT\_USER\Software\Castalia\CSE).

### 3.3.3.7 Office 2007

#### 3.3.3.7.1 Blu style

Questo comando è usato per modificare l'aspetto della interfaccia, in accordo alla tipologia

definita dal nome del comando stesso. La modifica ha effetto immediato ed è conservata per le sezioni successive (la memorizzazione avviene nella chiave di registro HKEY\_CURRENT\_USER\Software\Castalia\CSE.

#### 3.3.3.7.2 Black style

Questo comando è usato per modificare l'aspetto della interfaccia, in accordo alla tipologia definita dal nome del comando stesso. La modifica ha effetto immediato ed è conservata per le sezioni successive (la memorizzazione avviene nella chiave di registro HKEY\_CURRENT\_USER\Software\Castalia\CSE.

#### 3.3.3.7.3 Silver style

Questo comando è usato per modificare l'aspetto della interfaccia, in accordo alla tipologia definita dal nome del comando stesso. La modifica ha effetto immediato ed è conservata per le sezioni successive (la memorizzazione avviene nella chiave di registro HKEY\_CURRENT\_USER\Software\Castalia\CSE.

#### 3.3.3.7.4 Aqua style

Questo comando è usato per modificare l'aspetto della interfaccia, in accordo alla tipologia definita dal nome del comando stesso. La modifica ha effetto immediato ed è conservata per le sezioni successive (la memorizzazione avviene nella chiave di registro HKEY\_CURRENT\_USER\Software\Castalia\CSE.

#### 3.3.3.8 Windows 7

Questo comando è usato per modificare l'aspetto della interfaccia, in accordo alla tipologia definita dal nome del comando stesso. La modifica ha effetto immediato ed è conservata per le sezioni successive (la memorizzazione avviene nella chiave di registro HKEY\_CURRENT\_USER\Software\Castalia\CSE.

### 3.3.4 Assi di riferimento

#### COMANDO: Mostra-Assi di riferimento

[Ribbon-Home]



Questo comando consente di decidere il modo in cui gli assi di riferimento globale vengono mostrati nella finestra attiva al momento della esecuzione del comando. L'utente sceglie tramite un [dialogo](#)<sup>693</sup> opportuno.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** vista.

#### 3.3.4.1 Posizione assi di riferimento (Dialogo)

#### POSIZIONE ASSI RIFERIMENTO (DIALOGO)

Questo dialogo governa il modo in cui sono rappresentati gli assi di riferimento globali. La posizione standard è in alto a destra.

**Standard** vuol dire che gli assi saranno in un riquadro posto in alto a destra.

**Nascosti** vuol dire che gli assi non si vedranno.

**Origine** vuol dire che gli assi verranno messi nell'origine.

**Dimensione** dà la possibilità di stabilire la dimensione degli assi di riferimento.

### 3.3.5 Albero

#### COMANDO: Mostra-Albero

[Ribbon-Main]



Questo comando serve a decidere quali entità siano visibili tra quelle numerabili come nodi, elementi o superelementi, nell'albero della vista ad albero.

Alla esecuzione del comando compare [un opportuno dialogo](#)<sup>694</sup>, che consente di fare le scelte.

Dal ribbon il comando è accessibile dalla barra main.

Dalla vista tradizionale, è accessibile dalla barra principale o dal menu mostra.

Perché il comando sia attivo è necessario che sia attiva la vista ad albero, ciò che si fa cliccando al suo interno se non è attiva.

Si rimanda alla [introduzione alla vista grafica](#)<sup>36</sup> per la utilità della vista ad albero.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** vista ad albero.

#### 3.3.5.1 Albero (dialogo)

##### **DIALOGO: Albero**

Questo dialogo serve a scegliere quali elementi siano presenti nell'albero posto nella vista ad albero, tra i seguenti:

- Nodi
- Bielle
- Travi
- Molle
- Membrane
- Piastre
- Solidi

- Superelementi

Inizialmente, tutte queste entità NON vengono mostrate, per evitare possibili rallentamenti nella esecuzione, causati dal refreshing della lista.

Tuttavia, in qualsiasi momento, è possibile chiedere che vengano elencate le entità di un certo tipo, o di alcuni tipi, o di tutti i tipi.

### 3.3.6 Oggetti

#### COMANDO: Mostra-Oggetti

[Ribbon-Home]



Questo comando chiama un [property sheet](#)<sup>[695]</sup> composto da cinque fogli ([Oggetti](#)<sup>[696]</sup>, [Numerazioni](#)<sup>[697]</sup>, [Etichette](#)<sup>[697]</sup>, [Nomi](#)<sup>[698]</sup>, [Dati Numerici](#)<sup>[698]</sup>) ognuno dei quali governa la visualizzazione di un gruppo affine di entità. Per ognuna di tali entità il comando consente di decidere se si l'entità si vedrà o meno. Le etichette di materiale e di sezione e i dati numerici verranno visualizzati comunque solo sugli elementi selezionati nel serbatoio 3 o, se si è in modalità estrai, nel serbatoio 13 (si veda [Serbatoi di selezione](#)<sup>[165]</sup>).

**Tipo:**modale

**Destinazione:** vista.

#### 3.3.6.1 Oggetti (Property sheet)

#### OGGETTI (PROPERTY SHEET)

Questo property sheet contiene i seguenti fogli:

[Oggetti](#)<sup>[696]</sup>


[Numerazioni](#)<sup>[697]</sup>

[Etichette](#) [Nomi](#) [Dati numerici](#) 

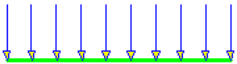
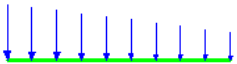
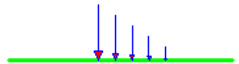
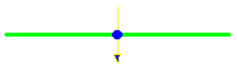


#### 3.3.6.1.1 Oggetti (Property page)

### OGGETTI (PROPERTY PAGE)

Questa property page fa scegliere se si vogliono vedere (croce applicata) oppure no certi oggetti. Gli oggetti sono:

- \* i vincoli
- \* gli svincoli
- \* masse
- \* nodi
- \* le molle
- \* le azioni (forze nodali, carichi distribuiti, ecc). I carichi distribuiti possono essere mostrati in modalità estesa o in modalità sintetica, spuntando la relativa casella.
- \* le [zone dissipative](#) 

Nell'immagine seguente si mostra come vengono rappresentati i carichi uniformi, quelli lineari e quelli lineari generali, rispettivamente nella modalità di rappresentazione estesa e in quella sintetica. La rappresentazione sintetica può essere utile in caso di discretizzazioni fitte della mesh, al fine di non appesantire troppo la vista.

		CARICO UNIFORME	CARICO LINEARE	CARICO LINEARE GENERALE
RAPPRESENTAZIONE	ESTESA			
	SINTETICA			

### 3.3.6.1.2 Numerazioni (Property page)

## NUMERAZIONI (PROPERTY PAGE)

Questa property page fa decidere se si vogliono vedere - o no - le numerazioni su:

- \* Nodi
- \* Bielle
- \* Travi
- \* Piastre
- \* Membrane
- \* Superelementi
- \* Molle

### 3.3.6.1.3 Etichette (Property page)

## ETICHETTE (PROPERTY PAGE)

Questa property page fa decidere se si vogliono vedere - o no - le etichette di sezione e di materiale. Le etichette verranno comunque mostrate solo sugli elementi selezionati nel terzo

serbatoio (3 per il modo normale, 13 per il modo estrai), e ciò onde evitare che il disegno risulti confuso e illeggibile.

#### 3.3.6.1.4 Nomi (Property page)

### **NOMI (PROPERTY PAGE)**

Questa property page è usata per specificare il tipo di oggetti il nome dei quali verrà stampato.

#### 3.3.6.1.5 Dati numerici (Property page)

### **DATI NUMERICI (PROPERTY PAGE)**

Questa property page consente di stabilire quali dati verranno stampati ed il formato con il quale verranno stampati. I dati disponibili sono:

- Lunghezza degli elementi
- Valore del modulo delle azioni
- Coordinate dei nodi
- Coefficienti di libera inflessione beta
- Fattori di riduzione dell'area
- Spostamenti nodali
- Azione interna
- Reazioni vincolari

I numeri verranno stampati solo se l'oggetto corrispondente (nodo o elemento) è selezionato nel serbatoio 3 se si è in modalità normale, nel serbatoio 13 se si è in modalità estrai. In questo modo è possibile scegliere cosa vedere e cosa no.

I valori di azione interna e di spostamento si possono vedere solo se si stanno correntemente vedendo i diagrammi o la spostata.



I valori di reazione vincolare verranno mostrati solo sui nodi sui quali è presente almeno un vincolo.

Se un dato ha una dimensione fisica in coda al numero è stampata l'unità di misura con la quale interpretarlo (l'unità corrente).

### 3.3.7 Dimensioni

#### COMANDO: Mostra-Dimensioni

##### [Ribbon-Home]



Scopo di questo comando è consentire di variare la dimensione a schermo dei simboli rappresentati dal programma. Il comando è connesso ad un opportuno [dialogo](#)<sup>[699]</sup>.

La dimensione indicata con questo comando è rigorosamente rispettata in fase di stampa, mentre a schermo è solo indicativa. Ciò dipende dal sistema operativo Win32, che adatta le dimensioni sulla base del settaggio della scheda grafica in uso.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** vista.

#### 3.3.7.1 Dimensione degli oggetti (Dialogo)

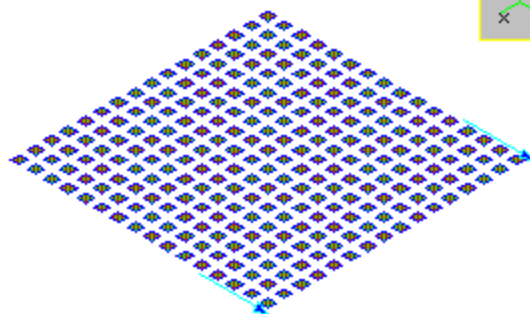
##### DIMENSIONE DEGLI OGGETTI (DIALOGO)

Questo dialogo serve a stabilire la dimensione con cui verranno rappresentati gli oggetti elencati.

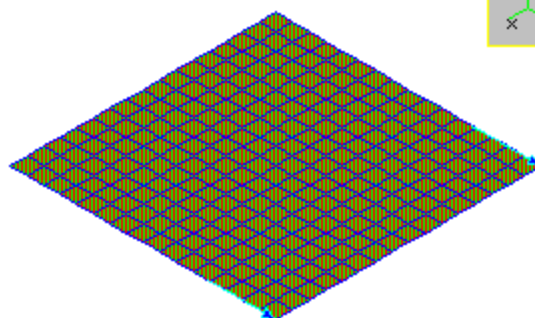
Per cambiare una dimensione occorre selezionare quel che interessa e scrivere la nuova dimensione.

Il flag “scala azioni” serve a decidere le azioni verranno scalate oppure no. Se le azioni sono scalate la dimensione specificata è quella dell'azione massima.

Il valore di shrink si applica alle piastre ed alle membrane.



Qui lo shrink è 0.5




Qui lo shrink è 1

### 3.3.8 Colori

#### COMANDO: Mostra-Colori

[Ribbon-Home]



Scopo di questo comando è consentire di variare il colore dei simboli rappresentati. Il comando è connesso ad un opportuno [dialogo](#) .

**Tipo:** modale

**Destinazione:** vista.

### 3.3.8.1 Colore degli oggetti (Dialogo)

#### COLORE DEGLI OGGETTI (DIALOGO)

Questo dialogo consente di fissare, per ciascun degli oggetti selezionati a sinistra, uno dei colori mostrati sui pulsanti di destra. Il colore può essere uno dei sedici colori predefiniti, oppure un colore scelto liberamente dall'utente. Se l'ultimo bottone in basso riporta la lettera “C” (custom), questo vuol dire che il colore attualmente scelto è uno dei colori standard. In caso contrario all'interno del bottone viene mostrato il colore personalizzato scelto dall'utente.

### 3.3.9 Elementi

#### COMANDO: Mostra-Elementi

[Ribbon-Home]

## EI

Questo comando ha per scopo la variazione del modo di rappresentare gli elementi finiti. Il colore degli elementi può infatti essere messo in corrispondenza col materiale, con la sezione, col tipo, o con un colore attribuito liberamente dall'utente.

Questo comando si usa anche per stabilire se gli elementi bidimensionali debbano essere riempiti o no.

Questo effetto viene ottenuto per mezzo di un opportuno [dialogo](#)<sup>701</sup>.

**Tipo:**modale

**Destinazione:** vista.

### 3.3.9.1 Rappresentazione elementi (Dialogo)

#### RAPPRESENTAZIONE ELEMENTI (DIALOGO)

Questo dialogo è importante perchè stabilisce il criterio con cui verranno colorati gli elementi, sulla base cioè di cosa verranno colorati. Essi possono essere colorati per:

- \* sezione
- \* materiale
- \* tipo (travi o bielle, piastre o membrane)
- \* sulla base di un colore attribuito precedentemente (vedi [Associa colore](#)<sup>[705]</sup>).

In questo dialogo è inoltre possibile stabilire se i superelementi verranno rappresentati o meno e se gli elementi bidimensionali saranno rappresentati con il solo contorno, ovvero se verranno riempiti.

### 3.3.10 Font

#### COMANDO: Mostra-Font

[Ribbon-Home]

**Aa**

Questo comando è collegato ad un [property sheet](#)<sup>[702]</sup> composto da più pagine ([Numerazioni, Nomi](#)<sup>[703]</sup>, [Materiale](#)<sup>[703]</sup>, [Sezione](#)<sup>[704]</sup>), ognuna delle quali governa il font di un gruppo affine di proprietà. Variato il font, nella vista corrente all'atto dell'esecuzione del comando si vedrà il nuovo font. Si può variare il corpo, il colore ed il tipo di font. I settaggi possono essere conservati con il comando [Salva Configurazione](#)<sup>[614]</sup>.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** vista.

#### 3.3.10.1 Font (Property sheet)

#### FONT (PROPERTY SHEET)

Questo property sheet contiene i seguenti fogli:

[Numerazioni/Nomi](#)<sup>[703]</sup>

[Materiale](#) [Sezione](#) 

#### 3.3.10.1.1 Numerazioni/Nomi (Property page)

### NUMERAZIONI/NOMI (PROPERTY PAGE)

Questa property page fa settare il font desiderato per le numerazioni o per i nomi. A ciascun bottone corrisponde il dialogo standard usato per fissare un font.

<b>Nodi</b>	fissa il font per la numerazione/nome dei nodi.
<b>Travi</b>	fissa il font per la numerazione/nome delle travi.
<b>Bielle</b>	fissa il font per la numerazione/nome delle bielle.
<b>Piastre</b>	fissa il font per la numerazione/nome delle piastre.
<b>Membrane</b>	fissa il font per la numerazione/nome delle membrane.
<b>Molle</b>	fissa il font per la numerazione/nome delle molle.
<b>Solidi</b>	fissa il font per la numerazione/nome degli elementi solidi.
<b>Superelementi</b>	fissa il font per la numerazione/nome dei superelementi.

E' quindi possibile diversificare le numerazioni secondo il proprio gradimento.

#### 3.3.10.1.2 Materiale (Property page)

### MATERIALE (PROPERTY PAGE)


Questa property page serve a fissare il font usato per rappresentare l'etichetta di materiale. A ogni elemento (Travi, Bielle, Piastre, Membrane, Solidi) corrisponde un font differente.

## 3.3.10.1.3 Sezione (Property page)

**SEZIONE (PROPERTY PAGE)**

Questa property page serve a fissare il font usato per rappresentare l'etichetta di sezione. A ogni elemento (Travi, Bielle, Piastre, Membrane) corrisponde un font differente.

**3.3.11 Orientazione****COMANDO: Mostra-Orientazione****[Ribbon-Home]**

Questo comando decide se e come si vedrà l'orientazione locale degli elementi. Il comando influenza la rappresentazione di travi, bielle, piastre e membrane. Alla esecuzione del comando corrisponde un [dialogo](#) .

**Tipo:**modale**Destinazione:** vista.**3.3.11.1 Rappresentazione del sistema localei (Dialogo)****RAPPRESENTAZIONE DEL SISTEMA LOCALE (DIALOGO)**

Questo dialogo serve a stabilire in che modo vedere l'orientazione (terna locale) degli elementi.

La rappresentazione è **dettagliata** se viene disegnata la sezione sull'asse dell'elemento.

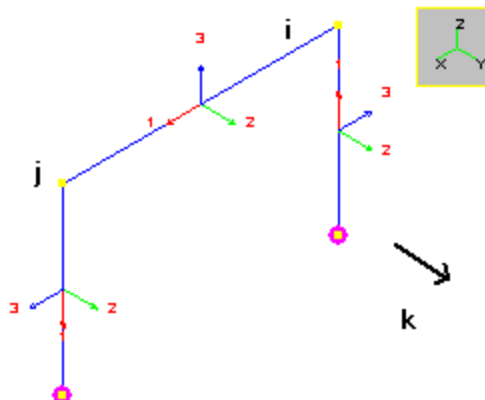
La rappresentazione **completa** comporta il tracciamento dei tre assi locali.

La rappresentazione **sintetica** comporta il tracciamento del solo asse 2.

Se si sceglie **nessuna** non si vedrà alcuna terna.

La terna può esser fatta vedere su **tutti** gli elementi o solo su quelli **selezionati**.

La **dimensione** in mm di ciascun asse può essere fissata dall'utente.



### 3.3.12 Associa Colore

**COMANDO: Mostra-Associa Colore**

[Ribbon-Home]



Questo comando consente di associare un colore agli elementi selezionati.

Il colore, che viene definito dall'utente, sarà poi usato dal programma per rappresentare gli elementi in modalità “Monocolore” ([Elementi](#) <sup>701</sup>).

L'utente può cambiare questo colore quante volte vuole. Esso verrà associato agli elementi selezionati al momento della esecuzione del comando.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento.

### 3.3.13 FEM

**COMANDO: Mostra-FEM**

[Ribbon-Home]

E' la vista classica e più usata di Sargon. In questa vista si vede il modello FEM in rappresentazione "unifilare" ovvero di ogni elemento finito si vede il luogo ideale. In questa vista si fa la maggior parte del lavoro e si vede la maggior parte dei risultati.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista

### 3.3.14 Membrature

**COMANDO: Mostra-Membrature**

**[Ribbon-Home]**

Questa rappresentazione mostra le membrature esistenti (se sono state [cercate](#)<sup>h2701</sup>) come linee. E' quindi snella. In questa rappresentazione si possono selezionare e deselezionare le membrature. Se sono stati [cercati](#)<sup>h297</sup> e si è chiesto di [mostrarli](#)<sup>h306</sup>, si vedono anche i JNodi. Se si selezionano "nodi" saranno i jnodi, se esistenti, a essere selezionati. Qui non appaiono piastre, membrane, molle, elementi solidi.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista

### 3.3.15 Solidi FEM

**COMANDO: Mostra-Solidi FEM**

**[Ribbon-Home]**



Questo comando mostra la vista solida del modello, in base alle forme sezionali assegnate agli elementi trave e biella e agli spessori assegnati agli elementi piastra e membrana, oltre alle dimensioni degli elementi solidi.



Se un elemento trave o biella non ha sezione assegnata, o se ha una [sezione generica](#)<sup>995</sup>, esso non verrà visualizzato nella vista solida. Se un elemento piastra o membrana non ha uno spessore assegnato non verrà visualizzato nella vista solida.

Se ci sono forme sezionali che presentano cuspidi o altri problemi che le rendono impossibili da un punto di vista fisico, la restituzione della vista solida può venire interrotta. In questo caso si controllino le forme sezionali applicate e si [modifichino](#)<sup>998</sup> quelle che danno problemi.

NOTA: se il numero di elementi del modello é molto elevato, la restituzione della vista solida può richiedere del tempo.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista

### 3.3.16 Solidi Membrature

**COMANDO:** Mostra-Solidi Membrature

[Ribbon-Home]

Questa rappresentazione mostra le membrature (se esistenti [perché cercate](#)<sup>1270</sup>) come solidi opachi. Non si vedranno piastre, membrane, molle, o elementi solidi, ma solo le membrature che corrispondono agli elementi beam e truss del modello FEM.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista

### 3.3.17 Solidi Trasparenti Membrature

**COMANDO:** Mostra-Solidi trasparenti membrature

**[Ribbon-Home]**

Questo comando fa vedere le membrature come solidi ma trasparenti, in modo tale da lasciar capire la posizione delle barre di armatura all'interno delle membrature stesse. Questa rappresentazione è utile perché consente di sincerarsi della effettiva posizione delle armature nel sistema di riferimento globale, e quindi consente di controllare il lavoro svolto.

Per evitare una rappresentazione troppo pesante e troppo lenta, le barre sono mostrate come linee wireframe, con dei cerchiolini all'estremità, aventi la esatta dimensione legata al diametro delle barre stesse

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista

### **3.3.18 Sezione corrente**

**COMANDO: Mostra-Sezione corrente****[Ribbon-Home]**

Questo comando fa vedere a schermo la “sezione corrente” con tutte le armature che le pertengono, nel suo sistema di riferimento locale. Grazie a questa visualizzazione è possibile facilmente e rapidamente passare da una rappresentazione della membratura ad una rappresentazione delle particolare sezione della membratura che interessa.

Il comando è attivo solo se è correntemente selezionata, nel serbatoio di selezione attivo, una sola membratura. La sezione corrente è individuata da un simbolo luminoso (quadrato) sia nella rappresentazione MEMBRATURE sia nella rappresentazione solida trasparente.

La “sezione corrente” viene modificata mediante i comandi di selezione seguenti:

[Sezione Successiva](#) 

[Sezione Precedente](#) 

[Sezione...](#) 

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista

### 3.3.19 Spessori

**COMANDO: Mostra-Spessori**

**[Ribbon-Home]**



Questo comando mostra in mappe a colori lo spessore degli elementi piastra e membrana presenti.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista

### 3.3.20 Scritte Mobili

**COMANDO: Mostra-Scritte Mobili**

**[Ribbon-Home]**



Questo comando attiva o disattiva la comparsa delle scritte mobili nei comandi di interrogazione e selezione.

Le scritte mobili convogliano rapidamente informazioni suppletive utili, ma possono talvolta dare noia nelle operazioni di selezione o interrogazione, per la loro azione di mascheramento.

**Tipo:** flag

**Destinazione:** vista

**Default:** falso

## **3.4 Menu Interroga, Ribbon: Home**

### **3.4.1 Dati Generali**

**COMANDO:** Interroga-Dati Generali

**[Ribbon-Home]**



Questo comando mostra un [dialogo](#)<sup>710</sup> che riassume alcune informazioni di carattere generale sul modello. L'effetto del comando è indipendente dalle entità selezionate.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento.

#### **3.4.1.1 Interroga generale (Dialogo)**

##### **INTERROGA GENERALE**

Questo dialogo riepiloga numerosi dati di carattere generale. Procedendo dall'alto verso il basso, e da sinistra verso destra, essi sono:

**il numero dei nodi;**

**il numero delle bielle;**

**il numero delle travi;**

il numero delle piastre;  
il numero delle membrane;  
il numero delle molle;  
il numero dei superelementi;  
il numero dei casi di carico;  
il numero delle combinazioni;  
il numero dei gradi di libertà;  
la lunghezza delle bielle;  
la lunghezza delle travi.

### 3.4.2 Geometria

#### COMANDO: Interroga-Geometria

[Ribbon-Home]



Questo comando è di tipo non modale, il che vuol dire che termina con la pressione del tasto destro del mouse oppure con la pressione del tasto ESC.

L'utente sceglie prima un nodo, poi un secondo nodo. In tempo reale, nella unità di misura attiva, gli vengono date le informazioni relative alle coordinate dei due nodi ed alla loro distanza. La terzo click del mouse il comando termina in ogni caso.

Nel corso della interrogazione viene mostrata una scritta relativa al nodo più vicino alla posizione corrente del mouse con le coordinate e i vincoli del nodo. Facendo doppio click la scritta mobile appare/disappare.

**Tipo:** non modale

**Destinazione:** vista.

### 3.4.3 Nodi

#### COMANDO: Interroga-Nodi

**[Ribbon-Home]**

Questo comando serve ad avere informazioni sui nodi. Quando il comando viene eseguito si apre un property sheet composto da più pagine. Muovendo il mouse verrà indicato il nodo più vicino con un pallino rosso. In tempo reale il property sheet riporterà i dati relativi al nodo in questione.


Cliccando a sinistra col mouse i dati vengono fissati nel property sheet ed è possibile passare da un foglio all'altro senza che il nodo cambi. I fogli del property sheet sono i seguenti:

[Geometria](#)  713

[Vincoli](#)  713

[Masse](#)  713

[Altri](#)  713

Se la opzione [Scritte mobili](#)  709 è attiva, nel corso della interrogazione viene mostrata una scritta relativa al nodo più vicino alla posizione corrente del mouse con le coordinate e i vincoli del nodo. Facendo doppio click la scritta mobile appare/disappare.

Per uscire dal comando occorre premere il tasto destro del mouse (o il tasto ESC).

**Tipo:** non modale

**Destinazione:** vista attiva

**3.4.3.1 Interroga nodi (Property sheet)****INTERROGA NODI (PROPERTY SHEET)**

Questo property sheet contiene diversi fogli in cui vengono fornite informazioni sul nodo scelto.

#### 3.4.3.1.1 Geometria (Property page)

### **GEOMETRIA (PROPERTY PAGE)**

Questa property page dà le coordinate ed il numero di un nodo. Le coordinate vanno interpretate con l'unità attiva.

#### 3.4.3.1.2 Vincoli (Property page)

### **VINCOLI (PROPERTY PAGE)**

Questa property page dice, per ognuna delle sei componenti di movimento possibili, se è presente un vincolo fisso oppure no.

#### 3.4.3.1.3 Masse (Property page)

### **MASSE (PROPERTY PAGE)**

Questa property page dà le masse traslazionali (**TX**, **TY**, **TZ**) e rotazionali (**RX**, **RY**, **RZ**) presenti su un nodo.

#### 3.4.3.1.4 Altri (Property page)

### **ALTRI (PROPERTY PAGE)**

Questa property page dà il nome ed il numero di gruppo.

## **3.4.4 Travi**

**COMANDO: Interroga-Travi**

**[Ribbon-Home]**



Questo comando serve ad avere informazioni sulle travi. Quando il comando viene eseguito si apre un property sheet composto da più pagine. Muovendo il mouse verrà indicata la trave più vicina con un pallino rosso. In tempo reale il property sheet riporterà i dati relativi alla trave in questione. Cliccando a sinistra col mouse i dati vengono fissati nel property sheet ed è possibile passare da un foglio all'altro senza che la trave cambi. I fogli del property sheet sono i seguenti:

[Incidenze](#) 

[Estremo 1](#) 

[Estremo 2](#) 

[Beta](#) 

[Snellezze](#) 

[Proprietà](#) 


[Molle](#) 

[Eccentricità](#) 

[Orientazione](#) 

[Altri](#) 

[Suolo](#) 

Se la opzione [Scritte mobili](#)  è attiva, nel corso della interrogazione viene mostrata una scritta relativa all'elemento trave più vicino alla posizione corrente del mouse con la sezione, il materiale e i tre coefficienti di libera inflessione. Facendo doppio click la scritta mobile appare/disappare.

Per uscire dal comando occorre premere il tasto destro del mouse (o il tasto ESC).

**Tipo:** non modale

**Destinazione:** vista attiva

#### 3.4.4.1 Interroga travi (Property sheet)



## **INTERROGA TRAVI (PROPERTY SHEET)**

Questo property sheet contiene diversi fogli in cui vengono fornite informazioni sull'elemento beam scelto.

### 3.4.4.1.1 Incidenze (Property page)

## **INCIDENZE (PROPERTY PAGE)**

Questa property page dà il numero dell'elemento trave e i suoi nodi di incidenza. I nodi **n5** ed **n6** sono usati per le travi con estremi rigidi.

### 3.4.4.1.2 Estremo 1 (Property page)

## **ESTREMO 1 (PROPERTY PAGE)**

Questa property page dà le sei componenti di svincolo al primo estremo.

### 3.4.4.1.3 Estremo 2 (Property page)

## **ESTREMO 2 (PROPERTY PAGE)**

Questa property page dà le sei componenti di svincolo al secondo estremo.

### 3.4.4.1.4 Beta (Property page)

## **BETA (PROPERTY PAGE)**

Questa property page dà i tre coefficienti di libera inflessione e la lunghezza dell'elemento unifilare. Beta 1 si riferisce allo svergolamento.

Per default i beta sono posti eguali ad 1, ma essi possono essere cambiati con il comando

[Beta](#)<sup>1017</sup>.

#### 3.4.4.1.5 Snellezze (Property page)

### SNELLEZZE (PROPERTY PAGE)

Questa property page dà le tre snellezze secondo l'asse locale 1 (svergolamento), 2 (presso flessione) e 3 (presso flessione).

#### 3.4.4.1.6 Proprietà (Property page)

### PROPRIETÀ (PROPERTY PAGE)

Questa property page dà il peso, la sezione, il numero di sezione, il materiale ed il numero di materiale.

#### 3.4.4.1.7 Molle (Property page)

### MOLLE (PROPERTY PAGE)

Questa property page dà i nomi delle [molle rotazionali](#)<sup>1014</sup> associate al primo estremo (**K12**, **K13**) e al secondo estremo (**K22** **K23**).

#### 3.4.4.1.8 Eccentricità (Property page)

### ECCENTRICITA' (PROPERTY PAGE)

Questa property page dà le componenti dei due vettori che definiscono le eccentricità ai due estremi dell'elemento trave. Le eccentricità sono definite nel sistema di riferimento globale, vanno da nodo ad estremo e sono riportate nella unità di misura attiva.

## 3.4.4.1.9 Orientazione (Property page)

**ORIENTAZIONE (PROPERTY PAGE)**

Questa property page dà informazioni su come è definita la orientazione degli elementi biella e trave. Viene dato il numero del terzo nodo, e le tre componenti del vettore  $v$ . Viene poi detto se l'orientazione usa il terzo nodo per definire il piano 1-2, se usa il vettore per definire il piano 1-2, o se usa il vettore per definire il piano 1-3. Le componenti del vettore sono nel sistema di riferimento globale.

## 3.4.4.1.10 Altri (Property page)

**ALTRI (PROPERTY PAGE)**

Questa property page dà il valore del coefficiente di riduzione dell'area per tener conto dei fori, il valore della azione assiale iniziale nell'elemento, il nome ed il gruppo.

## 3.4.4.1.11 Suolo (Property page)

**SUOLO (PROPERTY PAGE)**

Questa property page dà informazioni sulle costanti del suolo elastico per le flessioni attorno all'asse locale 2 ( $k_2$ ,  $k_{1,2}$ ) ed attorno all'asse locale 3 ( $k_3$ ,  $k_{1,3}$ ). Valori nulli implicano assenza di suolo elastico.

I termini  $k_2$  e  $k_3$  hanno le dimensioni fisiche di una forza per unità di superficie. I termini  $k_{1,2}$  e  $k_{1,3}$  hanno le dimensioni fisiche di una forza .

## 3.4.4.1.12 Kred (Property page)

**KRED (PROPERTY PAGE)**

Questa property page dà informazioni sulle eventuali [riduzioni e/o amplificazioni](#) <sup>816</sup> dell'area della sezione, delle aree di taglio e dei momenti d'inerzia.

### 3.4.5 Bielle

#### COMANDO: Interroga-Bielle

[Ribbon-Home]



Questo comando serve ad avere informazioni sulle bielle. Quando il comando viene eseguito si apre un property sheet composto da più pagine. Muovendo il mouse verrà indicata la biella più vicina con un pallino rosso. In tempo reale il property sheet riporterà i dati relativi alla biella in questione. Cliccando a sinistra col mouse i dati vengono fissati nel property sheet ed è possibile passare da un foglio all'altro senza che la biella cambi. I fogli del property sheet sono i seguenti:

[Incidenze](#) <sup>719</sup>

[Beta](#) <sup>719</sup>

[Snellezze](#) <sup>719</sup>

[Proprietà](#) <sup>720</sup>

[Orientazione](#) <sup>720</sup>

[Altri](#) <sup>720</sup>

Se la opzione [Scritte mobili](#) <sup>709</sup> è attiva, nel corso della interrogazione viene mostrata una scritta relativa all'elemento biella più vicino alla posizione corrente del mouse con la sezione, il materiale e i tre coefficienti di libera inflessione. Facendo doppio click la scritta mobile appare/disappare.

Per uscire dal comando occorre premere il tasto destro del mouse (o il tasto ESC).

**Tipo:** non modale

**Destinazione:** vista attiva

### 3.4.5.1 Bielle (Property sheet)

#### INTERROGA BIELLE (PROPERTY SHEET)

Questo property sheet contiene diversi fogli in cui vengono fornite informazioni sull'elemento truss scelto.

##### 3.4.5.1.1 Incidenze, gap e attrito (Property page)

#### INCIDENZE, GAP E ATTRITO (PROPERTY PAGE)

Questa property page dà il numero dell'elemento biella (o del superelemento) e i suoi nodi di incidenza. Il nodo **n3** è usato esclusivamente per compatibilità con i programmi di disegno.

Inoltre, vengono riportati i dati relativi al gap e al coefficiente di attrito.

##### 3.4.5.1.2 Beta (Property page)

#### BETA (PROPERTY PAGE)

Questa property page dà i tre coefficienti di libera inflessione e la lunghezza dell'elemento unifilare. Beta 1 si riferisce allo svergolamento.

Per default i beta sono posti eguali ad 1, ma essi possono essere cambiati con il comando

[Beta](#)  <sub>1017</sub>.

##### 3.4.5.1.3 Snellezze (Property page)

#### SNELLEZZE (PROPERTY PAGE)

Questa property page dà le tre snellezze secondo l'asse locale 1 (svergolamento), 2 (presso flessione) e 3 (presso flessione).

#### 3.4.5.1.4 Proprietà (Property page)

### **PROPRIETÀ (PROPERTY PAGE)**

Questa property page dà il peso, la sezione, il numero di sezione, il materiale ed il numero di materiale.

#### 3.4.5.1.5 Orientazione (Property page)

### **ORIENTAZIONE (PROPERTY PAGE)**

Questa property page dà informazioni su come è definita la orientazione degli elementi biella e trave. Viene dato il numero del terzo nodo, e le tre componenti del vettore  $v$ . Viene poi detto se l'orientazione usa il terzo nodo per definire il piano 1-2, se usa il vettore per definire il piano 1-2, o se usa il vettore per definire il piano 1-3. Le componenti del vettore sono nel sistema di riferimento globale.

#### 3.4.5.1.6 Altri (Property page)

### **ALTRI (PROPERTY PAGE)**

Questa property page dà il valore del coefficiente di riduzione dell'area per tener conto dei fori, il valore della azione assiale iniziale nell'elemento, il nome ed il gruppo.

## **3.4.6 Piastre**

### **COMANDO: Interroga-Piastre**


**[Ribbon-Home]**

Questo comando serve ad avere informazioni sulle piastre. Quando il comando viene eseguito si apre un property sheet composto da più pagine. Muovendo il mouse verrà indicata la piastra più vicina con un pallino rosso. In tempo reale il property sheet riporterà i dati relativi alla piastra in questione. Cliccando a sinistra col mouse i dati vengono fissati nel property sheet ed è possibile passare da un foglio all'altro senza che la piastra cambi. I fogli del property sheet sono i seguenti:

[Incidenze](#)  721

[Proprietà](#)  722

[Altri](#)  722

Se la opzione [Scritte mobili](#)  709 è attiva, nel corso della interrogazione viene mostrata una scritta relativa all'elemento piastra più vicino alla posizione corrente del mouse con lo spessore e il materiale. Facendo doppio click la scritta mobile appare/disappare.

Per uscire dal comando occorre premere il tasto destro del mouse (o il tasto ESC).

**Tipo:** non modale

**Destinazione:** vista attiva

**3.4.6.1 Piastre (Property sheet)****INTERROGA PIASTRA (PROPERTY SHEET)**

Questo property sheet contiene diversi fogli in cui vengono fornite informazioni sull'elemento plate-shell scelto.

**3.4.6.1.1 Incidenze (Property page)**

### **INCIDENZE (PROPERTY PAGE)**

Questa property page dà il numero dell'elemento (piastra o membrana) e i suoi nodi di incidenza. Se **n4** è nullo l'elemento è triangolare.

#### 3.4.6.1.2 Proprietà (Property page)

### **PROPRIETÀ (PROPERTY PAGE)**

Questa property page dà il peso, la sezione, il numero di sezione, il materiale ed il numero di materiale.

#### 3.4.6.1.3 Altri (Property page)

### **ALTRI (PROPERTY PAGE)**

Questa property page dà le seguenti informazioni:

- il nome;
- il gruppo;
- la costante di Winkler;
- il tipo dell'elemento selezionato;
- il numero di superficie di tipo contact;
- il numero di superficie di tipo target;
- il valore di penalty;
- il coefficiente di attrito;
- il gap.

## **3.4.7 Membrane**

### **COMANDO: Interroga-Membrane**



## [Ribbon-Home]




Questo comando serve ad avere informazioni sulle membrane. Quando il comando viene eseguito si apre un property sheet composto da più pagine. Muovendo il mouse verrà indicata la membrana più vicina con un pallino rosso. In tempo reale il property sheet riporterà i dati relativi alla membrana in questione. Cliccando a sinistra col mouse i dati vengono fissati nel property sheet ed è possibile passare da un foglio all'altro senza che la membrana cambi. I fogli del property sheet sono i seguenti:

[Incidenze](#)  723

[Proprietà](#)  724

[Altri](#)  724

Se la opzione [Scritte mobili](#)  709 è attiva, nel corso della interrogazione viene mostrata una scritta relativa all'elemento membrana più vicino alla posizione corrente del mouse con lo spessore e il materiale. Facendo doppio click la scritta mobile appare/disappare.

Per uscire dal comando occorre premere il tasto destro del mouse (o il tasto ESC).

**Tipo:** non modale

**Destinazione:** vista attiva

### 3.4.7.1 Membrane (Property sheet)

## INTERROGA MEMBRANE (PROPERTY SHEET)

Questo property sheet contiene diversi fogli in cui vengono fornite informazioni sull'elemento membrana scelto.

#### 3.4.7.1.1 Incidenze (Property page)

### INCIDENZE (PROPERTY PAGE)

Questa property page dà il numero dell'elemento (piastra o membrana) e i suoi nodi di incidenza. Se **n4** è nullo l'elemento è triangolare.

#### 3.4.7.1.2 Proprietà (Property page)

### PROPRIETÁ (PROPERTY PAGE)

Questa property page dà il peso, la sezione, il numero di sezione, il materiale ed il numero di materiale.

#### 3.4.7.1.3 Altri (Property page)

### ALTRI (PROPERTY PAGE)

Questa property page dà il nome, il gruppo, la costante di Winkler ed il tipo dell'elemento selezionato.

## 3.4.8 Solidi

### COMANDO: Interroga-Solidi

[Ribbon-Home]




Questo comando serve ad avere informazioni sui solidi. Quando il comando viene eseguito si apre un property sheet composto da più pagine. Muovendo il mouse verrà indicato l'elemento solido più vicino con un pallino rosso. In tempo reale il property sheet riporterà i dati relativi al solido in questione. Cliccando a sinistra col mouse i dati vengono fissati nel property sheet ed è possibile passare da un foglio all'altro senza che la membrana cambi. I fogli del property sheet sono i seguenti:

[Incidenze](#)  725

[Proprietà](#)  725

[Altri](#)  726

Se la opzione [Scritte mobili](#)  709 è attiva, nel corso della interrogazione viene mostrata una scritta relativa all'elemento solido più vicino alla posizione corrente del mouse con il materiale. Facendo doppio click la scritta mobile appare/disappare.

Per uscire dal comando occorre premere il tasto destro del mouse (o il tasto ESC).

**Tipo:** non modale

**Destinazione:** vista attiva

#### 3.4.8.1 Solidi (Property sheet)

### INTERROGA SOLIDI (PROPERTY SHEET)

Questo property sheet contiene diversi fogli in cui vengono fornite informazioni sull'elemento solido scelto.

#### 3.4.8.1.1 Incidenze (Property page)

### INCIDENZE (PROPERTY PAGE)

Questa property page dà il numero dell'elemento solido e i suoi nodi di incidenza.

#### 3.4.8.1.2 Proprietà (Property page)

### PROPRIETA' (PROPERTY PAGE)

Questa property page dà informazioni sul volume, il peso e il materiale di un elemento finito di tipo solido.

#### 3.4.8.1.3 Altri (Property page)

### ALTRI (PROPERTY PAGE)

Questa property page dà il nome ed il numero di gruppo.

## 3.4.9 Molle

### COMANDO: Interroga-Molle

[Ribbon-Home]




Questo comando serve ad avere informazioni sulle molle. Quando il comando viene eseguito si apre un property sheet composto da più pagine. Muovendo il mouse verrà indicata la molla più vicina con un pallino rosso. In tempo reale il property sheet riporterà i dati relativi alla molla in questione. Cliccando a sinistra col mouse i dati vengono fissati nel property sheet ed è possibile passare da un foglio all'altro senza che la molla cambi. I fogli del property sheet sono i seguenti:

[Incidenze e Direzione](#) <sub>727</sub>

[Proprietà](#) <sub>727</sub>

[Altri](#) <sub>728</sub>

Se la opzione [Scritte mobili](#) <sub>709</sub> è attiva, nel corso della interrogazione viene mostrata una scritta relativa all'elemento molla più vicino alla posizione corrente del mouse con la rigidezza della molla. Facendo doppio click la scritta mobile appare/disappare.

Per uscire dal comando occorre premere il tasto destro del mouse (o il tasto ESC).

**Tipo:** non modale

**Destinazione:** vista attiva

### 3.4.9.1 Molle (Property sheet)

#### INTERROGA MOLLE (PROPERTY SHEET)

Questo property sheet contiene diversi fogli in cui vengono fornite informazioni sull'elemento molla scelto.

##### 3.4.9.1.1 Incidenze e direzione (Property page)

#### INCIDENZE E DIREZIONE (PROPERTY PAGE)

Questa property page dà la direzione e il numero di un elemento molla.

##### 3.4.9.1.2 Proprietà (Property page)

#### PROPRIETÀ (PROPERTY PAGE)

Questa property page dà il tipo e le proprietà di un elemento molla. Una molla può simulare un cedimento se ad essa viene associata una forza.

Oltre al tipo, le proprietà fornite in questa sezione sono:

- le rigidezze K1 e K2;
- lo snervamento;
- il cedimento;
- il beta;
- il gap;
- il coefficiente di attrito;

- i limiti di rottura;
- la completezza della legge costitutiva.

#### 3.4.9.1.3 Altri (Property page)

### ALTRI (PROPERTY PAGE)

Questa property page dà il nome ed il numero di gruppo.

## 3.4.10 Superelementi

### COMANDO: Interroga-Superelementi

[Ribbon-Home]



Questo comando serve ad avere informazioni sui superelementi. Quando il comando viene eseguito si apre un property sheet composto da più pagine. Muovendo il mouse verrà indicato il superelemento più vicino con un pallino rosso. In tempo reale il property sheet riporterà i dati relativi al superelemento in questione. Cliccando a sinistra col mouse i dati vengono fissati nel property sheet ed è possibile passare da un foglio all'altro senza che il superelemento cambi. I fogli del property sheet sono i seguenti:

[Incidenze](#) 

[Beta](#) 

[Altri](#) 

Per uscire dal comando occorre premere il tasto destro del mouse (o il tasto ESC).

**Tipo:** non modale

**Destinazione:** vista attiva

### 3.4.10.1 Superelementi (Property sheet)

#### INTERROGA SUPERELEMENTO (PROPERTY SHEET)

Questo property sheet contiene diversi fogli in cui vengono fornite informazioni sul superelemento scelto.

##### 3.4.10.1.1 Incidenze (Property page)


#### INCIDENZE (PROPERTY PAGE)

Questa property page dà il numero del superelemento e i suoi nodi di incidenza. Il nodo **n3** è usato esclusivamente per compatibilità con i programmi di disegno.

##### 3.4.10.1.2 Beta (Property page)

#### BETA (PROPERTY PAGE)

Questa property page dà i tre coefficienti di libera inflessione e la lunghezza dell'elemento unifilare. Beta 1 si riferisce allo svergolamento.

Per default i beta sono posti eguali ad 1, ma essi possono essere cambiati con il comando [Beta](#).

##### 3.4.10.1.3 Altri (Property page)

#### ALTRI (PROPERTY PAGE)

Questa property page dà il nome ed il numero di gruppo.

### 3.4.11 Azioni

#### COMANDO: Interroga-Azioni

[Ribbon-Home]



Questo comando serve ad avere informazioni sulle azioni presenti su nodi, travi, bielle, piastre e membrane.

Una volta avviato il comando si entra in una situazione non modale, simile ad una interrogazione, che consente di scegliere l'oggetto che interessa (nodo, trave, biella, piastra o membrana a seconda della posizione del cursore. Per selezionare travi o bielle avvicinarsi all'asse della trave o biella lontano dai suoi estremi). In questa fase la pressione del tasto destro del mouse porta alla fine del comando. Muovendo il mouse si muove un pallino rosso che indica l'oggetto più vicino. Cliccando a sinistra si sceglie un oggetto (quello indicato dal pallino rosso). Se si vedono due pallini anzichè uno, o nessun pallino, occorre dare il comando [Ridisegna](#)<sup>[741]</sup>, preferibilmente cliccando sulla sua icona nella barra principale. Non occorre in tal caso interrompere il comando: questo resta in background.

Scelto l'oggetto si apre il dialogo [Azioni Presenti](#)<sup>[730]</sup>, che lista le azioni presenti sull'oggetto scelto nel caso scelto. Il caso scelto è quello correntemente attivo e può essere modificato nel corso del comando (quando si muove il mouse). Se è attiva una combinazione compare un messaggio che chiede di scegliere un caso di carico. Se al momento di eseguire il comando è attiva una combinazione il comando non è accessibile.

Chiudendo il dialogo il comando non finisce: ci si ritrova nella fase non modale del comando. E' così possibile scegliere un altro oggetto, cambiare caso di carico oppure finire il comando. Per far ciò è necessario premere il tasto destro del mouse oppure il tasto ESC.

**Tipo:** non modale

**Destinazione:** vista attiva

#### 3.4.11.1 Azioni presenti (Dialogo)

#### AZIONI PRESENTI (DIALOGO)



Questo dialogo dà la lista delle azioni presenti su un nodo o un elemento, nel caso di carico precedentemente prescelto.

### 3.4.12 Risultanti azioni sismiche

#### COMANDO: Interroga-Risultanti Azioni Sismiche

[Ribbon-Home]

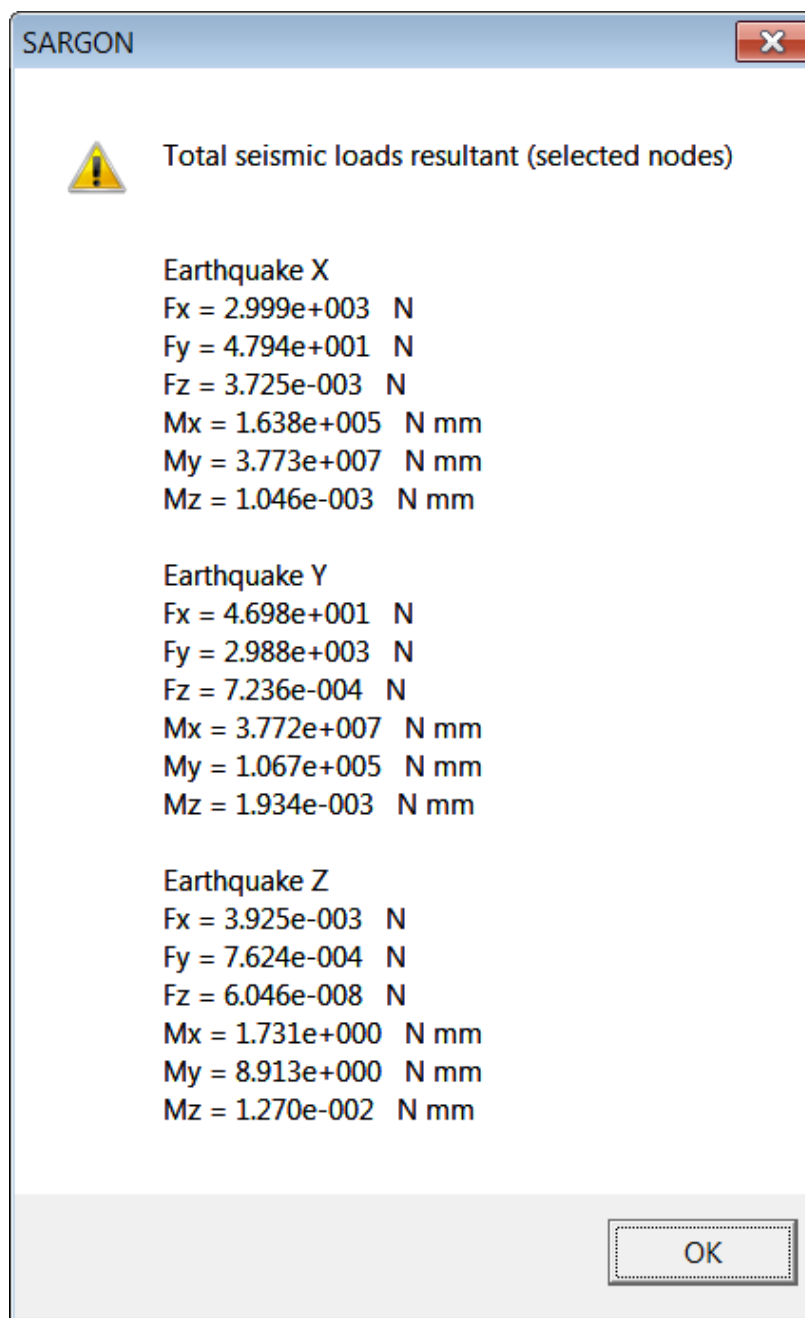


Perchè questo comando possa funzionare devono essere selezionati dei nodi e deve preventivamente essere stata eseguita una analisi modale. Il comando considera le forze derivanti da una analisi a spettro di risposta (che può anche non essere stata materialmente eseguita), ottenuta considerando un certo spettro e tutti i modi, in tutte e tre le possibili direzioni del sisma (X, Y o Z).

Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[1067]</sup> (lo stesso usato dal comando [Edit-Azioni-Da spettro](#)<sup>[1065]</sup>), che, in questo ambito, serve meramente a introdurre lo spettro da utilizzare.

Il comando calcola la risultante delle azioni ed i momenti ribaltanti rispetto agli assi globali dovuti alla analisi a spettro di risposta *sui nodi selezionati* (al limite: tutti i nodi della struttura). E' molto utile per conoscere i tagli globali sismici alle varie quote, associati alla tre possibili direzioni del sisma. Viene eseguita la CQC (Complete Quadratic Combination) o la SRSS con cluster, a seconda di come sia definito lo spettro.

Il risultato del comando è un dialogo informativo di questo tipo:



**Tipo:** modale

**Destinazione:** vista attiva

### 3.4.13 Masse

**COMANDO:** Interroga-Masse

[Ribbon-Home]



Questo comando è collegato ad un dialogo ([Totale Massa sui Nodi Selezionati](#)<sup>733</sup>). E' usato per avere informazioni sulla massa complessiva dei nodi selezionati, ed è pertanto molto utile in fase di impostazione della analisi modale. Il suo uso consente di tenere sotto controllo le masse aggiunte sul modello.

Oltre alla risultante delle masse direzionali nelle varie direzioni, il comando dà la posizione del centro delle masse, utile per verificare desiderati gradi di eccentricità accidentale.

Per le masse X viene data la Y e la Z del centro; per le masse Y la X e la Z; per quelle Z la X e la Y.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

#### 3.4.13.1 Totale massa sui nodi selezionati (Dialogo)

### TOTALE MASSA SUI NODI SELEZIONATI

Questo dialogo dà il totale della massa dei nodi selezionati, nell'unità di forza attiva.

<b>MTX:</b>	massa traslazionale X
<b>MTY:</b>	massa traslazionale Y
<b>MTZ:</b>	massa traslazionale Z
<b>MRX:</b>	massa rotazionale X
<b>MRY:</b>	massa rotazionale Y
<b>MRZ:</b>	massa rotazionale Z

#### 3.4.14 Casi

**COMANDO:** Interroga-Casi

**[Ribbon-Home]****L?**

Questo comando serve a conoscere quanti casi di carico sono stati definiti, il loro nome e la loro etichetta. Alla esecuzione del comando viene proposto un dialogo ([Casi di Carico](#)<sup>734</sup>), dal quale è possibile accedere (tasto **Modifica**), una volta scelto uno dei casi di carico, ad un dialogo successivo ([Caso di Carico](#)<sup>735</sup>) che consente di modificare i dati relativi al caso di carico prescelto. Lo stesso risultato si ottiene facendo doppio click sulla riga che corrisponde al caso di carico di interesse. Questo comando ha anche la funzione, quindi, di modificare i dati (nome ed etichetta) di un caso di carico.

La terza funzione svolta da questo comando è quella di consentire il posizionamento su un caso di carico diverso da quello attivo al momento della esecuzione del comando stesso. Infatti, alla chiusura del dialogo, sarà reso attivo, nella vista corrente, il caso di carico selezionato nel dialogo Casi di Carico. Per cambiare caso di carico è quindi sufficiente eseguire questo comando e selezionare un caso diverso nel dialogo [Casi di Carico](#)<sup>734</sup>.

La quarta ed ultima funzione svolta da questo comando è quella di consentire la cancellazione di casi di carico. La cancellazione di casi di carico (uno per volta) avviene selezionando il caso di carico che interessa e premendo il tasto **Elimina**. Non è possibile cancellare un caso di carico se sono presenti combinazioni.

**Tipo:**modale

**Destinazione:** documento, vista (per la modifica del caso corrente).

#### 3.4.14.1 Casi di carico (Dialogo)

##### CASI DI CARICO (DIALOGO)

Questo dialogo presenta una tabella riassuntiva sui casi di carico. Viene dato il numero, il tipo e il nome di ogni caso di carico. Se si vuole modificare qualcosa basta fare doppio click sul caso da modificare, oppure selezionarlo e scegliere **Modifica....** Ciò porta al dialogo [Caso di Carico](#)<sup>735</sup>.

E' inoltre possibile eliminare un singolo caso di carico selezionato o un intervallo di casi di carico. Questa ultima funzionalità è particolarmente utile dopo una time history, per togliere casi di carico riferiti agli istanti della time history stessa.

#### 3.4.14.1.1 Caso di carico (Dialogo)

### CASO DI CARICO (DIALOGO)

Questo dialogo viene presentato in seguito alla richiesta di un nuovo caso di carico, o in seguito alla richiesta di modificare un caso esistente.

Occorre stabilire il tipo dal nuovo caso di carico e dare ad esso un nome, che verrà poi utilizzato per identificarlo.

Ad ogni caso di carico devono essere associati tre moltiplicatori, relativi ai valori rari (Psi0), frequenti (Psi1) e quasi permanenti (Psi2) del caso di carico in esame. A seconda della etichetta del caso i valori possono essere diversi. La pressione dei tasti **Italia?** Ed **EC3?** Dà una serie di valori che sono i valori previsti dalle normative per il tipo di carico in quel momento attivo (**vento** o **variabile** o **neve**). Se cambia il tipo cambiano anche i valori suggeriti. Nulla vieta di dare dei valori diversi da quelli suggeriti. I coefficienti qui determinati saranno impiegati dal comando per la generazione automatica delle combinazioni (vedi il [dialogo opportuno](#)<sup>[1086]</sup>).

### 3.4.15 Combinazioni

#### COMANDO: Interroga-Combinazioni

[Ribbon-Home]

**C?**

Questo comando serve a conoscere quante combinazioni di carico sono stati definite, il loro nome e i moltiplicatori. Alla esecuzione del comando viene proposto un dialogo ([Combinazioni](#)<sup>[736]</sup>), dal quale è possibile accedere (tasto **Modifica**), una volta scelto uno dei casi di carico, ad un dialogo successivo ([Combinazione](#)<sup>[737]</sup>) che consente di modificare i dati

relativi alla combinazione prescelta. Lo stesso risultato si ottiene facendo doppio click sulla riga che corrisponde alla combinazione di interesse. Questo comando ha anche la funzione, quindi, di modificare i dati (nome e moltiplicatori) di una combinazione di carico.

La terza funzione svolta da questo comando è quella di consentire il posizionamento su una combinazione diversa da quella attiva al momento della esecuzione del comando stesso. Infatti, alla chiusura del dialogo, sarà reso attiva, nella vista corrente, la combinazione selezionata nel dialogo [Combinazioni](#)<sup>[736]</sup>. Per cambiare combinazione è quindi sufficiente eseguire questo comando e selezionare una combinazione diversa nel dialogo [Combinazioni](#)<sup>[736]</sup>.

La quarta ed ultima funzione svolta da questo comando è quella di consentire la cancellazione di combinazioni. La cancellazione di combinazioni (una per volta) avviene selezionando la combinazione che interessa e premendo il tasto **Elimina**.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento, vista (per la modifica della combinazione corrente).

#### 3.4.15.1 Combinazioni (Dialogo)

### COMBINAZIONI (DIALOGO)

Questo dialogo presenta una tabella riassuntiva sulle combinazioni di carico del combi set attivo. E' lo stesso dialogo utilizzato per la [modifica di combinazioni](#)<sup>[1093]</sup>, al quale si rimanda per una descrizione più dettagliata.

Viene dato il numero e il nome di ogni combinazione. Per avere informazioni più dettagliate basta fare doppio click sulla combinazione desiderata, oppure selezionarla e scegliere **Modifica....** Ciò porta al dialogo [Combinazione](#)<sup>[737]</sup>.

Il bottone **Elimina** serve ad eliminare una singola combinazione selezionata come evidenziato dalla riga blu.

I bottoni **Tutte Nessuna** e **Nega attuale**, rispettivamente selezionano tutte le combinazioni, deseleggono tutte le combinazioni, o invertono il flag di selezione rispetto a quello attuale. Le combinazioni non selezionate non vengono considerate nelle verifiche e in tutti gli involucri, per esse anche la risposta è nulla.

I bottoni **Seleziona!** **Deseleziona!** ed **Elimina!** si riferiscono a intervalli di combinazioni (specificati mediante le caselle **da** ed **a**).

#### 3.4.15.1.1 Combinazione (Dialogo)

### COMBINAZIONE (DIALOGO)

Questo dialogo riporta le informazioni relative alla combinazione che si sta interrogando. E' lo stesso dialogo utilizzato per l'[aggiunta di combinazioni](#)<sup>1081</sup>, al quale si rimanda per una descrizione più dettagliata.

## 3.4.16 Oggetti Selezionati

### 3.4.16.1 Generale

#### COMANDO: Interroga-Oggetti selezionati-Generale

[Ribbon-Home]

#### Sel

Questo comando dà informazioni generali sui soli oggetti selezionati al momento della esecuzione del comando stesso. Esso è collegato ad un opportuno dialogo ([Oggetti selezionati](#)<sup>737</sup>).

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento.

#### 3.4.16.1.1 Oggetti selezionati (Dialogo)

### OGGETTI SELEZIONATI

Questo dialogo dà informazioni sugli oggetti selezionati. Procedendo dall'alto verso il basso e da sinistra verso destra, esso dà:

- il numero dei nodi selezionati;**
- il numero delle bielle selezionate;**
- il numero delle travi selezionate;**
- il numero delle piastre selezionate;**
- il numero delle membrane selezionate;**
- il numero delle molle selezionate;**
- il numero dei superelementi selezionati;**
- il peso delle bielle selezionate;**
- il peso delle travi selezionate;**
- la lunghezza delle bielle selezionate;**
- la lunghezza delle travi selezionate.**

#### 3.4.16.2 Azioni

##### **COMANDO: Interroga-Oggetti selezionati-Azioni**

**[Ribbon-Home]**



Questo comando è molto importante per il controllo dei dati. Esso serve a dare informazioni sulla risultante delle azioni applicate sugli oggetti selezionati. Appena eseguito il comando compare un opportuno dialogo ([Casi di carico](#)<sup>739</sup>) che chiede a quale caso di carico si è interessati. Scelto il caso voluto ci si trova di fronte ad un [property sheet](#)<sup>739</sup> di tipo modale, composto da più fogli. Ad ogni foglio corrisponde un tipo di azione. L'ultimo foglio dà la risultante dei vari tipi di azione. Usciti dal property sheet si ritorna al dialogo iniziale.



**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento.



## 3.4.16.2.1 Casi di carico (Dialogo)

**CASI DI CARICO (DIALOGO)**

Questo dialogo serve a far scegliere uno dei casi di carico prima di procedere oltre. La scelta avviene o facendo doppio click sul caso che interessa, oppure selezionando il caso di carico e, poi, premendo il bottone  .

## 3.4.16.2.1.1 Azioni sugli oggetti selezionati (Property sheet)

**AZIONI SUGLI OGGETTI SELEZIONATI (PROPERTY SHEET)**

NODALI      UNIFORMI      CONCENTRATI      LINEARI      GENERALI      TOTALE

Questo property sheet è usato in sei modi diversi dal comando che dà le risultanti delle azioni sugli oggetti selezionati. Esso riporta per le forze e per le coppie le risultanti dei carichi applicati sugli oggetti selezionati, ed il punto di applicazione del risultante. Le azioni usate per il calcolo sono quelle il cui tipo (**Nodali**, ecc.) è riportato come titolo del dialogo. **Totali** è la risultante complessiva.

**3.4.17 Mostra Snellezze****3.4.17.1 A Lambda 2**

**COMANDO: Interroga-Mostra snellezze-Lambda 2**

[Ribbon-Home]

**$\lambda 2$**

Questo comando serve a attivare una modalità grafica che fa vedere una mappa a colori con le snellezze secondo l'asse locale 2.

**Tipo:** flag

**Destinazione:** vista attiva.

#### 3.4.17.2 B Lambda 3

**COMANDO: Interroga-Mostra snellezze-Lambda 3**

[Ribbon-Home]

**$\lambda 3$**

Questo comando serve a attivare una modalità grafica che fa vedere una mappa a colori con le snellezze secondo l'asse locale 3.

**Tipo:** flag

**Destinazione:** vista attiva.

#### 3.4.17.3 C Lambda Max

**COMANDO: Interroga-Mostra snellezze-Lambda Max**

[Ribbon-Home]

**$\lambda M$**

Questo comando serve a attivare una modalità grafica che fa vedere una mappa a colori con le snellezze massime tra quella secondo l'asse locale 2 e quella secondo l'asse locale 3..

**Tipo:** flag

**Destinazione:** vista attiva.

#### 3.4.18 Trova

**COMANDO: Interroga-Trova**

[Ribbon-Home]

**<sup>112</sup>  
?**

Questo comando serve ad individuare la posizione di oggetti di cui si conosce il numero progressivo o la marca (per i jnodi). Alla esecuzione del comando compare un dialogo ([Trova](#)<sup>741</sup>) che chiede le informazioni necessarie. L'oggetto verrà mostrato nella vista attiva.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** vista.

### 3.4.18.1 Trova (Dialogo)

#### TROVA

Questo dialogo chiede due cose: un numero o una marca, e un tipo. In seguito l'oggetto del tipo richiesto avente il numero indicato o la marca indicata verrà opportunamente illuminato.

Per tutti gli oggetti tranne i jnodi va specificato un numero.

Per i jnodi va specificata una marca (vedi figura).

## 3.5 Menu Disegna, Ribbon: Home

### 3.5.1 Ridisegna

**COMANDO:** Disegna-Ridisegna

**[Ribbon-Home]**

Questo comando comporta il fatto che la vista attiva venga invalidata e che, in essa, il modello venga ridisegnato.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista.

### 3.5.2 Includi

**COMANDO: Disegna-Includi****[Ribbon-Home]**

Questo comando viene impiegato per vedere il modello interamente nella finestra della vista attiva.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista.

### 3.5.3 Pan

**COMANDO: Disegna-Pan****[Ribbon-Home]**

Questo comando viene impiegato per spostare il riquadro di vista di un vettore stabilito dall'utente. Appena eseguito il comando vengono chiesti due punti interni alla finestra attiva. I punti possono essere scelti con il mouse o con la tastiera. Appena scelto il secondo punto la vista verrà traslata del vettore richiesto. A questo punto il comando aspetta il primo punto di un nuovo vettore, e così via.

Il comando è ciclico, nel senso che la richiesta di un vettore continua fino a che il comando non viene esplicitamente interrotto cliccando a destra con il mouse o premendo il tasto ESC. La ciclicità del comando consente riaggiustamenti successivi.

**Tipo:** non modale

**Destinazione:** vista attiva.

### 3.5.4 Pan su

**COMANDO: Disegna-Pan su**

[Ribbon-Home]



Questo comando viene impiegato per spostare il riquadro di vista di uno scatto in su.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista attiva.

### 3.5.5 Pan giù

**COMANDO: Disegna-Pan giù**

[Ribbon-Home]



Questo comando viene impiegato per spostare il riquadro di vista di uno scatto in giù.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista attiva.

### 3.5.6 Pan destra

**COMANDO: Disegna-Pan destra**

**[Ribbon-Home]**

Questo comando viene impiegato per spostare il riquadro di vista di uno scatto verso destra.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista attiva.

### 3.5.7 Pan sinistra

**COMANDO: Disegna-Pan sinistra****[Ribbon-Home]**

Questo comando viene impiegato per spostare il riquadro di vista di uno scatto verso sinistra.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista attiva.

### 3.5.8 Zoom In

**COMANDO: Disegna-Zoom In****[Ribbon-Home]**

Questo comando consente di ingrandire un dettaglio del modello. Il comando attende che l'utente fornisca un riquadro (ovvero un box: [Dare un box](#)<sup>64</sup>), che verrà rimappato sulla base della dimensione della finestra.

**Tipo:** non modale

**Destinazione:** vista.

### 3.5.9 Zoom In Scatto

#### COMANDO: Disegna-Zoom In Scatto

[Ribbon-Home]

Questo comando consente di ingrandire di uno scatto il disegno.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista.

### 3.5.10 Zoom Out

#### COMANDO: Disegna-Zoom Out

[Ribbon-Home]



Questo comando consente di rimpicciolire ciò che si vede del del modello. Il comando attende che l'utente fornisca un riquadro (ovvero un box: [Dare un box](#)<sup>[64]</sup>), che verrà rimappato sulla base della dimensione della finestra.

**Tipo:** non modale

**Destinazione:** vista.

### 3.5.11 Zoom Out Scatto

#### COMANDO: Disegna-Zoom Out Scatto

[Ribbon-Home]

Questo comando consente di rimpicciolire di uno scatto il disegno.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista.

### 3.5.12 Ultimo Zoom

**COMANDO: Disegna-Ultimo Zoom**

[Ribbon-Home]



Questo comando ripete l'ultimo zoom effettuato.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista.

### 3.5.13 Vista Standard

**COMANDO: Disegna-Vista Standard**

[Ribbon-Home]



Questo comando dà accesso ad un dialogo ([Viste Standard](#)<sup>746</sup>) che consente di scegliere una delle viste standard (x, y, z, -x, -y, -z, isometrica).

**Tipo:** modale

**Destinazione:** vista.

#### 3.5.13.1 Viste standard (Dialogo)

##### VISTE STANDARD (DIALOGO)

Questo dialogo serve a cambiare vista, scegliendo una delle sette viste standard. A ogni vista corrisponde un pulsante bitmap. Dopo il cambiamento di vista il modello verrà mostrato nella sua interezza.



### 3.5.14 Rimappa

#### COMANDO: Disegna-Rimappa

[Ribbon-Home]



Questo comando consente di cambiare la direzione della vista nella vista attiva. Tramite il mouse è possibile definire lo spostamento angolare, relativo alla direzione di vista corrente, della nuova direzione di vista.

Il versore della nuova vista è rappresentato dal raggio della sfera che compare sullo schermo ([dialogo](#)<sup>747</sup>): in particolare, la vista corrente è sempre rappresentata dal raggio che congiunge il centro della sfera con il punto del parallelo maggiore (equatore) posto più in basso sullo schermo; la scelta di tale raggio non produce alcuna variazione nel disegno. Segnali rossi rimarcano gli angoli notevoli misurati sui meridiani e sui paralleli. Tali angoli notevoli sono 0, 30, 45, 60, e 90 gradi.

La vista è aggiornata in tempo reale mentre il mouse viene mosso.

La pressione del tasto sinistro fa scegliere la nuova vista. La pressione del tasto destro del mouse fa interrompere il comando.

Premendo un tasto qualsiasi della tastiera anziché il tasto sinistro del mouse, è possibile dare le tre componenti del vettore della vista in modo numerico (avendo indicati i valori attuali di tale vettore di vista). Infatti, premendo un tasto qualsiasi della tastiera compare un opportuno dialogo ([Cambia Vista](#)<sup>748</sup>) che chiede di fornire i dati necessari.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** vista attiva.

#### 3.5.14.1 Mappamondo (Dialogo)

#### MAPPAMONDO (DIALOGO)

Questo dialogo consente di cambiare vista in due modi diversi.

In un primo modo muovendo il mouse si sceglie un nuovo angolo di vista, confermato premendo il tasto di sinistra del mouse.

Nel secondo modo si preme un tasto qualsiasi e si va al dialogo [Cambia Vista](#)<sup>748</sup>.

#### 3.5.14.1.1 Cambia vista (Dialogo)

### CAMBIA VISTA

Questo dialogo consente di ridefinire il vettore della vista dandone le tre componenti. Non è necessario che il nuovo vettore abbia norma unitaria.

### 3.5.15 Ruota antiorario

#### COMANDO: Disegna-Ruota antiorario

[Ribbon-Home]



Questo comando ruota il vettore della vista di un angolo di 5° in direzione antioraria, su un piano orizzontale.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista.

### 3.5.16 Ruota orario

#### COMANDO: Disegna-Ruota orario

[Ribbon-Home]



Questo comando ruota il vettore della vista di un angolo di 5° in direzione oraria, su un piano orizzontale.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista.

### 3.5.17 Ruota su

**COMANDO: Disegna-Ruota su**

**[Ribbon-Home]**



Questo comando ruota il vettore della vista di un angolo di  $5^\circ$  verso l'alto, su un piano verticale.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista.

### 3.5.18 Ruota giù

**COMANDO: Disegna-Ruota giù**

**[Ribbon-Home]**



Questo comando ruota il vettore della vista di un angolo di  $5^\circ$  verso il basso, su un piano verticale.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista.

### 3.5.19 Tre Punti

**COMANDO: Disegna-Tre Punti**

**[Ribbon-Home]**



Questo comando serve a cambiare direzione di vista. La nuova vista sarà definita da un versore normale al piano che passa per i tre punti indicati dall'utente. Ai tre punti devono corrispondere nodi esistenti sulla struttura. Vanno scelti tre nodi, dunque, premendo il tasto di sinistra del mouse (o il tasto INVIO). Il comando può essere interrotto col tasto destro o con ESC.

**Tipo:** non modale

**Destinazione:** vista attiva.

### 3.5.20 Estrai

#### COMANDO: Disegna-Estrai

[Ribbon-Home]



Questo comando serve a estrarre alcuni elementi dal modello vedendo solo loro. Tutti gli elementi non estratti verranno nascosti. Gli elementi non estratti sono gli elementi che non figurano selezionati nel serbatoio estrai ([Serbatoi di Selezione](#)<sup>165</sup>) al momento della esecuzione del comando.

Un segno di spunta sulla riga del menù corrispondente al comando indica la modalità estrai. Se il segno di spunta manca vuol dire che la modalità è quella normale.

Se una parte della struttura è stata estratta, le verifiche, la deformata e i diagrammi di azioni interne vengono visualizzati per i soli elementi estratti.

Nel caso in cui si sia fatta un'estrazione, è conveniente porre come serbatoio di selezione corrente il serbatoio 1, 2 o 3 onde non interferire con quanto contenuto nel serbatoio di estrazione in modo accidentale. Eventuali modifiche del contenuto del serbatoio *estrai*, infatti, hanno effetto immediato.

Se si vuole cambiare il sottoinsieme di oggetti estratti, è sufficiente deselezionare parte degli oggetti selezionati nel serbatoio *estrai* o, viceversa, aggiungerne di nuovi.

Es: se si vogliono visualizzare solo due sottoinsiemi distinti in modo rapido, basta conservare i due sottoinsiemi in due serbatoi, per esempio 2 e 3, e selezionare tutti gli oggetti (posizionandoli nel serbatoio di estrazione) con un filtro sul serbatoio ([Filtri di Selezione](#)<sup>[162]</sup>). In questo modo tutto ciò che era selezionato, per esempio nel serbatoio 2, viene immediatamente selezionato nel serbatoio *estrai*.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista attiva.

### 3.5.21 Definisci vista

**COMANDO: Disegna-Definisci Vista**

**[Ribbon-Home]**

Questo comando, memorizza la vista attiva nella posizione specificata mediante un opportuno dialogo ([Definizione di una Vista Utente](#)<sup>[751]</sup>). In seguito la vista memorizzata potrà essere richiamata con il comando [Vista Utente](#)<sup>[751]</sup>.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** vista attiva.

#### 3.5.21.1 Definizione di una vista utente (Dialogo)

#### DEFINIZIONE DI UNA VISTA UTENTE (DIALOGO)

La vista corrente verrà memorizzata come Vista 1, 2 o 3 a seconda del bottone premuto.

### 3.5.22 Vista utente

**COMANDO: Disegna-Vista Utente**

**[Ribbon-Home]**

Questo comando serve a richiamare una vista utente precedentemente memorizzata con il comando [Definisci Vista](#)<sup>[751]</sup>. Alla esecuzione del comando corrisponde un opportuno dialogo ([Richiamo di una Vista Utente](#)<sup>[752]</sup>) che fa scegliere la vista desiderata.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** vista attiva.

#### 3.5.22.1 Richiamo di una vista utente (Dialogo)

### **RICHIAMO DI UNA VISTA UTENTE (DIALOGO)**

La nuova vista sarà la Vista Utente 1, 2 o 3 a seconda che si preme il bottone Vista 1, 2 o 3.

#### 3.5.23 Fili fissi...

### **COMANDO: Disegna-Fili fissi...**

[Ribbon strumenti]

Questo comando consente di gestire i fili fissi presenti nel modello. Alla sua esecuzione compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[752]</sup> che consente di aggiungere, cancellare o modificare i fili fissi.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

#### 3.5.23.1 Gestione allineamenti (Dialogo)

### **GESTIONE ALLINEAMENTI (FILI FISSI) (DIALOGO)**

Questo dialogo consente di fare tutte le scelte necessarie al fine di gestire l'insieme dei fili fissi presenti all'interno del modello. Per “filo fisso” si intende un piano di equazione nota. I fili fissi sono descritti mediante “nomi” organizzati secondo criteri logici.

Il riquadro alla sinistra del dialogo lista tutti i fili fissi presenti nel modello. Ogni riga rappresenta un filo fisso, con il suo nome e l'equazione del piano corrispondente (tenendo conto delle unità di misura attive). Le righe sono singolarmente selezionabili e alcuni bottoni sulla destra consentono di fare scelte sul luogo selezionato. I bottoni sono i seguenti:

### **Aggiungi via equazione**

Consente di aggiungere un nuovo luogo specificandone l'equazione. Alla pressione del bottone compare un nuovo [dialogo](#)<sup>754</sup> che consente di descrivere il nuovo luogo. Il luogo verrà aggiunto a quelli esistenti.

### **Aggiungi via selezione**

Consente di aggiungere molti luoghi a quelli esistenti esaminando gli elementi trave e biella selezionati. Se esiste una e una sola terna di nodi non allineati selezionati anche il piano da loro definito sarà aggiunto da questo comando. Per ogni coppia di elementi congiunti selezionati, non allineati, è definibile l'equazione di un piano. L'equazione di questo piano è raffrontata con quella dei piani esistenti e, se il piano non esiste, esso viene aggiunto e gli elementi deselezionati. Se il bottone viene premuto a partire da una situazione di assenza di fili fissi, come avviene di solito, i fili fissi vengono nominati automaticamente, in caso contrario gli viene dato un nome temporaneo “???” che sarà poi l'utente a modificare.

L'assegnazione automatica del nome ai luoghi segue queste regole:

- Piani del tipo “ $x=\text{costante}$ ”: 1, 2, 3, 4, ...ecc.
- Piani del tipo “ $y=\text{costante}$ ”: A, B, C, D, ecc.
- Piani del tipo “ $z=\text{costante}$ ”: L1, L2, L3, L4

Questo bottone è molto utile per inizializzare i luoghi di un modello. Il comando può trovare luoghi indesiderati (se per facilità sono stati selezionati tutti gli elementi) oppure mancare di

aggiungere luoghi desiderati (se esistono luoghi privi di coppie di elementi selezionati). Nel primo caso i luoghi indesiderati si possono facilmente rimuovere. Nel secondo caso i luoghi si possono aggiungere manualmente, oppure, prima della esecuzione del comando, è possibile aggiungere selezionandoli degli elementi fittizi al solo scopo di far trovare i luoghi desiderati al comando.


### **Rimuovi**

Rimuove il luogo selezionato.

### **Rimuovi tutti**

Rimuove tutti i luoghi.

### **Modifica**

Dà accesso ad un opportuno [dialogo](#)  che consente di modificare il nome o l'equazione del luogo.

### **Ordina!**

Riordina i luoghi sulla base delle loro equazioni.

3.5.23.1.1 Aggiunta di un filo fisso (Dialogo)

## **AGGIUNTA DI UN FILO FISSO (DIALOGO)**

Consente sia di definire i dati che identificano un nuovo filo fisso, sia di modificare un filo fisso esistente.

Bisogna specificare:



1. La sigla del filo fisso. Si consiglia di usare sigle brevi, poiché il sistema di marcatura automatica delle membrature utilizza la sigla dei fili fissi. Esempi possono essere i seguenti: “1”, “7”, “A”, “M”, “AA”, “A1”, “1A”, “L1”, ecc.
2. L'equazione del luogo, nella forma  $ax+by+cz=d$ , dove si deve specificare a, b, c (numeri adimensionali) e d (numero avente come unità di lunghezza l'unità attiva).

### 3.5.24 Tavole...

#### COMANDO: Disegna-Tavole...

[Ribbon-Strumenti]

Questo comando consente creare in modo automatico le tavole di disegno in formato DXF relative ad uno o più fili fissi tra quelli presenti nella struttura. Alla sua esecuzione compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[755]</sup> che consente di scegliere quali tavole creare e con quali impostazioni (si veda anche [Come generare i disegni](#)<sup>[348]</sup>). Perché il comando possa essere eseguito deve essere stato in precedenza eseguito il comando [Genera membrature!](#)<sup>[1270]</sup>.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

#### 3.5.24.1 Creazione disegni (Dialogo)

#### CREAZIONE DISEGNI (DIALOGO)

Questo dialogo consente di decidere quali tavole creare e con quali impostazioni. Alla sinistra del dialogo c'è un riquadro con la lista di tutti gli allineamenti (fili fissi) presenti nel modello.

I fili fissi possono essere aggiunti mediante il comando [Disegna-Fili fissi](#)<sup>[752]</sup>. Ciascun filo fisso può essere selezionato o meno. Se è selezionato la sua tavola verrà creata dal programma altrimenti no. Ad ogni filo fisso selezionato corrisponde un distinto file DXF, il cui nome è ottenuto aggiungendo al nome del modello il nome del luogo. Ad esempio per un modello denominato “pippo” nella cartella “c:\pluto”, al luogo denominato “A1” corrisponderà

il file “c:\pluto\pippo.A1.dxf”. I bottoni **Tutti** e **Nessuno** servono a selezionare tutti i luoghi o a deselezionarli, con effetto immediato.

Nel riquadro di destra sono presenti delle caselle di scelta che consentono di decidere cosa il disegno dovrà contenere e cosa no (si veda anche [Come generare i disegni](#)<sup>348</sup>).

### **Membrature wireframe**

Se la spunta è presente verranno aggiunte linee corrispondenti alla linea d'asse delle membrature.

### **Membrature solide proiettate**

Se la spunta è presente verranno aggiunte le linee corrispondenti ad una vista solida proiettata della membratura. Le linee nascoste sono posizionate su un layer a parte.

### **Marche**

Se la spunta è presente verranno aggiunte le marche delle membrature.

### **Etichette sezione**

Se la spunta è presente verranno aggiunte le etichette di sezione a ciascuna membratura

### **Segni connessione**

Se la spunta è presente verranno aggiunti i segni di connessione all'estremo delle membrature.

### **Azioni afferenti ai giunti**

Se la spunta è presente verranno aggiunti i valori numerici delle sollecitazioni involuppo agli estremi delle membrature, con le forze in kN ed i momenti in kNm. Tale opzione è molto comoda se si vuole informare una terza parte mettendola in condizione di progettare i giunti.

### **Fili fissi**

Se la spunta è presente verranno aggiunti i segni grafici che individuano tutti i fili fissi così come intersecano il luogo della generica tavola.

### **Elementi intersecati (sezioni)**

Se la spunta è presente verranno aggiunte le sezioni degli elementi tagliati dal filo fisso della tavola corrente. Tale opzione è utile per rappresentare membrature non giacenti sul luogo e da questo intersecate.

## **3.6 Menu Seleziona, Ribbon: Home**

### **3.6.1 Tutti**

#### **COMANDO: Seleziona-Tutti**

**[Ribbon-Home]**



Questo comando seleziona tutti gli elementi o i nodi indipendentemente dal filtro attivo. Ciò a cui il comando si riferirà è indicato nella barra di stato.

Per maggiori informazioni andare a [Selezionare](#) <sup>159</sup>

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

### **3.6.2 Nessuno**

#### **COMANDO: Seleziona-Nessuno**

**[Ribbon-Home]**



Questo comando deselecta tutti gli elementi o i nodi indipendentemente dal filtro attivo. Ciò a cui il comando si riferirà (nodi, travi e bielle, piastre e membrane, molle, superelementi) è indicato nella barra di stato.

Per maggiori informazioni andare a [Selezionare](#)<sup>[159]</sup>

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

### 3.6.3 Click

**COMANDO: Seleziona-Click**

**[Ribbon-Home]**



Questo comando consente di catturare entità cliccandoci sopra. Ciò a cui il comando si riferirà è indicato nella barra di stato. Il risultato di questo comando dipende dalla [operazione](#)<sup>[162]</sup> e dal [modo di selezione](#)<sup>[162]</sup>. Il comando viene interrotto cliccando a destra o premendo il tasto ESC.

Se la opzione [Scritte mobili](#)<sup>[709]</sup> è attiva, nel corso della selezione viene mostrata una scritta relativa all'elemento o al nodo più vicino alla posizione corrente del mouse con i gli stessi dati mostrati nel corso di una interrogazione. Facendo doppio click la scritta mobile appare/disappare.

Per maggiori informazioni andare a [Selezionare](#)<sup>[159]</sup>

**Tipo:** non modale

**Destinazione:** documento

### 3.6.4 Box

#### COMANDO: Seleziona-Box

[Ribbon-Home]



Questo comando consente di catturare le entità contenute in un box. Ciò a cui il comando si riferirà è indicato nella barra di stato. Il risultato di questo comando dipende dalla [operazione](#)<sup>[162]</sup> e dal [modo di selezione](#)<sup>[162]</sup>. Il comando viene interrotto cliccando a destra o premendo il tasto ESC.

Per maggiori informazioni andare a:

[Selezionare](#)<sup>[159]</sup> [Dare un box](#)<sup>[64]</sup>

**Tipo:** non modale

**Destinazione:** documento

### 3.6.5 Poligonale

#### COMANDO: Seleziona-Poligonale

[Ribbon-Home]



Questo comando consente di catturare le entità contenute in una poligonale. Ciò a cui il comando si riferirà è indicato nella barra di stato. Il risultato di questo comando dipende dalla [operazione](#)<sup>[162]</sup> e dal [modo di selezione](#)<sup>[162]</sup>. Il comando viene interrotto cliccando a destra o premendo il tasto ESC.

Per maggiori informazioni andare a:

[Selezionare](#)<sup>[159]</sup> [Dare una poligonale](#)<sup>[65]</sup>

**Tipo:** non modale

**Destinazione:** documento

### 3.6.6 Nome

**COMANDO:** Seleziona-Nome

[Ribbon-Home]



Questo comando consente di selezionare oggetti sulla base del nome. Eseguito il comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>760</sup> che chiede di specificare una o più stringhe di ricerca. Tutti gli oggetti (nodi, travi bielle, piastre, membrane, molle e superelementi) che hanno un nome che sposa la stringa di ricerca verranno selezionati.

Per maggiori informazioni andare a: [Selezionare](#)<sup>159</sup>

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

#### 3.6.6.1 Ricerca per nome (Dialogo)

**RICERCA PER NOME (DIALOGO)**

[Ribbon-Home]

Questo dialogo è usato per specificare una o più stringhe di ricerca, da usare per selezionare gli oggetti in base al nome. Le stringhe possono contenere il carattere jolly "\*" e sono separate tra loro dal carattere ";".

### 3.6.7 Fili fissi...

**COMANDO:** Seleziona-Fili fissi...

[Ribbon-Home]



Questo comando consente di aggiungere agli oggetti correntemente selezionati quelli giacenti su un certo numero di luoghi scelti dall'utente per mezzo di un opportuno [dialogo](#)<sup>761</sup>, che appunto chiede quali luoghi considerare. Tutti gli oggetti che possono interamente giacere in un piano (nodi, travi bielle, piastre, membrane, molle) e che giacciono in uno dei piani specificati, saranno selezionati. Per gli elementi beam (trave) ciò che conta sono i nodi non gli estremi: in altre parole non si tiene conto della loro eccentricità.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

#### 3.6.7.1 Selezione di luoghi (Dialogo)

##### SELEZIONE DI LUOGHI (DIALOGO)

Questo dialogo presenta la lista dei luoghi esistenti nel modello, con una casella di spunta. Se è presente la spunta il luogo è selezionato, altrimenti no. Per selezionare un luogo cliccare sulla casella di spunta corrispondente, facendo comparire il segno di spunta. Per deselectionare un luogo far scomparire il segno di spunta.

### 3.6.8 Tutto

**COMANDO:** Seleziona-Tutto

[Ribbon-Home]



Questo comando serve a fare sì che le successive operazioni di selezione riguardino indifferentemente nodi o elementi (tutti i tipi).

**Destinazione:** documento

**Tipo:** flag

### 3.6.9 Nodi

**COMANDO:** Seleziona-Nodi

[Ribbon-Home]



Questo comando serve a fare sì che le successive operazioni di selezione riguardino solo i nodi.

**Destinazione:** documento

**Tipo:** flag

### 3.6.10 Travi e bielle

**COMANDO:** Seleziona-Travi e bielle

[Ribbon-Home]



Questo comando serve a fare sì che le successive operazioni di selezione riguardino solo travi e bielle.

**Destinazione:** documento

**Tipo:** flag



### 3.6.11 Piastre e Membrane

**COMANDO:** Seleziona-Piastre e membrane

[Ribbon-Home]



Questo comando serve a fare sì che le successive operazioni di selezione riguardino solo piastre e membrane.

**Destinazione:** documento

**Tipo:** flag

### 3.6.12 Oggetti

**COMANDO:** Seleziona-Oggetti...

[Ribbon-Home]



Questo comando fa scegliere a quale tipo di oggetto verranno applicate tutte le successive operazioni di selezione. La scelta può riguardare:

- Nodi
- Travi e bielle
- Piastre e membrane
- Molle

- Superelementi
- Solidi
- Azioni (non attivo)
- Tutti: tutti i possibili oggetti

### 3.6.13 Serbatoio...

**COMANDO: Seleziona-Serbatoio...**

[Ribbon-Home]



Questo comando fa cambiare il serbatoio attivo. Per maggiori informazioni andare a:

[Serbatoio di selezione \(dialogo\)](#)  764

[Come selezionare](#)  159

[Serbatoi di selezione](#)  165

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

#### 3.6.13.1 Serbatoio di selezione (Dialogo)

#### SERBATOIO DI SELEZIONE (DIALOGO)

Questo dialogo consente di fissare il serbatoio di selezione attivo. Se si è in modalità estrai i serbatoi disponibili sono il numero 11, 12 o 13. Se non si è in modalità estrai i serbatoi disponibili sono il numero 1, 2, 3.

### 3.6.14 Filtro...

**COMANDO:** Seleziona-Filtro...

[Ribbon-Home]

**F**

Questo comando fa scegliere il filtro di selezione. I filtri di selezione consentono di selezionare facilmente gruppi di oggetti soddisfacenti il filtro. Per filtro si intende una serie di condizioni numeriche e logiche.

Questo comando è collegato ad un [property sheet](#)<sup>765</sup> composto da più pagine: [Filtro \(dialogo\)](#)<sup>766</sup>, [Filtro elementi \(dialogo\)](#)<sup>766</sup>, [Operazione \(dialogo\)](#)<sup>766</sup>.

Per maggiori informazioni andare a:

[Filtri di selezione](#)<sup>162</sup>

[Selezionare](#)<sup>159</sup>

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

#### 3.6.14.1 Filtro (Property sheet)

### FILTRO (PROPERTY SHEET)

Questo property sheet contiene i seguenti fogli:

[Filtro](#)<sup>766</sup>

[Filtro elementi](#)<sup>766</sup>

[Operazione](#)<sup>766</sup>

## 3.6.14.1.1 Filtro (Property page)

**FILTRO (PROPERTY PAGE)**

Questa property page consente di stabilire i [filtri di selezione](#)<sup>162</sup>.

**Sezione:** si può chiedere che la sezione sia attribuita (il quadratino ha la croce), che non sia attribuita (il quadratino è bianco) e fissarne eventualmente il numero (in tal caso gli elementi dovranno avere quel numero di sezioni). Se il quadratino è grigio non viene usato alcun filtro sull'attribuzione della sezione.

**Materiale:** il funzionamento ricalca quello già descritto per la sezione.

**Lunghezza:** si possono stabilire due lunghezze, minima e massima, che verranno interpretate nella unità attiva.

**Serbatoio:** si può dare un numero di serbatoio, compreso tra 1 e 3. Verranno selezionati solo gli elementi o i nodi già selezionati in quel serbatoio.

## 3.6.14.1.2 Filtro elementi (Property page)

**FILTRO ELEMENTI (PROPERTY PAGE)**

Questa property page stabilisce un filtro sul tipo di elementi.

## 3.6.14.1.3 Operazione (Property page)

**OPERAZIONE (PROPERTY PAGE)**

Questa property page serve a fissare l'[operazione di selezione](#)<sup>162</sup> e la [modalità di selezione](#)<sup>162</sup>.

Le operazioni di selezione sono: seleziona, deseleziona, cambia.

Le modalità di selezione sono: autoreferenziale, complemento, forza.

### 3.6.15 Norma...

**COMANDO: Seleziona-Norma...**

[Ribbon-Home]

**N**

Questo comando fa cambiare la norma attiva e dà accesso ai dialoghi che consentono di impostare il funzionamento dei verificatori ([dialogo](#)<sup>[767]</sup>).

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

#### 3.6.15.1 Norma (Dialogo)

##### **NORMA (DIALOGO)**

Questo dialogo fa scegliere la norma attiva.

La norma impostata di default é l'EC3 (che include anche le [NTC2008/NTC2018](#)<sup>[1417]</sup>).

Le norme CNR sono disponibili in tre versioni:

1. Il bottone CNR LS si riferisce alle verifiche secondo CNR10011 agli stati limite;
2. Il bottone CNR si riferisce alle verifiche secondo CNR 10011 alle tensioni ammissibili;
3. Il bottone CNR10011-10022 si riferisce alle verifiche secondo CNR10011 e 10022 alle tensioni ammissibili. Le 10022 non contemplano verifiche agli stati limite. Le CNR10022 sono state implementate in modo semiautomatico ([Guida Tecnica alle Verifiche](#)<sup>[1357]</sup>).

Il bottone FREE si riferisce alle verifiche libere (eseguite con il comando [Post-Verifiche libere-Verifica](#)<sup>[1177]</sup>, vedasi [Verifiche Libere](#)<sup>[291]</sup>).

Da questo dialogo è possibile richiamare altri dialoghi utili per le impostazioni relative alle varie norme ([EC3](#)<sup>768</sup>, [legno](#)<sup>772</sup>)

#### 3.6.15.1.1 Eurocodice 3 - Impostazioni (Property sheet)

### EUROCODICE 3 - IMPOSTAZIONI (PROPERTY SHEET)

Questo property sheet contiene i seguenti fogli:

[Gamma](#)<sup>768</sup>

[Metodi](#)<sup>769</sup>

[Mcrit](#)<sup>770</sup>

[Tracciamento](#)<sup>771</sup>

Il property sheet gestisce le impostazioni di verifica in accordo all'EN1993-1-1 e alle NTC2008/NTC2018.

#### 3.6.15.1.1.1 Gamma (Property page)

### GAMMA (PROPERTY PAGE)

Questa property page consente di impostare i valori dei coefficienti gamma relativi al materiale utilizzati dal verificatore secondo le norme EC3. I coefficienti  $\gamma$  sono coefficienti incasellati e quindi dipendono dai documento NAD emessi dai singoli paesi. I valori proposti dalla norma sono:

$$\gamma_{M0}=1,00$$

$$\gamma_{M1}=1,00$$

$$\gamma_{M2}=1,25$$

In Italia in base alle ultime informazioni disponibili i coefficienti da adottare sono:

$$\gamma_{M0}=1,05$$

$$\gamma_{M1}=1,05$$

$$\gamma_{M2}=1,25$$

Gli stessi coefficienti sono previsti dalle NTC2008/NTC2018:

$$\gamma_{M0}=1,05$$

$$\gamma_{M1}=1,05$$

$$\gamma_{M2}=1,25$$

#### 3.6.15.1.1.2 Metodi (Property page)

### **METODI (PROPERTY PAGE)**

Questa property page consente di impostare il modo in cui il verificatore automatico secondo EC3 svolgerà i calcoli.

#### **Elastoplasticità**

Il primo riquadro consente di forzare la verifica secondo un criterio elastico. In pratica se viene applicata la spunta al controllo “usa dimensionamento elastico” le sezioni classificate in classe 1 o 2 verranno forzate ad avere classe 3 e verificate di conseguenza.

#### **Instabilità: presso flessione retta o deviata**

Il secondo riquadro consente di stabilire in che modo eseguire le verifiche di pressoflessione retta o deviata. Sono possibili varie scelte. Nell’ambito della EN1993-1-1 sono previsti due metodi: il metodo 1 (franco belga) ed il metodo 2 (austro tedesco). Tale metodo è al momento confinato a sezioni doppiamente simmetriche (6.3.3.(1)) ed è quindi a rigore applicabile solo ad esse. Il programma prevede varie opzioni, tra le quali quella di adottare le “vecchie” formule previste dalla versione ENV della norma per tutte le sezioni o

solo per quelle non doppiamente simmetriche. Poiché si ha notizia di una prossima estensione che dovrebbe ampliare il raggio di azione dei metodi 1 e 2 anche alle sezioni non doppiamente simmetriche, il programma consente anche di impiegare tali metodi per le sezioni non doppiamente simmetriche. Si raccomanda di impiegare queste opzioni con attenzione, possibilmente confrontando i risultati ottenuti. A parere nostro l'uso dei metodi 1 e 2 su sezioni non doppiamente simmetriche non è ancora sufficientemente provato.

Per le NTC2008 (Circolare 2 febbraio 2009, n.617 - C.S.LL.PP.) e NTC 2018 è possibile scegliere tra due metodi: il metodo A o il metodo B, che coincide con il metodo 2 dell'EN. Per maggiori approfondimenti si consulti la [Guida tecnica alle verifiche](#)<sup>1417</sup>.

### Calcolo della freccia massima per il calcolo di $C_m$ (metodo 1)

Il terzo riquadro ha senso solo nel caso in cui si usi il metodo 1. In tal caso occorre valutare la freccia massima delle membratura nell'ipotesi di estremi fissi. Tale freccia può essere calcolata integrando la linea elastica (con maggior onere computazionale) oppure può essere forfettariamente valutata mediante una certa frazione della luce.

3.6.15.1.1.3 Mcrit (Svergolamento) (Property page)

### MCRIT (svergolamento) (PROPERTY PAGE)

Questa property page consente di impostare il calcolo del momento critico  $M_{crit}$  per lo svergolamento. Il primo riquadro “**calcolo del coefficiente  $C_1$** ” consente di specificare il metodo con il quale calcolare il coefficiente di distribuzione del momento applicato. Il coefficiente  $C_1$  moltiplica direttamente l'espressione del momento  $M_{crit}$ , e quindi tanto più esso è grande tanto maggiore è il momento critico elastico di svergolamento. Nel caso in cui la distribuzione di momento non sia una di quelle tabellate, il calcolo del momento  $M_{crit}$  è tutt'altro che facile. Sono state proposte per esso delle formule chiuse che, campionando in più punti il diagramma, consentono di scrivere il valore di  $C_1$ . Le scelte possibili sono:



1. Valore prefissato. Si usa questa scelta per casi elementari nei quali la combinazione di verifica sia unica e per i quali sia noto (da tabelle) il valore di  $C_1$  da adottare;
2. Metodo di Serna. E' al momento considerato il metodo maggiormente attendibile (cfr. Miguel A. Serna Aitziber Lopez, Inigo Puente and Danny J. Young "Equivalent uniform moment factors for lateral-torsional buckling of steel members")
3. Metodo di Kirby Nethercot: è il metodo da cui deriva il metodo di Serna.
4. Metodo British standard. E' un ulteriore metodo impiegato dalle norme BS.

Il secondo riquadro "**Condizioni di vincolo convenzionali**" è usato solo quando si usi il metodo di Serna e consente di scegliere tra una situazione di svergolamento impedito e warping impedito ( $k=0,5$ ) ed una situazione in cui questi siano liberi ( $k=1$ ). Si tratta, è bene dirlo, di condizioni in gran parte convenzionali.

Il riquadro "**Posizionamento del carico**" consente di tenere in conto in modo ingegneristico il posizionamento del carico. Se questo è applicato all'estradosso il momento critico diminuisce (ed il fattore sarà minore di 1), se questo è applicato all'intradosso il momento critico aumenta ed il fattore è maggiore di 1.

#### 3.6.15.1.1.4 Tracciamento (Property page)

### TRACCIAMENTO (PROPERTY PAGE)

Questa property page consente di attivare o meno l'opzione di tracciamento dei calcoli. Tale opzione è molto utile ma può essere molto pesante, nel senso che può generare tabulati di rilevante dimensione. Una volta scelto di attivare il tracciamento, si possono scegliere vari livelli di tracciamento, ai quali corrispondono file di dimensioni via via maggiori.

Se il modello si chiama "alfa", viene creato il file ASCII "alfa.eur.txt", che impiega unità di misura standard: N, mm ed unità derivate.

## 3.6.15.1.2 Impostazione norme verifiche legno (Dialogo)

**IMPOSTAZIONE NORME VERIFICHE LEGNO (DIALOGO)**

Questo dialogo serve ad impostare le verifiche per gli elementi lignei. Per prima cosa si fissa la classe di servizio per la struttura, ricordando la definizione chiarita nella legenda. Poi si sceglie quali algoritmi adoperare, se quelli dell'Eurocodice 5 o quelli delle norme italiane NICOLE o NTC/2005 o NTC2008-2018. Infine si fissano i valori dei coefficienti  $\gamma_M$  per le varie tipologie di legno.

**3.6.16 Unità...****COMANDO: Seleziona-Unità...****[Ribbon-Home]****U**

Questo comando fa cambiare le unità di misura attive, attraverso un property sheet contenente i seguenti fogli: [Lunghezza](#)<sup>773</sup>, [Forza](#)<sup>773</sup>, [Tempo](#)<sup>773</sup> e [Temperatura](#)<sup>773</sup>.

Il programma dialoga con l'utente nelle unità di misura attive. Anche l'utente dialoga con il programma usando le unità di misura attive.

**Tipo:** modale**Destinazione:** documento**Abbreviazione:** cliccare a destra o a sinistra sulla unità all'interno della barra di stato.**3.6.16.1 Unità di misura (Property sheet)****UNITA' DI MISURA (PROPERTY SHEET)**

Questo property sheet contiene i seguenti fogli:

[Lunghezza](#) 

[Forza](#) 

[Tempo](#) 

[Temperatura](#) 

#### 3.6.16.1.1 Lunghezza (Property page)

### **LUNGHEZZA (PROPERTY PAGE)**

Questa property page consente di scegliere l'unità di lunghezza preferita.

#### 3.6.16.1.2 Forza (Property page)

### **FORZA (PROPERTY PAGE)**

Questa property page consente di scegliere l'unità di forza preferita.

#### 3.6.16.1.3 Tempo (Property page)

### **TEMPO (PROPERTY PAGE)**

Questa property page consente di scegliere l'unità di tempo preferita.

#### 3.6.16.1.4 Temperatura (Property page)

### **TEMPERATURA (PROPERTY PAGE)**

Questa property page consente di scegliere l'unità di temperatura preferita.

### 3.6.17 Vincoli

**COMANDO: Seleziona-Vincoli...**

**[Ribbon-Home]**

Questo comando seleziona i nodi che hanno un certo vincolo che viene indicato mediante un opportuno dialogo, che si apre non appena il comando viene eseguito. I nodi aventi quel tipo di vincolo saranno selezionati (senza modificare la selezione esistente).

### 3.6.18 Sfruttamenti

**COMANDO: Seleziona-Sfruttamenti...**

**[Ribbon-Home]**

Questo comando consente di indicare un intervallo di sfruttamenti, ovvero un valore minimo e massimo. Solo gli elementi trave e biella aventi il proprio sfruttamento compreso tra i limiti indicati verranno selezionati. Lo sfruttamento preso in considerazione è quello attualmente rappresentato a schermo. Perché il comando sia accessibile, deve dunque essere mostrata la mappa con certi valori di sfruttamento (di inviluppo, o di combinazione, per resistenza o stabilità, ecc.).

Gli elementi pertinenti verranno selezionati, le selezioni esistenti non saranno modificate.

### 3.6.19 X

**COMANDO: Seleziona-X**

**[Ribbon-Home]**

X

Questo comando seleziona tutte le travi e bielle aventi la loro linea d'asse parallela all'asse X.

### 3.6.20 Y

**COMANDO: Seleziona-Y**

**[Ribbon-Home]**

Y

Questo comando seleziona tutte le travi e bielle aventi la loro linea d'asse parallela all'asse Y.

### 3.6.21 Z

**COMANDO: Seleziona-Z**

**[Ribbon-Home]**

Z

Questo comando seleziona tutte le travi e bielle aventi la loro linea d'asse parallela all'asse Z.

### 3.6.22 XY

**COMANDO: Seleziona-XY**

**[Ribbon-Home]**

XY

Questo comando seleziona tutte le travi e bielle aventi la loro linea d'asse giacente in un piano XY (ovvero  $Z=\text{costante}$ ). Il comando riguarda solo gli elementi inclinati, e non considera gli elementi diretti come X o come Y, per i quali esiste un comando specifico.

### 3.6.23 YZ

**COMANDO: Seleziona-YZ**

**[Ribbon-Home]**

YZ

Questo comando seleziona tutte le travi e bielle aventi la loro linea d'asse giacente in un piano YZ (ovvero  $X=\text{costante}$ ). Il comando riguarda solo gli elementi inclinati, e non considera gli elementi diretti come Y o come Z, per i quali esiste un comando specifico.

### 3.6.24 XZ

**COMANDO: Seleziona-XZ**

**[Ribbon-Home]**

XZ

Questo comando seleziona tutte le travi e bielle aventi la loro linea d'asse giacente in un piano XZ (ovvero  $Y=\text{costante}$ ). Il comando riguarda solo gli elementi inclinati, e non considera gli elementi diretti come X o come Z, per i quali esiste un comando specifico.

### 3.6.25 Sezione precedente

**COMANDO: Sezione precedente**

**[Ribbon-Home]**

Questo comando è attivo solo quando è selezionata una sola membratura.

Il comando fa passare alla sezione precedente tra quelle scelte per eseguire le verifiche. Il posizionamento dipende quindi da quante sezioni si sono scelte, sulle membrature, per eseguire le verifiche (comando [Imposta](#)<sup>[1235]</sup>).

Il posizionamento è confermato dal quadratino rosso mobile, che viene ad essere spostato dopo aver eseguito il comando (solo nelle visualizzazioni FEM e solido trasparente).

Se la sezione corrente è la prima sulla membratura, la sezione precedente è l'ultima.


Il comando può utilmente essere eseguito anche nella modalità di vista corrente della sezione o mentre si esaminano le mappe con gli sforzi adimensionali sulla sezione.

### 3.6.26 Sezione successiva

**COMANDO: Sezione successiva**

**[Ribbon-Home]**

Questo comando è attivo solo quando è selezionata una sola membratura.

Il comando fa passare alla sezione successiva tra quelle scelte per eseguire le verifiche. Il posizionamento dipende quindi da quante sezioni si sono scelte, sulle membrature, per eseguire le verifiche (comando [Imposta](#)

Il posizionamento è confermato dal quadratino rosso mobile, che viene ad essere spostato dopo aver eseguito il comando (solo nelle visualizzazioni FEM e solido trasparente).

Se la sezione corrente è l'ultima sulla membratura, la sezione successiva è la prima.

Il comando può utilmente essere eseguito anche nella modalità di vista corrente della sezione o mentre si esaminano le mappe con gli sforzi adimensionali sulla sezione.

### 3.6.27 Sezione ?


**COMANDO: Sezione ?**

**[Ribbon-Home]**

Questo comando è attivo solo quando è selezionata una sola membratura.

Questo comando consente di scegliere una particolare sezione sulla membratura, anche non compresa tra quelle richieste per le verifiche.

Il posizionamento è confermato dal quadratino rosso mobile, che viene ad essere spostato dopo aver eseguito il comando (solo nelle visualizzazioni FEM e solido trasparente).

Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#) che consente di fare la scelta desiderata.

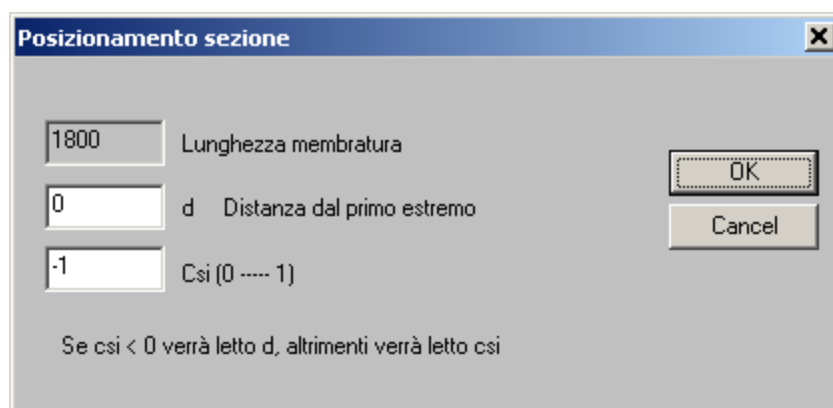


Questo comando è utile in specie nella disamina delle barre di armatura, per esaminare particolari sezioni della membratura.

### 3.6.27.1 Posizionamento sezione

**COMANDO:** Sezione ?

[Ribbon-Home]



Questo dialogo consente di scegliere una sezione sulla membratura correntemente selezionata. La sezione può essere scelta mediante una coordinata adimensionale csi compresa tra 0 ed 1, oppure può essere data fornendo la distanza dal primo estremo della membratura, nella unità di lunghezza corrente. In questo secondo caso è necessario dare una csi < 0 in modo che il programma capisca di dover leggere la distanza e non la csi. Se la csi è compresa tra 0 ed 1, indipendentemente dal valore della distanza, sarà usata csi, e non la distanza.

## 3.7 Menu Mesh, Ribbon: Mesh

### 3.7.1 Griglia

**COMANDO:** Mesh-Griglia

[Ribbon-Mesh]

Questo comando consente di decidere le caratteristiche della griglia. Alla esecuzione del comando, compare un opportuno [dialogo](#)<sup>780</sup> che serve a definire tutte le proprietà della griglia.

La griglia può essere attivata o disattivata anche cliccando sul bottone rosso/verde della barra di stato della finestra principale.

### **Cosa è la griglia**

La griglia dà un insieme di punti che possono essere di grande aiuto nella definizione della mesh.

I comandi di aggiunta di travi e bielle, piastre e membrane, solidi e molle, risentono tutti della possibile esistenza della griglia. Anche il comando interroga geometria è sensibile ai punti della griglia.

I comandi di aggiunta di elementi mediante poligonal (comandi a regione) sono sensibili alla presenza della griglia.

I punti della griglia che sono scelti come nodi di elementi, vengono aggiunti come nodi. Se ciò non avviene i punti della griglia non corrispondono a nodi. Sono solo punti della griglia e basta.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento.

#### **3.7.1.1 Definizione della griglia (dialogo)**

### **DEFINIZIONE DELLA GRIGLIA (DIALOGO)**

**Definizione della Griglia**

**Attivazione**

☒ Attiva

**Disegno**

☒ Mostra linee X o Radiali

☒ Mostra linee Y o Circonferenziali

☐ Mostra linee Z o Meridiani

**Origine e Orientazione**

**Origine**

☐ (0, 0, 0)  XP

☐ Unico nodo selezionato  YP

☒ XP, YP, ZP  ZP

DXP  DYP  DZP

**Orientazione**

☒ (X, Y, Z) ☐ (X, -Y, -Z)

☐ (-X, -Y, Z) ☐ Terna unico elemento selezionato

☐ (-X, Y, -Z)

**Proprietà**

**Tipo**

☒ Cartesiana

☐ Cilindrica

☐ Sferica

☐ Cartesiana non retta  Angolo tra asse Y e X in gradi

☐ Conica  Angolo alla base del cono

**Parametri**

DX o DR

DY (solo Cartesiane)

DZ

Numero di punti lungo un allineamento X o Radiale (origine esclusa)

Numero di punti lungo un allineamento Y o Circonferenziale

Numero di punti lungo un allineamento Z o Meridiano

## Attivazione

La spunta "Attiva" consente di fare sì che la griglia sia attiva oppure no. Se la griglia non è attiva i suoi punti è come se non esistessero. Non sono né visibili, né cliccabili.

## Disegno

Si possono mostrare, o meno, tre insiemi di linee, dirette come gli allineamenti locali della griglia. Nelle griglie cartesiane, sono le parallele agli assi della griglia. Nella griglia cilindrica sono le circonferenze, i raggi e le rette verticali. Nella griglia sferica sono i meridiani, i paralleli e i raggi. In quella conica sono i raggi, le circonferenze e le linee tutte giacenti sulla superficie laterale. Le linee possono aiutare, nel dosaggio desiderato, a meglio comprendere la geometria della griglia. E' anche possibile decidere il colore di queste linee. I punti della griglia, invece, se la griglia è attiva sono sempre visibili.

## Origine

La griglia ha una sua **origine**, vale a dire un punto dello spazio rispetto al quale è definita. La origine:

1. può coincidere con la origine del sistema di riferimento **(0, 0, 0)**,
2. può coincidere con un **nodo selezionato**,
3. può infine avere coordinate generiche **(XP, YP, ZP)**.

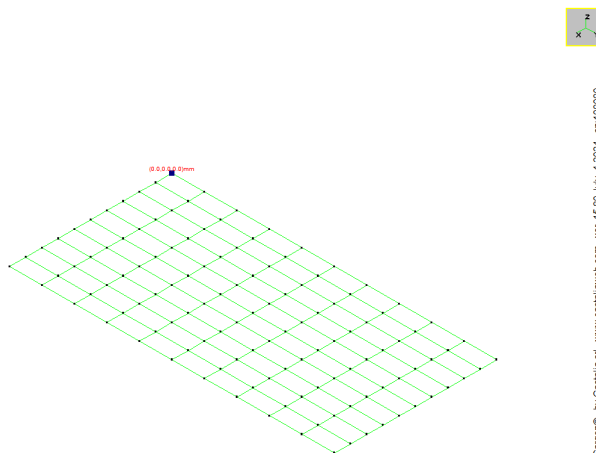
Se si fa la scelta "**unico nodo selezionato**", prima della esecuzione del comando deve essere selezionato uno e un solo nodo. Se si sceglie questa opzione, ma non ci sono nodi selezionati, o sono più d'uno, alla uscita dal dialogo con OK si riceve un messaggio di avviso che informa che la origine della griglia non è stata cambiata.

Le coordinate **XP YP e ZP** sono sempre, all'apertura del dialogo, quelle correntemente usate dalla griglia, nelle unità di misura attive al momento della esecuzione del comando. Si può dare uno spostamento al punto introducendo i valori di **DXP, DYP, DZP** e poi premendo il bottone "+!".

### Orientazione

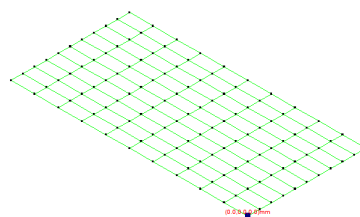
La griglia è definita in un sistema di riferimento locale, che può non coincidere con quello globale (X, Y, Z). Sono possibili le seguenti scelte:

1. (X, Y, Z)



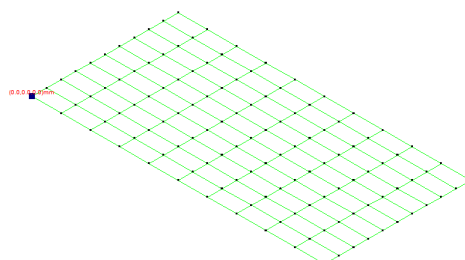
a.

2.  $(-X, -Y, Z)$



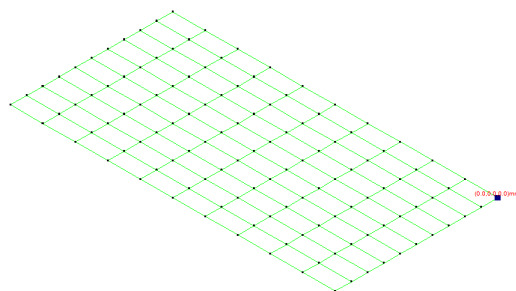
Sargon® - by Castalia srl - [www.castaliaweb.com](http://www.castaliaweb.com) - ver. 15.80 July 4, 2024 - en 10000

a.  
3.  $(-X, Y, -Z)$



Sargon® - by Castalia srl - [www.castaliaweb.com](http://www.castaliaweb.com) - ver. 15.80 July 4, 2024 - en 10000

a.  
4.  $(X, -Y, -Z)$



Sargon© - by Castalia srl - www.castaliaweb.com - ver. 15.80 July 4-2024 - in10000

a.

#### 5. Terna unico elemento selezionato

- a. In questo caso la terna coincide con la terna degli assi locali (1, 2, 3) dell'unico elemento selezionato al momento della esecuzione del comando. Se non c'è alcun elemento selezionato, o sono più di uno, il programma dà un messaggio che avvisa che la orientazione non è stata cambiata. Per "elemento" si intendono: bielle, travi, piastre, membrane, solidi. Questa opzione è molto comoda per avere una griglia appoggiata a un elemento sghembo nello spazio. Basterà scegliere come origine il primo nodo dell'elemento e come terna della griglia la terna locale di quell'elemento.

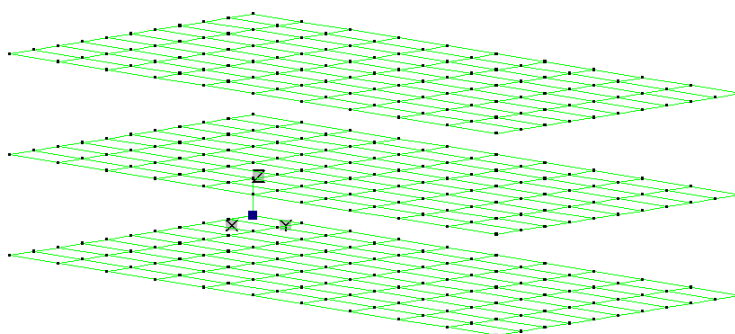
#### Tipo

La griglia può essere di questi tipi:

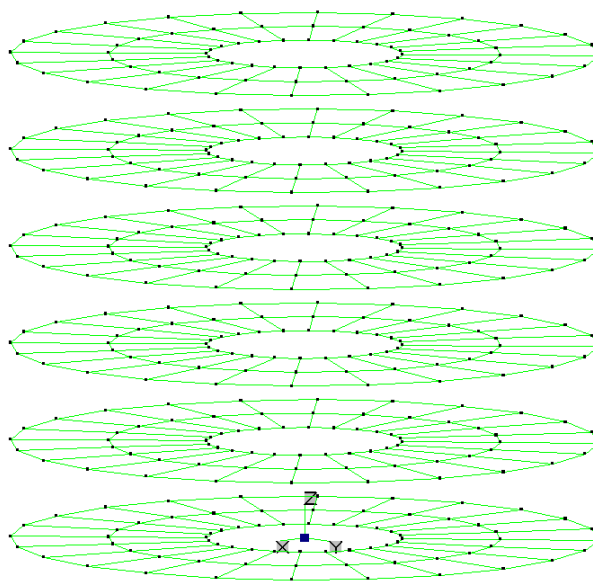
1. Cartesiana. I punti giacciono su un luogo costituito da rette lungo i tre assi locali (x, y, z). **Dx Dy e Dz** sono le distanze tra un punto e il successivo, nelle tre direzioni. **Nx** è il numero di punti lungo un allineamento x. **Ny** è il numero di punti lungo un allineamento y. **Nz** è il numero di punti lungo un allineamento z.
2. Cilindrica. I punti giacciono su un luogo costituito da cilindri concentrici, con gli assi locali (r, q, z). Lungo i raggi i punti (esclusa la origine che non è considerata) sono spazati con **Dx**. **Dy** non è usato. Le circonferenze si ripetono in direzione locale z a passo **Dz**. **Nx** è il numero di punti in direzione radiale (la origine delle circonferenze non è aggiunta). **Ny** è il numero di suddivisioni delle circonferenze. **Nz** è il numero di punti in direzione Z.

3. Sferica. I punti giacciono su un luogo costituito da sfere concentriche, con meridiani, paralleli e raggi. Il raggio della sfera è dato da  $DxNx$ . Il numero dei punti lungo i raggi è pari a  $Nx$ , la origine non è aggiunta. I punti sono spaziati di  $Dx$ . Le circonferenze sono divise in  $Ny$  intervalli. Le circonferenze, di raggio via via minore salendo, sono alla distanza  $Dz$ .
4. Cartesiana non retta. E' come la cartesiana, ma l'asse locale y forma un angolo con l'asse locale x. L'angolo va definito in gradi.
5. Conica. I punti giacciono su circonferenze nel piano locale (r, q). Tali punti sono su superfici coniche aventi un angolo alla base definito dall'utente in gradi.  $Dx$  è il passo in direzione radiale.  $Dy$  non è usato.  $Dz$  è il passo in altezza.  $Nx$  è il numero di punti in direzione radiale.  $Ny$  è il numero di suddivisioni della circonferenza.  $Nz$  il numero di punti in direzione sub verticale.

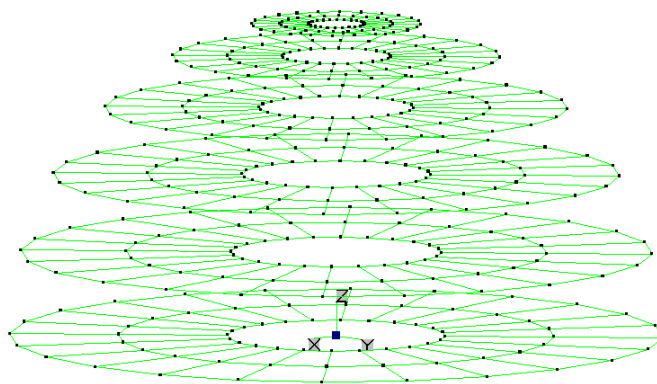
Esempi:



Griglia Cartesiana con  $Dx=1000$ ;  $Dy = 2000$ ;  $Dx = 3000$ ;  $Nx = 11$ ;  $Ny = 11$ ;  $Nz = 3$ . Origine (0, 0, 0). Orientazione (X, Y, Z).



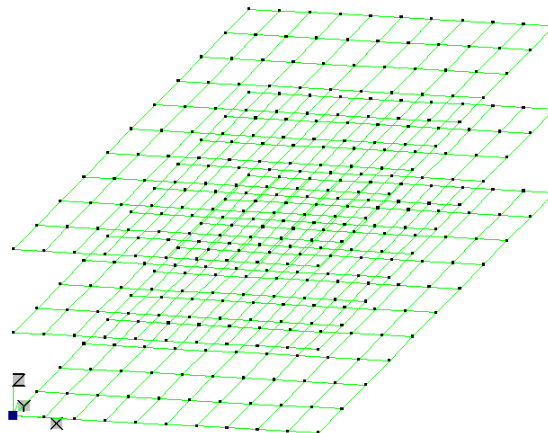
Griglia Cilindrica con  $Dx=1000$ ;  $Dz = 1000$ ;  $Nx = 3$ ;  $Ny = 24$ ;  $Nz = 6$ . Origine  $(0, 0, 0)$ .  
Orientazione  $(X, Y, Z)$ .





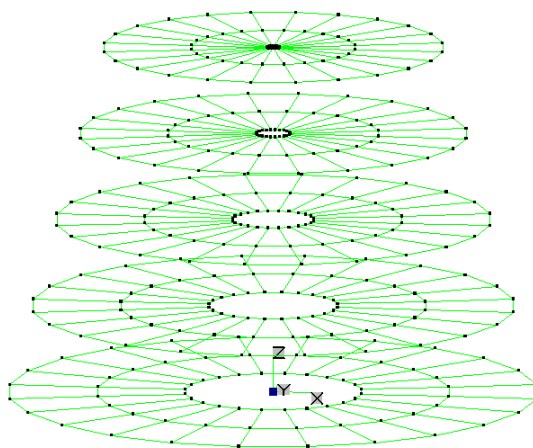
Griglia Sferica con  $Dx=1000$ ;  $Dz = 1000$ ;  $Nx = 3$ ;  $Ny = 24$ ;  $Nz = 6$ . Origine  $(0, 0, 0)$ .

Orientazione  $(X, Y, Z)$ .



Sargon© - by Castalia srl - [www.castaliaweb.com](http://www.castaliaweb.com) - ver. 15.80 July, 4-2024 - sn.100000

Griglia Cartesiana non Retta, angolo  $75^\circ$ ; con  $Dx=1000$ ;  $Dy = 2000$ ;  $Dz = 3000$ ;  $Nx = 11$ ;  $Ny = 11$ ;  $Nz = 3$ . Origine  $(0, 0, 0)$ . Orientazione  $(X, Y, Z)$ .



Griglia Conica angolo  $75^\circ$ ; con  $Dx=1000$ ;  $Dz = 1000$ ;  $Nx = 3$ ;  $Ny = 24$ ;  $Nz = 5$ . Origine (0, 0, 0). Orientazione (X, Y, Z).

## 3.7.2 Nodi

### 3.7.2.1 Aggiungi...

**COMANDO: Mesh-Nodi-Aggiungi...**

**[Ribbon-Mesh]**



Questo comando consente di aggiungere un nodo alla struttura. Le coordinate del nodo vanno date nella unità di misura attiva. Il nodo aggiunto è privo di vincoli. Al comando corrisponde il dialogo [Aggiunta di un nodo](#) <sup>789</sup>.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento.

#### 3.7.2.1.1 Aggiunta di un nodo (Dialogo)

### AGGIUNTA DI UN NODO (DIALOGO)

Questo dialogo chiede le tre coordinate (nella unità attiva) del nodo che verrà aggiunto.

Nota bene: per fare una mesh non è necessario usare questo comando. L'aggiunta degli elementi comporta automaticamente l'aggiunta dei nodi.

### 3.7.2.2 Trasla...

**COMANDO: Mesh-Nodi-Trasla...**

**[Ribbon-Mesh]**



Questo comando consente di traslare i nodi selezionati di un opportuno vettore. Il vettore è fornito mediante il dialogo [Spostamento dei nodi selezionati](#)<sup>790</sup>.

**Nota:** per il comando **Validazione-Cambia sistema di riferimento-Trasla**, che funziona in modo del tutto analogo, si veda [qui](#)<sup>1324</sup>.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento.

#### 3.7.2.2.1 Spostamento dei nodi selezionati (Dialogo)

### POSTAMENTO DEI NODI SELEZIONATI (DIALOGO)

Questo dialogo chiede, nelle unità attive, le tre componenti del vettore traslazione da applicare ai nodi selezionati.

#### 3.7.2.3 Trasla 2...

### COMANDO: Mesh-Nodi-Trasla 2

[Ribbon-Mesh]



Questo comando consente di traslare file di nodi allineati. Dapprima compare un opportuno [dialogo](#)<sup>791</sup>, poi l'utente deve specificare il primo e l'ultimo nodo della fila cliccandovi sopra. Il primo nodo della fila è il primo nodo scelto dall'utente. L'ultimo nodo della fila è il secondo nodo scelto dall'utente. Sono possibili tre modalità operative.

Nella prima modalità i nodi vengono traslati linearmente in funzione della loro distanza dal primo nodo della fila (modalità "/"). L'ultimo nodo della fila verrà spostato della quantità specificata dall'utente, i nodi intermedi della quantità (adx, ady, adz), dove (dx, dy, dz) è lo

spostamento totale,  $a$  è una ascissa adimensionale compresa tra 0 (primo nodo della fila) ed 1 (ultimo nodo della fila).

Nella seconda modalità (" $<$ ") i nodi vengono traslati in modo lineare a tratti, secondo la regola

Se  $a < 0.5$        $(2adx, 2ady, 2adz)$

Se  $a > 0.5$        $(2(1-a)dx, 2(1-a)dy, 2(1-a)dz)$

In modo tale cioè che lo spostamento specificato dall'utente vada sul nodo di mezzo della fila, ed agli altri, allontanandosi dal centro, uno spostamento gradatamente decrescente. Non è necessario che il nodo centrale esista.

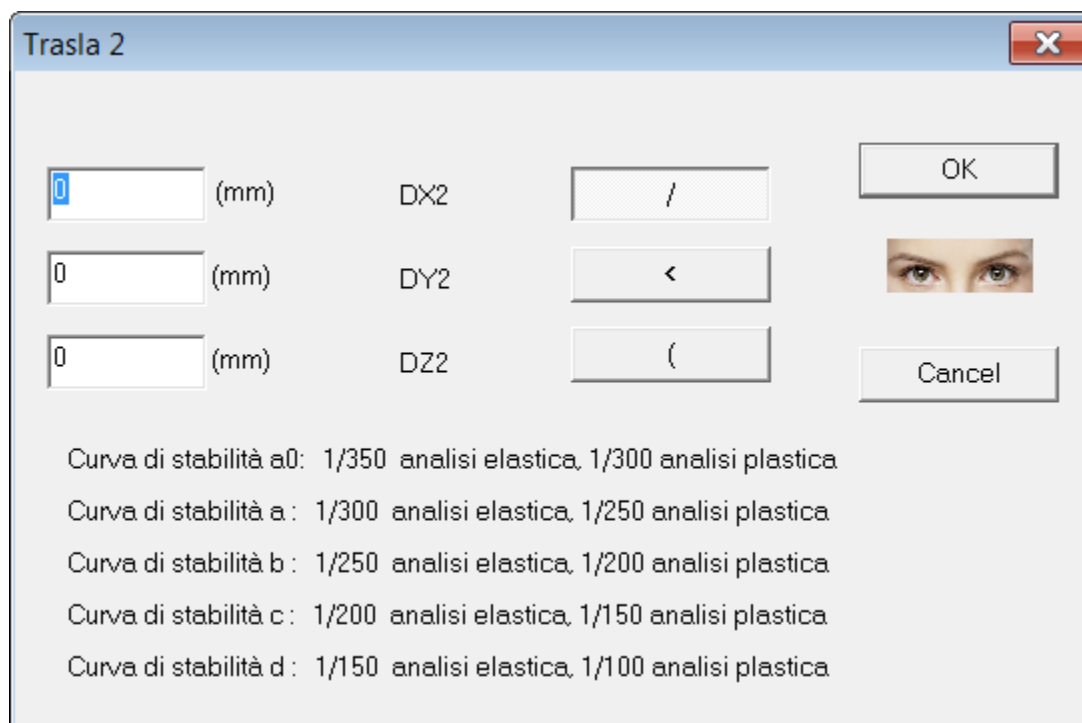
Nella terza modalità (" $($ ") i nodi vengono spostati lungo un arco di seno avente il vertice nel punto medio del segmento individuato dai nodi cliccati come primo e secondo. Non è necessario che il nodo centrale esista. Questa terza modalità è utile a simulare le imperfezioni nei calcoli a stabilità.

**Tipo:** modale e poi non modale

**Destinazione:** documento.

#### 3.7.2.3.1 Trasla 2 (Dialogo)

### TRASLA 2 (DIALOGO)



Questo dialogo è usato per specificare parte dei dati necessari al comando che serve a traslare file di nodi allineati.

Le quantità  $dx2$ ,  $dy2$ ,  $dz2$  individuano le componenti del vettore traslazione da applicare. Esse vanno introdotte rispetto al sistema di riferimento globale e nelle unità di misura attive.

I tre tasti "/", "<" e "(" servono invece a scegliere la modalità operativa del comando. Nel primo caso lo shift sarà applicato per intero all'ultimo nodo della fila e poi in modo decrescente linearmente agli altri, fino ad uno shift nullo, di competenza del primo nodo della fila.

Nel secondo caso lo shift sarà applicato per intero al centro della fila di nodi ed in modo decrescente spostandosi verso gli estremi.

Il terzo caso è come il secondo ma la curva è una senoide.

Una volta completati i dati del dialogo, e premuto il tasto "OK" si dovranno specificare ordinatamente il primo e l'ultimo nodo della fila, mediante il mouse.

#### 3.7.2.4 Trasla su superficie...

#### COMANDO: Mesh-Nodi-Trasla su superficie

## [Ribbon-Mesh]

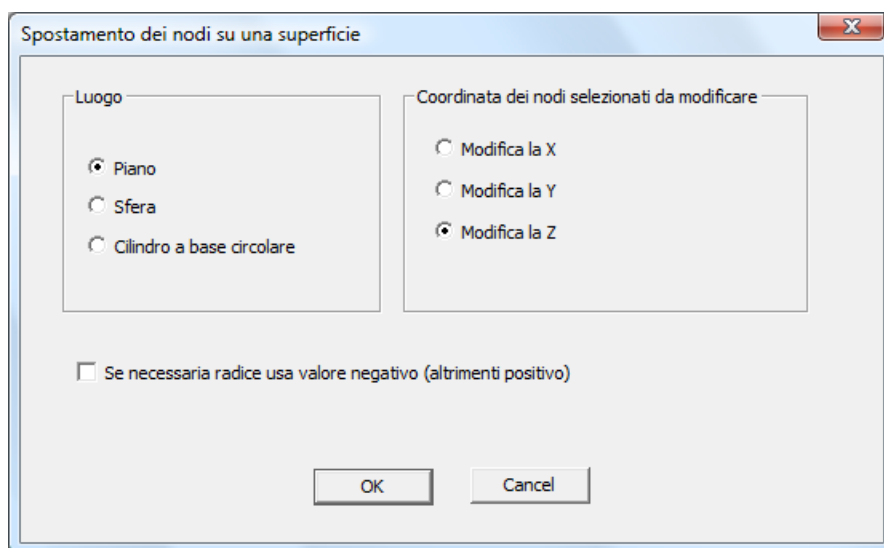
Questo comando consente di traslare i nodi selezionati sulla superficie desiderata. Dopo aver selezionato i nodi che si intende traslare, si esegue il comando e si accede a un opportuno [dialogo](#)<sup>793</sup> in cui si definiscono le modalità di traslazione e la superficie.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

### 3.7.2.4.1 Spostamento dei nodi su una superficie (dialogo)

## SPOSTAMENTO DEI NODI SU UNA SUPERFICIE (DIALOGO)



E' possibile traslare i nodi selezionati su una seguenti superfici:

- piano
- sfera
- cilindro a base circolare

Nel riquadro di destra si sceglie la coordinata che deve essere modificata (X, Y o Z; le altre due non verranno modificate).

Dopo aver premuto OK viene richiesta la definizione della superficie, che può essere data per via numerica o cliccando dei nodi opportuni.

#### **3.7.2.5 Trasla come da spostamenti**

**COMANDO: Mesh-Nodi-Trasla come da spostamenti**

**[Ribbon-Mesh]**

Questo comando consente di traslare i nodi selezionati in base agli spostamenti nodali calcolati precedentemente.

Dopo aver eseguito l'analisi del modello, ci si posiziona nel caso di carico (o nella combinazione) desiderato, si selezionano i nodi da traslare e si esegue il comando: ognuno dei nodi selezionati subirà uno spostamento pari a quello calcolato in quel caso di carico (o in quella combinazione).

Nota: la traslazione dei nodi comporta la perdita dei risultati delle analisi precedentemente svolte.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

#### **3.7.2.6 Trasla come da deformata critica**

**COMANDO: Mesh-Nodi-Trasla come da deformata critica**


**[Ribbon-Mesh]**



Questo comando consente di traslare i nodi selezionati in base alla forma della deformata critica prescelta, relativamente alla combinazione di carico prescelta.

Occorre che sia preventivamente stata eseguita una analisi di buckling. Verranno spostati *solo i nodi selezionati*. Almeno un nodo deve essere selezionato perché il comando sia attivo.

La deformata critica viene amplificata di una quantità tale da generare lo spostamento desiderato. La quantità di spostamento può essere messa in relazione con una curva di stabilità. Questo pretrattamento delle coordinate dei nodi può servire a eseguire una analisi non lineare o per tener conto in modo semplificato degli effetti del secondo ordine.

Alla esecuzione del comando compare un opportuno [Trasla Nodi come da Deformata Critica \(dialogo\)](#)  795.

Nota: la traslazione dei nodi comporta la perdita dei risultati delle analisi precedentemente svolte.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

#### 3.7.2.6.1 Trasla Nodi come da Deformata Critica (dialogo)

### Trasla Nodi come da Deformata Critica (dialogo)

Trasla nodi come da Deformata Critica

Combinazione e modo critico

Combinazione

Modo

Suggerimenti

Curva di stabilità	Elasticità	Plasticità
a0	1/350	1/300
a	1/300	1/250
b	1/250	1/200
c	1/200	1/150
d	1/150	1/100

Lo spostamento iniziale obiettivo è una frazione della luce

Lo spostamento dei nodi è in relazione con le imperfezioni

Lo spostamento dei nodi può generare elementi 2D non planari

Amplificazione

Calcola l'amplificazione in modo che la traslazione

☒ X  
☐ Y  
☐ Z  
☐ TOTALE

ottenuta considerando

☒ il nodo   
☐ il valore massimo tra quello dei nodi  
☐ il valore massimo tra quello dei nodi selezionati

Sia pari a  mm

OK

Cancel

Questo dialogo consente di dare le informazioni necessarie a calcolare la amplificazione da applicare alla deformata critica del modo prescelto, in modo da ottenere il desiderato spostamento dei nodi selezionati.

Il riquadro **Combinazione e Modo critico** è usato per scegliere la combinazione ed il modo critico associato a quella combinazione, che sarà preso come riferimento per calcolare gli spostamenti nodali.

Il riquadro **Amplificazione** serve a decidere con che criterio sarà calcolata la amplificazione. Si può considerare

- La componente di spostamento X, Y, Z o la risultante;
- Di un nodo particolare, la massima di tutti i nodi selezionati, o la massima di tutti i nodi.
- Fissando un certo valore come valore obiettivo e riscalandosi tutti gli altri valori di conseguenza.

Il riquadro **Suggerimenti** serve a ricordare che frazione della luce o della altezza corrisponda a imperfezioni tipicamente associate alle varie curve di stabilità di normativa.

### 3.7.2.7 Ruota...

#### COMANDO: Mesh-Nodi-Ruota...

[Ribbon-Mesh]



Questo comando serve a ruotare i nodi selezionati rispetto ad un asse. Se vi sono elementi attaccati ai nodi ruoteranno anch'essi.

Prima di eseguire il comando occorre selezionare i nodi che si intende ruotare. Dopo, il comando RUOTA fa specificare l'asse di rotazione, e l'angolo di rotazione (positivo secondo la regola classica del calcolo vettoriale). L'angolo va specificato in gradi.

Appena il comando viene eseguito viene chiesto all'utente di chiarire con quale modalità fornirà i dati: se interamente via tastiera, oppure se fornendo prima il vettore che definisce l'asse di rotazione mediante la scelta di due nodi e poi, via tastiera, l'angolo di rotazione.

Se l'utente sceglie di usare la tastiera gli viene presentato un [dialogo](#)<sup>798</sup> in cui gli si chiedono i dati necessari.

Se l'utente sceglie la modalità mista, egli deve prima scegliere due nodi che danno, ordinatamente, il primo ed il secondo estremo del vettore rotazione (in questa fase il comando è non-modale). Poi gli viene proposto un opportuno [dialogo](#)<sup>798</sup> che serve a specificare l'angolo di rotazione.

**Tipo:** modale se il vettore è definito via tastiera, non modale e poi modale se è definito con la scelta di nodi

**Destinazione:** documento.

## 3.7.2.7.1 Rotazione (Dialogo)

**ROTAZIONE (DIALOGO)**

Questo dialogo fa definire l'asse di rotazione (diretto dal punto 1 verso il punto 2) e l'angolo di rotazione.

L'angolo si misura in gradi ed è positivo se antiorario.

## 3.7.2.7.2 Rotazione (Dialogo)

**ROTAZIONE (DIALOGO)**

Questo dialogo fa definire l'angolo di rotazione (positivo se antiorario).

**3.7.2.8 Riposiziona...****COMANDO: Mesh-Nodi-Riposiziona...**

[Ribbon-Mesh]



Questo comando riposiziona i nodi selezionati nella posizione specificata oppure cambia le coordinate dei nodi nel modo specificato. Al comando è connesso un opportuno [dialogo](#)<sup>799</sup>.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento.

## 3.7.2.8.1 Riposizionamento di nodi (Dialogo)

**RIPOSIZIONAMENTO DI NODI (DIALOGO)**

Questo comando consente di stabilire la nuova posizione assunta dai nodi selezionati. Le coordinate sono nella unità attiva. E' possibile attivare o disattivare la modifica di solo alcune coordinate e non di altre. Ciò consente di apportare modifiche in maniera più flessibile.

## 3.7.2.9 Elimina

**COMANDO: Mesh-Nodi-Elimina****[Ribbon-Mesh]**

Questo comando va eseguito per eliminare i nodi non referenziati da elementi. Se esistono nodi che non sono attaccati ad alcun elemento, e questi nodi non sono completamente vincolati, il modello è ipostatico e la matrice di rigidezza non può essere invertita.

**Tipo:** immediato**Destinazione:** documento.

## 3.7.2.10 Mostra doppi

**COMANDO: Mesh-Nodi-Mostra Doppi****[Ribbon-Mesh]**

Questo comando serve a vedere gli eventuali nodi doppi. Un nodo è doppio se v'è un altro nodo che disti dal primo meno della tolleranza ([Tolleranza](#)<sup>800</sup>). L'uso di questo comando è raccomandato.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista attiva.

### 3.7.2.11 Tolleranza...

**COMANDO: Mesh-Nodi-Tolleranza...**

**[Ribbon-Mesh]**



Questo comando, collegato ad un opportuno [dialogo](#)<sup>800</sup>, serve a modificare la distanza al di sotto della quale due nodi sono considerati doppi dal programma.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento.

#### 3.7.2.11.1 Tolleranza sui nodi (Dialogo)

### TOLLERANZA SUI NODI (DIALOGO)

Questo comando chiede di specificare una distanza usando l'unità attiva. Il programma considererà doppi i nodi che distano meno della tolleranza.

### 3.7.2.12 Numerazione

#### 3.7.2.12.1 Sort

**COMANDO: Mesh-Nodi-Numerazione-Sort...**

**[Ribbon-Mesh]**



Questo comando, collegato ad un opportuno [dialogo](#)<sup>[801]</sup>, serve a modificare l'ordine con il quale i nodi sono numerati. Questo comando, se usato in modo proprio, può ridurre la ampiezza di banda della matrice di rigidezza del sistema, anche in modo considerevole.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento.

#### 3.7.2.12.1.1 Sorting dei nodi (Dialogo)

### SORTING DEI NODI (DIALOGO)

Questo dialogo consente di definire quale criterio verrà adottato per rinumerare i nodi. Ad ogni bottone corrisponde una scelta differente. Se, ad esempio, si sceglie il bottone “X,Y,Z”, questo vuol dire che i nodi verranno numerati seguendo prima la direzione X, poi la Y ed infine la Z.

Per diminuire la ampiezza di banda conviene in generale prima sul lato più corto, in seguito sugli altri nell'ordine. Più corto significa, in questo caso, con il minor numero di nodi, non necessariamente più corto in senso fisico.

Il comando può essere eseguito anche in presenza di carichi applicati.

## 3.7.3 Travi e bielle

### 3.7.3.1 Aggiungi...

**COMANDO: Mesh-Travi e bielle-Aggiungi...**

**[Ribbon-Mesh]**



Questo comando ha per scopo l'aggiunta di travi o bielle. Esso è uno dei comandi più usati di Sargon, e ne va quindi compreso il funzionamento.

Supponiamo dapprima che i nodi che definiscono gli elementi che occorre aggiungere ci siano già. In tal caso il comando consente di attaccarsi a questi nodi cliccando a sinistra con il mouse, o premendo il tasto INVIO. Il nodo scelto è quello indicato dal pallino mobile, ed è sempre il più vicino al cursore.

Il comando prevede due modalità operative: nella prima (definita *singola*) l'utente aggiunge una serie di elementi che in generale non hanno in comune alcun nodo. Un elemento qui, uno lì, eccetera. Nella seconda modalità operativa (*multipla*) l'utente aggiunge una serie di travi che hanno questa proprietà: il primo nodo di ogni trave successiva alla prima coincide con il secondo nodo della trave precedente.

Ogni volta che si esegue il comando occorre decidere se si vorranno dare travi oppure bielle. Inoltre occorre decidere quale sarà il terzo nodo delle travi che verranno aggiunte di lì a poco.

Il comando così descritto richiederebbe la preliminare aggiunta dei nodi che interessano. In realtà, in qualunque momento durante l'esecuzione del comando si può aggiungere un nodo, se questo non è presente: basta premere la barra spaziatrice o un tasto qualsiasi che non sia INVIO: compare subito un dialogo modale ([Aggiunta di un nodo in coordinate relative](#)<sup>[804]</sup> oppure [Aggiunta di un nodo](#)<sup>[789]</sup>, a seconda del momento in cui il nodo viene richiesto) che chiede le coordinate del nodo da aggiungere nella unità attiva. Se il nodo che viene richiesto è il primo nodo della fila (*multipla*), oppure se è il primo nodo di una delle travi (*singola*), le coordinate richieste sono assolute; altrimenti vengono chieste le coordinate relative all'ultimo nodo aggiunto.

**Non è pertanto necessario aggiungere i nodi prima di eseguire il comando: i nodi possono essere aggiunti in corso d'opera.**

Se il nodo che viene aggiunto è già presente esso non viene duplicato, a meno che il flag [Nodi doppi](#)<sup>[858]</sup> sia acceso.

Nel dare le travi è necessario fare in modo che nessun elemento abbia i due nodi allineati con il terzo nodo: in caso contrario il programma dà un messaggio d'errore e chiede di ripetere la scelta del nodo.

Da un punto di vista operativo la prima cosa che compare è un opportuno dialogo modale ([Aggiunta di travi e Bielle](#)<sup>[803]</sup>). Dopo il dialogo modale il comando diviene non



modale: l'utente può cambiare vista, usare le barre di scorrimento, fare zoom, eccetera, nel corso del comando. In questa fase può capitare che il pallino mobile scompaia o che se ne vedano due: basta eseguire il comando [Ridisegna](#)<sup>[741]</sup> perchè tutto torni normale.

Via via che si aggiungono gli elementi questi verranno assegnati al gruppo attivo al momento della pressione del tasto sinistro del mouse ( o di CR). Il gruppo attivo può essere cambiato mentre si stanno aggiungendo gli elementi.

A partire dalla versione 7.20 è anche possibile generare nuovi elementi estrudendo i nodi precedentemente selezionati. Le modalità operative del comando ricalcano quelle del comando che genera elementi 2d a partire dalla estrusione di travi e bielle.

**Tipo:** modale eppoi, dopo il dialogo, non modale.

**Destinazione:** documento per le aggiunte, vista attiva per il funzionamento.

#### 3.7.3.1.1 Aggiunta di travi e bielle (Dialogo)

### AGGIUNTA DI TRAVI E BIELLE (DIALOGO)

Questo importante dialogo viene proposto all'utente prima di cominciare ad aggiungere travi e bielle, e serve a fissare le modalità operative del comando e alcuni dati.

Prima di tutto si sceglie se si vogliono aggiungere travi o bielle.

Prima di aggiungere gli elementi è possibile attribuire un certo numero di sezione.

Poi si specifica la orientazione che avranno gli elementi che verranno aggiunti. Ciò si può fare in due modi, alternativi tra loro:

1. Specificando come è diretto un vettore  $\mathbf{v}$ , definito in modo tale che l'asse 1 degli elementi ( $\mathbf{v1}$ ), di volta in volta diverso, e questo vettore  $\mathbf{v}$ , individuino il piano degli assi locali 1 e 2 ( $\mathbf{v1}$  e  $\mathbf{v2}$ , tra loro ortogonali). Il vettore  $\mathbf{v}$  può essere diretto come l'asse globale -X, +X, -Y, +Y, -Z, +Z, ci sono in tutto sei possibilità. In seguito è sempre possibile rivedere questo vettore con il comando [Orientazione](#)<sup>[811]</sup>. Se si usa questo metodo il terzo nodo deve essere nullo.

2. Specificando il numero di terzo nodo che le travi e le bielle che si stanno per aggiungere dovranno avere. Il numero del terzo nodo può essere scritto direttamente oppure avvalendosi dell'aiuto (pulsante ?).

Come ultima cosa si decide se gli elementi che si intende aggiungere sono connessi (**multipla**) o sconnessi (**singola**) tra loro. In modalità **multipla**, ogni asta (tranne la prima aggiunta) ha il suo primo nodo coincidente con il secondo nodo dell'asta precedente.

Infine, se si vuole eseguire l'aggiunta, si sceglie **OK**.

Una nuova modalità è stata aggiunta a partire dalla versione 7.20: la possibilità di estrarre i nodi selezionati in una certa direzione, generando dei nuovi elementi trave o biella, aventi la sezione e l'orientazione specificati.

#### 3.7.3.1.1.1 Aggiunta di un nodo in coordinate relative (Dialogo)

### AGGIUNTA DI UN NODO IN COORDINATE RELATIVE (DIALOGO)

Questo dialogo serve ad aggiungere un nodo. Le coordinate del nodo vanno date rispetto all'ultimo nodo dell'elemento, quello definito precedentemente a questo.

#### 3.7.3.2 Cancella

#### COMANDO: Mesh-Travi e bielle-Cancella

[Ribbon-Mesh]



Questo comando cancella le travi e le bielle selezionate al momento della esecuzione del comando stesso.

**Tipo:** immediato.

**Destinazione:** documento.

### 3.7.3.3 Dividi...

**COMANDO: Mesh-Travi e bielle-Dividi...**

**[Ribbon-Mesh]**



Questo comando consente di dividere in un numero arbitrario di parti eguali le travi e le bielle selezionate. Dopo la divisione il terzo nodo, il materiale e la sezione vengono conservati.

Se l'asta è un elemento beam e questo apparteneva a un superelemento, questo viene riparato (dalla versione 17.00).

I carichi vengono conservati e ridefiniti.

All'esecuzione del comando corrisponde il dialogo [Divisione di Bielle e Travi](#)<sup>805</sup>.

**Tipo:** modale.

**Destinazione:** documento.

#### 3.7.3.3.1 Divisione di bielle e travi (Dialogo)

### DIVISIONE DI BIELLE E TRAVI (DIALOGO)

Viene chiesto il numero di suddivisioni da applicare a ciascun elemento (trave o biella) selezionato. Se il numero fornito è, ad esempio, 5, ad ogni asta selezionata verranno a corrispondere 5 aste.

### 3.7.3.4 Dividi BT rastremazione...

**COMANDO: Mesh-Travi e bielle-Dividi BT rastremazione...**

**[Ribbon-Mesh]**

Questo comando consente di dividere in un numero arbitrario di parti di eguale lunghezza le travi e le bielle selezionate, assumendo che al secondo estremo ci sia una sezione diversa da quella del primo estremo, in modo da definire una rastremazione. Viene applicato agli elementi selezionati considerando la sezione al primo estremo come data. La sezione al secondo estremo deve essere dello stesso tipo della sezione al primo estremo.

Il comando incomincia chiedendo il numero di suddivisioni ( [Divisione di Bielle e Travi](#)<sup>805</sup> ). Poi, viene chiesto di scegliere il tipo della sezione presente al secondo estremo, infine vengono chieste le quote della sezione assegnata al secondo estremo. A quel punto il comando genera tante sezioni intermedie variando in modo lineare le quote della sezione dal primo al secondo estremo, e generando tanti elementi di lunghezza pari alla lunghezza originaria divisa per  $n$ , tutti aventi al loro interno una unica sezione trasversale, le cui quote sono state calcolate facendo variare linearmente le quote stesse tra il primo ed il secondo estremo.

Il comando è molto utile ad esempio per definire pali rastremati, o portali ad altezza variabile: una unica applicazione del comando consente di generare anche centinaia di elementini tutti aventi sezione differente.

Se l'asta è un elemento beam e questo apparteneva a un superelemento, questo viene riparato (dalla versione 17.00).

I carichi vengono conservati e ridefiniti.

**Tipo:** modale.

**Destinazione:** documento.

### 3.7.3.5 Splitta...

**COMANDO: Mesh-Travi e bielle-Splitta...**

**[Ribbon-Mesh]**



Questo comando consente di dividere travi e bielle in due parti. Esistono due modi di far funzionare il comando: il primo modo consente di dividere un elemento scelto con il mouse. Il secondo modo divide le travi e le bielle selezionate.

Appena il comando viene eseguito compare il dialogo [Splitting di Travi e Bielle](#)<sup>[807]</sup> che fa scegliere tra **Biella**, **Trave** o **Selezionati**. Alla ultima scelta corrisponde il secondo modo di funzionare del comando. Ad una delle due scelte precedenti il primo modo.

Il primo modo è utile se si deve operare su un solo elemento o pochi elementi: in questo caso il comando è più colloquiale (dialogo [Splitting di Travi e Bielle](#)<sup>[808]</sup>).

Il secondo modo (elementi selezionati) si usa quando gli elementi sono tanti, sono eguali, *ed egualmente orientati*. Il programma chiede infatti la ascissa adimensionale dal primo nodo (dialogo [Splitting di Travi e Bielle](#)<sup>[808]</sup>). In ogni caso, anche se gli elementi non sono eguali, oppure non sono egualmente orientati, il programma funziona e divide gli elementi in due alla distanza adimensionale dal primo nodo specificata dall'utente. Se gli elementi sono tutti lunghi egualmente, allora anche in questo caso viene utilizzata la prima modalità operativa (dialogo [Splitting di Travi e Bielle](#)<sup>[808]</sup>).

Se l'asta è un elemento beam e questo apparteneva a un superelemento, questo viene riparato (dalla versione 17.00).

I carichi vengono conservati e ridefiniti.

**Tipo:** modale.

**Destinazione:** documento.

#### 3.7.3.5.1 Splitting di travi e bielle (Dialogo)

### SPLITTING DI TRAVI E BIELLE (DIALOGO)

Questo comando fa scegliere il nodo in cui eseguire la divisione (splitting) delle travi e delle bielle. Scegliendo **trave** o **biella** si verrà chiesti di indicare con il mouse quale trave o biella. Scegliendo **Selezionati** il comando verrà applicato a tutti gli elementi selezionati.

## 3.7.3.5.1.1 Splitting di travi e bielle (Dialogo)

**SPLITTING DI TRAVI O BIELLE (DIALOGO)**

Questo dialogo serve a determinare a che distanza suddividere l'elemento. I modi possibili sono due: fornendo una distanza adimensionalizzata, oppure fornendo una distanza effettiva. Come riferimento si può scegliere il primo estremo o il secondo estremo.

## 3.7.3.5.1.2 Splitting di travi e bielle (Dialogo)

**SPLITTING DI TRAVI O BIELLE (DIALOGO)**

Questo dialogo serve a determinare a che distanza suddividere gli elementi selezionati. La distanza viene chiarita tramite un'ascissa adimensionale compresa tra 0 (al primo estremo) ed 1 (al secondo estremo).

**3.7.3.6 Splitta e/o carica...****COMANDO: Mesh-Travi e bielle-Splitta e/o carica...****[Ribbon-Mesh]**

Si tratta di un comando molto utile e potente, specialmente indicato nel caso in cui si debbano applicare carichi concentrati su travi di impalcato.

Il comando consente in un colpo solo:

- di dividere una asta in un numero di intervalli diseguali variabili da 2 a 5.
- di applicare delle forze nei nodi (se la asta originaria è stata divisa) oppure all'interno della asta originaria (se non si vuole dividere l'asta).
- di aggiungere un superelemento se l'asta originaria è stata divisa in più parti.

I carichi sono diretti verticalmente (z).

Si possono aggiungere i carichi senza dividere l'asta


Si può dividere l'asta senza aggiungere i carichi.

I carichi vengono messi nel caso di carico attivo.

Se l'asta è un elemento beam e questo apparteneva a un superelemento, questo viene riparato (dalla versione 17.00).

I carichi vengono conservati e ridefiniti.

Con questo comando in un sol colpo si fanno cose che prima richiedevano vari comandi in fila.

Il comando è gestito da un opportuno [dialogo](#) .

#### 3.7.3.6.1 Splitta e/o carica (Dialogo)

### SPLITTA E/O CARICA (DIALOGO)

Questo dialogo consente di fornire i dati che devono servire a suddividere una o più aste di identica lunghezza.

Per prima cosa si decide quanti intervalli o quante forze servono e si compilano i dati relativi ai carichi e/o alle lunghezze in cui dividere l'asta.

Poi si deve decidere se applicare i carichi come forze nodali, nel qual caso si dà implicitamente l'ordine di suddividere l'asta, oppure come carichi distribuiti applicati agli elementi (forze concentrate: in questo caso l'asta non viene suddivisa). La scelta si fa selezionando o meno l'opzione "non aggiungere nodi".

Se si sceglie di aggiungere i nodi è possibile chiedere che venga aggiunto un nuovo superelemento.

I carichi possono anche essere nulli, nel qual caso il comando si limiterà a suddividere l'asta (se si è scelto di aggiungere i nodi) o a non far nulla (se non si è scelto di aggiungere i nodi).

Il comando serve sia come comando di meshing sia per aggiungere azioni.

I carichi vengono applicati al caso di carico attivo.

Le azioni (forze) sono dirette come l'asse Z globale.

Bisogna premere necessariamente il tasto "OK" corrispondente alla scelta fatta.

### 3.7.3.7 Terzo nodo...

#### **COMANDO: Mesh-Travi e bielle-Terzo Nodo...**

**[Ribbon-Mesh]**

Questo comando consente di ridefinire il terzo nodo ([Travi](#)<sup>[76]</sup>) delle travi e le bielle selezionate. Normalmente non è necessario aggiungere un nuovo terzo nodo, ma è sufficiente usare i Nodi predefiniti .

Alla esecuzione del comando compare un dialogo che chiede se si vuole aggiungere o meno un nodo. A seconda della risposta si presenta il dialogo [Cambia Terzo Nodo](#)<sup>[810]</sup> oppure il dialogo [Terzo Nodo](#)<sup>[810]</sup>.

**Tipo:** modale.

**Destinazione:** documento.

#### 3.7.3.7.1 Cambia terzo nodo (Dialogo)

#### **CAMBIA TERZO NODO (DIALOGO)**

Questo dialogo consente di dare le coordinate di un nuovo nodo da usare come terzo nodo. Il nodo viene automaticamente vincolato.

#### 3.7.3.7.2 Terzo nodo (Dialogo)

#### **TERZO NODO**



Questo dialogo fa specificare un numero di terzo nodo.

### 3.7.3.8 Orientazione

#### COMANDO: Mesh-Travi e bielle-Orientazione...

[Ribbon-Mesh]



Questo comando consente di ridefinire la orientazione degli elementi trave e biella. Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>811</sup> che consente di scegliere le modalità operative del comando. L'orientazione può essere definita mediante il terzo nodo (piano locale 1-2) o mediante un vettore che definisca il piano locale (1-2) o il piano locale (1-3).

**Tipo:** modale.

**Destinazione:** documento.

#### 3.7.3.8.1 Orientazione (Dialogo)

#### ORIENTAZIONE (DIALOGO)

Questo dialogo serve decidere le modalità operative del comando che cambia la orientazione degli elementi trave e biella.

Il comando si applica agli elementi correntemente selezionati. Le modalità di applicazione sono tre:

**Usa il terzo nodo per definire il piano 1-2.**

In questo caso se **v1** è il versore dell'asse 1 e **(N3-N1)** è il vettore che va dal primo al terzo nodo definito in questo stesso dialogo, il versore dell'asse 3, **v3**, si ottiene versificando il prodotto vettore **v1 x (N3-N1)**. Il versore dell'asse 2 si ottiene come **v3 x v1**.

#### **Usa il vettore per definire il piano 1-2.**

In questo caso se **v1** è il versore dell'asse 1 e **v** è il vettore definito in questo stesso dialogo, il versore dell'asse 3, **v3**, si ottiene versificando il prodotto vettore **v1 x v**. Il versore dell'asse 2 si ottiene come **v3 x v1**.

#### **Usa il vettore per definire il piano 1-3**

In questo caso se **v1** è il versore dell'asse 1 e **v** è il vettore definito in questo stesso dialogo, il versore dell'asse 2, **v2**, si ottiene versificando il prodotto vettore **v x v2**. Il versore dell'asse 3 si ottiene come **v1 x v2**.

#### **Terzo nodo**

E' il numero di un nodo che definisce, per gli elementi selezionati, il terzo nodo. Questo viene utilizzato solo se si sceglie la modalità "usa il terzo nodo per definire il piano 1-2".

#### **vx, vy, vz**

Sono le componenti del vettore **v** nel sistema di riferimento globale. Tale vettore viene utilizzato solo se si sono scelte le modalità operative "usa il vettore per definire il piano 1-2", o "usa il vettore per definire il piano 1-3".

### **3.7.3.9 Tipo**

#### **COMANDO: Mesh-Travi e bielle-Tipo**

**[Ribbon-Mesh]**

Questo comando consente di assegnare agli elementi beam selezionati il tipo Bernoulli o Timoshenko. Gli elementi di Timoshenko sono usati per travi tozze.

**Tipo:** modale.

**Destinazione:** documento.

**3.7.3.10 Winkler****COMANDO: Mesh-Travi e bielle-Winkler...****[Ribbon-Mesh]**

Questo comando consente di assegnare agli elementi beam selezionati un suolo elastico. Per maggiori ragguagli su come gestire elementi su suolo elastico si veda [Come gestire elementi su suolo elastico](#)<sup>[354]</sup>. Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[813]</sup> che consente di assegnare le proprietà del suolo elastico agli elementi beam selezionati.

**Tipo:** modale.

**Destinazione:** documento.

**3.7.3.10.1 Acquisizione parametri fondazione - trave su suolo elastico (Dialogo)****ACQUISIZIONE PARAMETRI FONDAZIONE – TRAVE SU SUOLO ELASTICO (DIALOGO)**

Questo dialogo consente di specificare le quattro costanti che definiscono il comportamento del suolo elastico da assegnare agli elementi beam selezionati.

Se non si vuole assegnare alcun suolo elastico o se si vuole eliminare un suolo elastico esistente occorre specificare “0” per tutte e quattro le costanti.

Le prime due costanti, **k2**, **k1,2** si riferiscono alla flessione attorno all’asse locale 2 degli elementi beam selezionati. La prima costante, **k2**, ha le dimensioni fisiche di una forza per unità di superficie e si ottiene moltiplicando la costante di Winkler (forza per unità di volume) per la larghezza della trave. La seconda costante **k1,2**, ha le dimensioni fisiche di una forza e può essere nulla o positiva. Se è nulla il suolo è rigorosamente alla Winkler. Se non è nulla il suolo è del tipo “a due parametri” ovvero con una formulazione che corregge quella di Winkler. Per maggiori informazioni si rimanda a [Come gestire gli elementi su suolo elastico](#)<sup>354</sup>.

Le successive due costanti, **k3** e **k1,3**, hanno il medesimo significato delle prime due, ma si riferiscono alla flessione attorno all’asse locale 3 dell’elemento (spostamenti in direzione dell’asse locale 2).

Per maggiori informazioni si rimanda a:

[Come gestire gli elementi su suolo elastico](#)<sup>354</sup>.

### 3.7.3.11 N Iniziale

**COMANDO: Mesh-Travi e bielle-N Iniziale...**

**[Ribbon-Mesh]**



Questo comando consente di ridefinire la azione assiale iniziale all’interno degli elementi trave e biella selezionati. L’azione assiale iniziale influenza la rigidezza geometrica del sistema, la quale concorre alla rigidezza complessiva. La matrice di rigidezza geometrica è assemblata per il solutore LEDA e per il solutore SOCLEVER. Nel primo caso essa influenza il calcolo delle frequenze (si pensi alla corda di una chitarra: tanto più è tesa tanto più il suono è acuto e la frequenza elevata), mentre nel secondo caso essa influenza direttamente la risposta

strutturale. Il comando ridefinisce l'azione assiale eventualmente presente (il default è pari a 0).

Alla esecuzione del comando compare un [dialogo](#)<sup>[815]</sup> che chiede il valore della azione assiale nella unità attiva.

**Tipo:** modale.

**Destinazione:** documento.

#### 3.7.3.11.1 Azione assiale iniziale (Dialogo)

### AZIONE ASSIALE INIZIALE (DIALOGO)

Questo dialogo consente di definire l'azione assiale iniziale negli elementi trave e biella selezionati. L'azione assiale va data usando l'unità di forza corrente. Se il numero specificato è positivo esso indica una trazione.

Le azioni assiali possono anche essere lette da uno dei casi di carico precedentemente calcolati. In questo caso occorre [specificare il numero del caso di carico](#)<sup>[815]</sup> che interessa.

#### 3.7.3.11.1.1 Caso di carico (Dialogo)

### CASO DI CARICO (DIALOGO)

Questo dialogo consente di definire il caso di carico dal quale verranno lette le azioni assiali e attribuite agli elementi selezionati come azioni assiali iniziali per un nuovo calcolo.

#### 3.7.3.12 Fattori riduzione sezione...

**COMANDO:** Mesh-Travi e bielle-Fattori riduzione sezione...

[Ribbon-Mesh]



Questo comando consente di definire fattori riduttivi o amplificativi delle proprietà sezionali delle travi e/o delle bielle selezionate. La riduzione delle proprietà sezionali di un elemento può essere definita, ad esempio, per simulare la cedevolezza di un collegamento. Dopo l'esecuzione del comando viene proposto un opportuno [dialogo](#)<sup>[816]</sup>, dove si definiscono i fattori desiderati.

La modifica (riduzione o amplificazione) delle proprietà sezionali di uno o più elementi **ha effetto sul calcolo delle sollecitazioni e degli spostamenti** della struttura, **ma NON sulle verifiche** dei singoli elementi, che risultano invariate.

**Tipo:** modale.

**Destinazione:** documento.

#### 3.7.3.12.1 Fattori riduttivi o amplificativi delle proprietà sezionali

### FATTORI RIDUTTIVI O AMPLIFICATIVI DELLE PROPRIETA' SEZIONALI (DIALOGO)

Fattori riduttivi o amplificativi delle proprietà sezionali

1	krA
1	krA2
1	krA3
1	krJt
1	krJ2
1	krJ3

Tutti a 1!

Per le bielle l'unico fattore riduttivo considerato è krA  
 I fattori devono essere strettamente maggiori di 0 e possono essere maggiori di 1  
 $A^* = A \times krA$ ;  $A2^* = A2 \times krA2$ ;  $A3^* = A3 \times krA3$ ;  $Jt^* = Jt \times krJt$ ;  $J2^* = J2 \times krJ2$ ;  $J3^* = J3 \times krJ3$

OK Cancel

Questo dialogo consente di definire dei fattori riduttivi o amplificativi delle proprietà sezionali degli elementi selezionati. Questi fattori sono unicamente utilizzati dai solutori e non dai verificatori. Nel caso degli elementi beam calcolati a fibre, i fattori riduttivi non vengono impiegati.

Si possono definire 6 fattori distinti:

<i>kr A</i>	riduzione/amplificazione dell'area (azione assiale)
<i>kr A2</i>	riduzione/amplificazione dell'area di taglio (taglio in direzione 2)
<i>kr A3</i>	riduzione/amplificazione dell'area di taglio (taglio in direzione 3)
<i>kr Jt</i>	riduzione/amplificazione del momento d'inerzia torsionale
<i>kr J2</i>	riduzione/amplificazione del momento d'inerzia attorno all'asse 2
<i>kr J3</i>	riduzione/amplificazione del momento d'inerzia attorno all'asse 3

I fattori devono essere maggiori di zero e possono essere maggiori dell'unità. Il bottone *Tutti a 1* riporta a 1 il valore di tutti i fattori.

**Nota:** per le bielle l'unico fattore rilevante è *kr A*, essendo l'azione assiale l'unica azione trasferita da tali elementi.

### 3.7.3.13 Eccentricità...

#### COMANDO: Mesh-Travi e bielle-Eccentricità...

[Ribbon-Mesh]



Questo comando consente di assegnare la eccentricità desiderata agli estremi degli elementi (beam) precedentemente selezionati o agli estremi successivamente scelti per mezzo del mouse.

Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>818</sup> che consente di fare le scelte operative.

Le eccentricità definiscono la posizione (distinta da quella dei nodi) degli estremi degli elementi beam. Si misurano nel riferimento globale e vanno dal nodo all'estremo. La rotazione del nodo comporta una rototraslazione del corrispondente estremo. La traslazione del nodo si comunica identica all'estremo. Le eccentricità sono utili per tenere conto della dimensione fisica dei giunti. La estensione delle eccentricità influenza la risultante dei carichi applicati e la effettiva giacitura degli elementi.

**Tipo:** modale, poi non modale se si sceglie la modalità manuale.

**Destinazione:** documento.

#### 3.7.3.13.1 Eccentricità (Dialogo)

### ECCENTRICITA' (DIALOGO)

Questo dialogo serve decidere le modalità operative del comando che assegna le eccentricità agli elementi beam.

Le scelte in merito alle modalità di funzionamento del comando sono tre:

#### **Manuale**

Se la spunta è attiva alla uscita del comando occorre cliccare in prossimità degli estremi degli elementi a cui si vuole assegnare la eccentricità. Se la spunta non è attiva alla uscita del comando la eccentricità viene applicata a tutti gli estremi selezionati degli elementi beam. Un estremo di un elemento è selezionato quanto è selezionato l'elemento ed il suo nodo di competenza.

#### **Riferimento locale**

Se la spunta è presente le eccentricità non vengono definite nel sistema di coordinate globale, ma in quello locale. Ciò avviene solo all'atto della esecuzione del comando: le informazioni



sono sempre memorizzate nel sistema di riferimento globale. Ad esempio una eccentricità (100, 0, 0) per il primo estremo di una colonna, se definita nel sistema locale, accorcia la colonna di 100.

### **Incremento**

Se la spunta è presente le eccentricità definite dal comando vanno ad aggiungersi a quelle esistenti. Se si usa il sistema locale, le presenti globali vengono dapprima convertite al sistema locale, poi si effettua l'aggiunta dei valori indicati ed infine si riconverte al sistema globale.

### **Attivazione**

E' possibile chiedere al programma di utilizzare solo alcune delle componenti specificate, modificando corrispondentemente solo alcune componenti mentre le altre restano invariate. Perché una componente venga utilizzata deve essere presente il segno di spunta sulla corrispondente casella "attiva". Se è specificato il sistema locale, la aggiunta viene fatta alle sole componenti (si intende locali) con il segno di spunta attivato.

### **Dx, Dy, Dz**

Sono le componenti delle eccentricità (o degli incrementi di eccentricità), nel sistema globale o in quello locale, nella unità di misura di lunghezza attiva al momento della esecuzione del comando.

#### **3.7.3.14 Snap su luogo...**

##### **COMANDO: Mesh-Travi e bielle-Snap su luogo...**

##### **[Ribbon-Mesh]**

Questo comando consente di variare le eccentricità esistenti degli elementi beam selezionati. Le eccentricità vengono variate, ovvero delle nuove eccentricità *si sommano* alle

eccentricità già presenti (e generate in precedenza mediante un comando manuale o automatico). Il comando funziona in modo che alcuni punti notevoli dell'elemento giacciono su un luogo determinato dall'utente. I punti notevoli appartengono alla sezione iniziale (la sezione il cui baricentro coincide con il primo estremo dell'elemento, non con il primo nodo, ovvero con la sezione iniziale tenendo conto delle eccentricità) o alla sezione finale (la sezione il cui baricentro coincide con il secondo estremo dell'elemento, non con il secondo nodo). I punti notevoli del contorno della sezione assegnata agli elementi possono essere, a scelta:

- il TOS (top of steel) della sezione;
- il BOS (bottom of steel) della sezione;
- il ROS (right of steel) della sezione;
- il LOS (left of steel) della sezione.

Per ciascuna sezione si definiscono i punti precedenti nel seguente modo. Riferita la sezione ai suoi assi principali baricentrici 2 e 3, ogni punto del contorno della sezione ha coordinate  $x_2$  ed  $x_3$  rispetto al baricentro della sezione. Si noti che gli assi principali non sempre sono paralleli ai piatti (per esempio in una sezione ad L non lo sono).

Definiamo punto **TOS della sezione** il punto del suo contorno avente la coordinata  $x_3$  maggiore (in senso algebrico).

Definiamo punto **BOS della sezione** il punto del suo contorno avente la coordinata  $x_3$  minore (in senso algebrico).

Definiamo punto **ROS della sezione** il punto del suo contorno avente la coordinata  $x_2$  maggiore (in senso algebrico).

Definiamo punto **LOS della sezione** il punto del suo contorno avente la coordinata  $x_2$  minore (in senso algebrico).

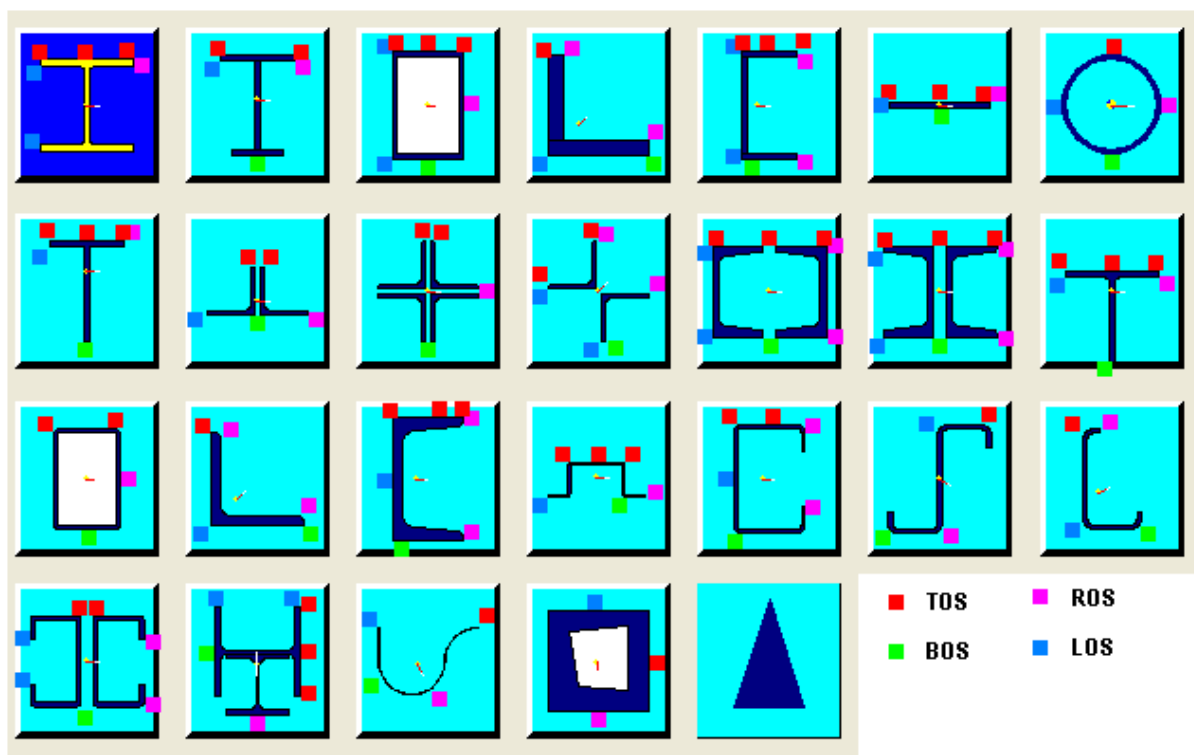
In una sezione è possibile che esistano più di un punto TOS (ed anche BOS, ROS e LOS), o anche dei lati aventi tale proprietà. In tal caso il programma considera uno dei punti avente la proprietà estrema (minima o massima coordinata), indifferentemente. E' ovvio che in questi casi il comando ha senso a patto che il profilo sia orientato in modo che il luogo sia parallelo al lato (per esempio una trave che si voglia sollevare per fare in modo che il suo estradosso – o TOS se l'asse 3 punta verso l'alto – arrivi ad una certa quota). Interi lati, in effetti, o più di un lato, possono definire zone TOS, BOS, LOS o ROS. Per il posizionamento

dei profili ad L ad esempio è utile il punto LOS, che corrisponde allo spigolo ove i due lati esterni si incontrano. Tale punto è unico.

Ad esempio nelle travi reticolari è facile posizionare i diagonalizzati con angolari semplici in modo che uno dei loro lati giaccia in un dato piano, ove saranno applicati piatti di collegamento.

Per i profili a T, C, I, H, esiste un lato TOS. Per un profilo ad H doppiamente simmetrico esistono due lati ROS e due lati LOS.

Nella figura sottostante, convenzionale, i quadratini colorati indicano grossolanamente la zona del luogo corrispondente. Si noti che è fondamentale osservare la direzione ed il verso dell'asse 2. L'asse 3 è normale all'asse 2 con rotazione antioraria.



Rappresentazione schematica delle zone o dei punti TOS, BOS, LOS, e ROS

Per meglio comprendere il funzionamento del comando facciamo due esempi.

Consideriamo un insieme di travi secondarie con asse 3 diretto verso l'alto. Siano esse tutte di tipo IPE. Si desidera che il loro punto superiore giaccia sul piano  $z = 12345$ . Si esegue il comando dopo aver selezionato questi elementi, si sceglie "TOS" poi si dà il luogo  $z = 12345$

specificando per l'equazione generale  $ax+by+cz=d$ ,  $a=0$ ,  $b=0$ ,  $c=1$ ,  $d=12345$ . Con l'aggiunta di questo comando, a partire dalla versione 9.00, la specificazione del TOS nel comando Edit-Multipiano è superflua. Per compatibilità con le versioni precedenti essa viene mantenuta, ma se si usa questo comando, essa è di fatto superflua.

Consideriamo ora una capriata con briglie ][ e aste di parete angolari semplici L 100x10 ed L60x6. Si orientano gli angolari in modo che uno dei loro lati sia parallelo al piano della capriata, ad esempio il piano dei nodi sia  $y=13450$ . A questo punto i baricentri degli angolari risultano complanari, ma ciò non è quanto avviene in realtà nel corso del montaggio. Infatti immaginando di apporre un piatto da 10mm tra i profili ][ delle briglie, noi vorremmo che i lati degli angolari paralleli al piano della capriata giacciono nel piano  $y=13450+5$  (o in alternativa, a seconda della orientazione  $y=13450-5$ ). Per ottenere un modello unifilare con questa proprietà si selezionino tutte le aste di parete, dato che il profilo è ad L si scelga "LOS", e si specifichi il piano  $y=13455$ . Il comando fa in modo che il punto LOS di tutti i profili scelti, ovvero lo spigolo delle L, giaccia nel piano  $y=13455$ , realizzando così l'unione desiderata. E' da notare che eventuali eccentricità assiali già presenti, dato che l'aggiunta è normale all'asse esistente, si conservano.

Questo comando è molto potente e serve a preparare il modello per il successivo lavoro sui collegamenti, ed anche a raffinare il modello di calcolo per tenere conto delle inevitabili eccentricità di montaggio. Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>822</sup> che consente di specificare il luogo (ad hoc o scelto tra i luoghi esistenti), sul quale dovranno giacere i punti desiderati (TOS, o BOS, o ROS, o LOS) delle sezioni terminali degli elementi beam selezionati.

**Tipo:** modale.

**Destinazione:** documento.

#### 3.7.3.14.1 Snap su luogo (Dialogo)

### SNAP SU LUOGO (DIALOGO)

Questo dialogo consente di specificare un luogo e una regione delle forme sezionali degli elementi selezionati, consentendo di aggiungere opportune eccentricità agli elementi selezionati, in modo che i punti della sezione specificati vadano a giacere sul luogo specificato. Il luogo può essere uno dei luoghi esistenti (ed in questo caso bisognerà fare doppio click sulla riga ad esso corrispondente, in modo da riportarne l'equazione nelle caselle disponibili), oppure un luogo non disponibile, ed in tal caso occorrerà specificarne l'equazione mediante le caselle. Occorre specificare a, b, c, d, ovvero i parametri della equazione del piano in forma

$$ax+by+cz=d$$

L'unico parametro dotato di unità di misura è d, che va dato nella unità di misura di lunghezza corrente al momento della esecuzione del comando.

Data una generica forma sezionale riferita ai suoi assi principali baricentrici "2" e "3", siano x2 ed x3 le ascisse corrispondenti. Percorso il contorno della sezione, si definisce:

- TOS (top of steel) il primo punto della sezione avente la proprietà di rendere massima in senso algebrico la coordinata x3.
- BOS (bottom of steel) il primo punto della sezione avente la proprietà di rendere minima in senso algebrico la coordinata x3.
- ROS (right of steel) il primo punto della sezione avente la proprietà di rendere massima in senso algebrico la coordinata x2.
- LOS (left of steel) il primo punto della sezione avente la proprietà di rendere minima in senso algebrico la coordinata x2.

### 3.7.3.15 Reimposta eccentricità!

**COMANDO: Mesh-Travi e bielle-Reimposta eccentricità!**

**[Ribbon-Mesh]**

Questo comando riassegna le eccentricità ad alcuni elementi del modello cancellando le eccentricità precedentemente su questi definite. Si tratta di un comando molto potente. La applicazione delle eccentricità dipende dalle seguenti condizioni:

a) L'elemento deve appartenere ad una membratura "slave" di un JNODO gerarchico; b) Tutti gli elementi finiti che compongono la membratura devono essere selezionati così da poter considerare selezionata la membratura medesima.

Il comando per prima cosa analizza il modello agli elementi finiti trasformandolo in background in un modello a membrane. Tale operazione dipende fortemente da tutte le seguenti caratteristiche del modello:

- orientazione delle terne locali;
- assegnazione dei profili e dei materiali;
- presenza di svincoli o di segni di connessione senza svincoli;
- natura degli elementi (se travi o bielle).

Una volta determinate le membrane il programma cerca i "JNODI" catalogandoli in specie al fine di determinare quelli gerarchici. Queste operazioni, che avvengono in background, sono del tutto simili a quelle eseguite dal programma CSE dedicato ai collegamenti. In effetti per poter determinare quale elemento è interrotto e con che eccentricità rispetto ad un altro, è necessario analizzare le connessioni tra le membrane e stabilire un ordinamento tra le membrane affluenti. In particolare è possibile determinare la eccentricità solo nel caso in cui il JNODO sia di tipo gerarchico. Per i JNODI di tipo centrale, cuspidale o passante, le eccentricità devono essere definite manualmente. In verità il classico nodo trave-colonna è sempre di tipo gerarchico (se è un incastro bisogna però specificare un segno di connessione), e quindi nei casi più frequenti il comando esegue le operazioni richieste in modo totalmente automatico. Nel caso di strutture reticolari con nodi di tutte bielle (esempio di JNODO centrale), le eccentricità dovranno essere determinate manualmente. Va detto che in questo caso, essendo gli offset assiali, non vi sono momenti parassiti.

Trovate le membrane slave di ogni jnodo gerarchico queste, se selezionate, vengono interrotte con offset assiali valutati in funzione della mutua giacitura con la membratura master. Dalle membrane si passa poi agli elementi beam costituenti, assegnando gli offset in modo automatico. Dato che gli offset riguardano solo gli elementi beam, le eventuali membrane slave di tipo biella non subiranno modifiche. D'altro canto sono i tagli degli elementi beam a generare normalmente i momenti parassiti. Nel caso in cui una biella sia eccentrica per fuori-

piano e si voglia tenere conto di questa eccentricità è sempre possibile trasformarla in beam con svincoli agli estremi.

Il comando esamina poi le informazioni sul TOS (Top Of Steel) definito mediante il comando Edit-Multipiano. Le membraure appartenenti ad un certo livello (si esaminano le posizioni dei nodi al fine di determinare il livello) , e selezionate, vengono automaticamente traslate per mezzo di offset rigidi in modo da far coincidere il TOS con la quota corrispondente a quel livello.

Le eccentricità definite automaticamente sono così la somma vettoriale di due contributi:

1. un contributo di offset assiale rispetto al master per le membraure affluenti a JNODI gerarchici;
2. un contributo di offset normale all'asse per le membraure i cui nodi giacciono su livelli aventi TOS predefinito con il comando Edit-Multipiano.

Si consiglia di eseguire questo comando dopo aver ultimato la mesh.

Ulteriori offset sono naturalmente determinabili “a mano” mediante il comando:

[Mesh-BT-Eccentricità](#)<sup>817</sup>.

**Tipo:** immediato.

**Destinazione:** documento.

### 3.7.4 Piastre e membrane

#### 3.7.4.1 Aggiungi...

**COMANDO: Mesh-Piastre e membrane-Aggiungi...**

**[Ribbon-Mesh]**



Questo comando consente di aggiungere piastre o membrane. Il comando funziona secondo quattro diverse modalità: **Diretta, Regione, Quadrilatero, Estrudi sel bt.**

**Diretta**

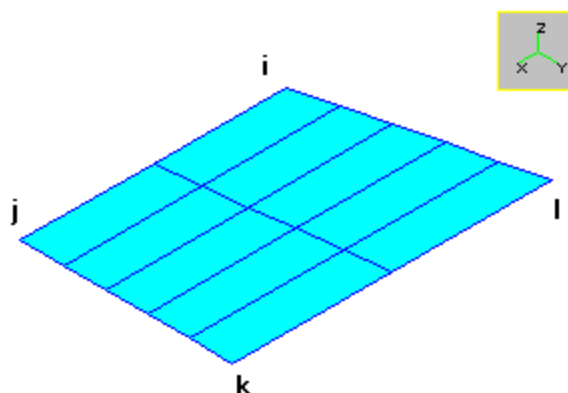
L'aggiunta diretta funziona in modo del tutto analogo a come funziona il comando di aggiunta di travi e bielle ([Aggiungi...](#)<sup>[801]</sup>) in modalità **singola**. Vengono aggiunti uno dopo l'altro gli elementi, attaccandosi a nodi esistenti o aggiungendone di nuovi. Se l'elemento è triangolare bisogna scegliere come quarto nodo il primo nodo dell'elemento stesso. Appena eseguito il comando compare il dialogo [Aggiunta di Piastre e Membrane](#)<sup>[828]</sup>.

Via via che si aggiungono gli elementi questi verranno assegnati al gruppo attivo al momento della pressione del tasto sinistro del mouse ( o di CR). Il gruppo attivo può essere cambiato mentre si stanno aggiungendo gli elementi.

### Quadrilatero

In questo caso occorre fornire quattro punti che definiscono un quadrilatero. I punti possono essere scelti via mouse, cliccando su nodi esistenti, o punti inesistenti di cui si danno le coordinate: in questo ultimo caso occorre premere un tasto qualsiasi che non sia il tasto INVIO. Prima di partire in questa modalità, il comando chiede quante suddivisioni dare lungo **ij** e quante suddivisioni dare lungo **jk** (questo dialogo è lo stesso del comando [Dividi](#)<sup>[833]</sup>). I quattro punti vengono dati nella successione **IJKL**.

Con questa modalità si possono aggiungere molte piastre per volta. I nuovi elementi saranno aggiunti al gruppo attivo.



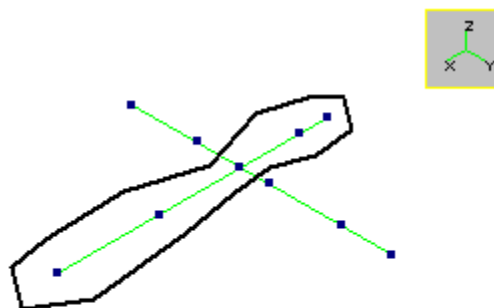
**Due suddivisioni su ij, cinque su jk.**

### Regione

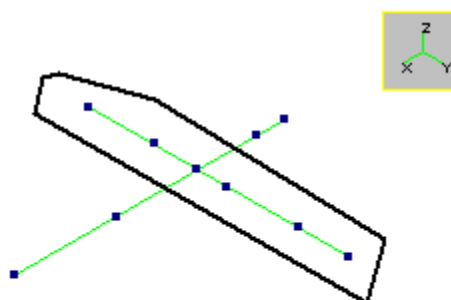
Questa modalità richiede che vi siano due file di nodi aventi un nodo in comune. Le due file di nodi possono descrivere una regione all'interno della quale aggiungere gli elementi. Alla



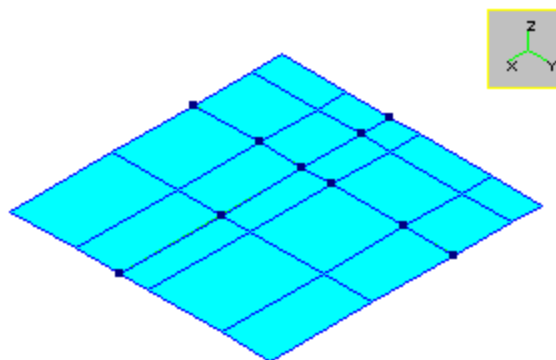
esecuzione del comando vengono chieste all'utente due poligonali ([Dare una poligonale](#)<sup>65</sup>). Ogni poligonale racchiude le immagini di tutti e soli i nodi appartenenti ad una delle due file. Definita la regione essa viene riempita dalle piastre (o membrane).



La prima poligonale



La seconda poligonale



Le piastre risultanti

Come si vede i nodi mancanti vengono aggiunti automaticamente. Si noti la differenza con il comando in modalità Quadrilatero: qui sui quattro lati gli elementi non hanno la stessa dimensione. I nuovi elementi saranno aggiunti al gruppo attivo.

### Estrudi sel bt

Questa modalità consente di generare elementi bidimensionali estrudendo le travi e le bielle selezionate. Appena viene eseguito il comando, il programma chiede un vettore che indica la direzione dello spostamento e la sua quantità. Dato il vettore compare un [dialogo](#)<sup>829</sup>, che chiede le modalità operative del comando. Tali modalità possono essere molto utili se l'estrusione arriva su una mesh esistente. *Gli elementi trave e biella che dopo l'esecuzione del comando rimangono selezionati non sono stati estrusi perchè, estrudendoli si sarebbero violate le modalità operative specificate.* In tal caso si dovrà esaminare la zona di mesh corrispondente e procedere manualmente.

**Tipo:** modale (per il dialogo iniziale), non modale in seguito.

**Destinazione:** documento (per gli elementi aggiunti), vista attiva per il funzionamento.

#### 3.7.4.1.1 Aggiunta di piastre e membrane (Dialogo)

### AGGIUNTA DI PIASTRE E MEMBRANE (DIALOGO)

Questo dialogo serve a scegliere il modo di aggiungere piastre o membrane.

Prima si sceglie se si vogliono aggiungere piastre o membrane. Poi si sceglie il numero della proprietà che avranno le piastre o le membrane che si stanno per aggiungere.

Infine si sceglie come aggiungere gli elementi.

Il modo **diretto** consiste nell'aggiungere gli elementi uno per uno, uno dopo l'altro. Se ne possono aggiungere quanti se ne vuole.

Il modo **a regione** è utile se esistono già due file di nodi aventi un nodo comune, capaci di individuare la superficie che interessa.

Il modo **a quadrilatero** riempie un quadrilatero di cui occorre fornire i quattro vertici.

#### 3.7.4.1.2 Modalità di estrusione (Dialogo)

### MODALITA' DI ESTRUSIONE (DIALOGO)

Questo dialogo serve a stabilire le modalità di estrusione.

Il flag "consenti l'aggiunta di nodi" viene attivato se si ammette che vengano generati nuovi nodi, se necessario. Se il flag è spento allora tutti i nodi di arrivo devono già esistere, in caso contrario l'elemento corrispondente non viene generato, e l'elemento trave o biella selezionato resta selezionato.

Il flag "controlla nodi intermedi sul segmento di arrivo" attiva o meno un controllo che può essere importante. Per garantire la congruenza è generalmente da evitare la situazione tale per cui lungo uno dei lati di un elemento bidimensionale esiste un nodo intermedio non connesso. Onde evitare il verificarsi di questa circostanza il programma fa un controllo, e, se il nodo intermedio esiste, l'elemento non viene generato. In tal caso l'elemento trave o biella "padre" selezionato resta selezionato.

#### 3.7.4.2 Mesh piana

### COMANDO: Mesh-Piastre e membrane-Mesh piana

#### [Ribbon-Mesh]



Questo comando serve ad aggiungere elementi in modo automatico, mediante riempimento di opportune regioni del piano. Alla sua esecuzione compare un [dialogo](#)<sup>830</sup> che consente di fare le scelte necessarie al fine di decidere il funzionamento del comando.

Il comando è molto potente e rappresenta uno sforzo per dotare Sargon di comandi di meshing adeguati a ogni possibile esigenza nell'ambito delle mesh piane. La prima versione del

comando, rilasciata con la versione 7.30, consente di eseguire mesh solo di superfici piane, tuttavia, mediante opportuni mapping parametrici, le funzionalità implementate potranno essere generalizzate al caso delle superfici.

Il comando è sensibile ai nodi ed agli elementi beam e truss selezionati. I nodi selezionati rappresentano punti che dovranno essere inclusi nella mesh finale. Gli elementi selezionati rappresentano in realtà “lati” o “segmenti” (side) che dovranno essere rispettati dalla mesh finale.

La capacità di rispettare questi vincoli consente di “incastonare” la nuova mesh in una mesh esistente senza violare le connessioni e rappresenta quindi uno strumento molto potente.

Per informazioni generali sul funzionamento del comando e su come fare a meshare superfici si vada a [Come fare una mesh con riempimento automatico](#)<sup>[149]</sup>. Per i dettagli operativi si consultino le spiegazioni sul [dialogo](#)<sup>[830]</sup>.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

#### 3.7.4.2.1 Impostazioni (Dialogo)

### IMPOSTAZIONI (DIALOGO)

Questo dialogo consente di impostare il funzionamento dei comandi di meshing relativi alla triangolarizzazione e quadrangolarizzazione di regioni piane.

Il primo riquadro in alto a sinistra (**modalità di triangolarizzazione**) consente di decidere che genere di triangolarizzazione eseguire. Sono possibili tre scelte:

#### **Triangoli non ottimizzati**

In questo caso viene fatta una triangolarizzazione di Delaunay (eventualmente vincolata) e poi l'algoritmo si ferma.

#### **Triangoli ottimizzati: mesh omogenea**

In questo caso la triangolarizzazione precedente viene usata come input per un algoritmo che suddivide ulteriormente i triangoli sino a che la misura di uno dei loro lati sia maggiore del valore specificato nel campo **Lunghezza massima lati**. Il prodotto di questa operazione è in genere una mesh omogenea e regolare, nella quale gli elementi hanno tutti più o meno le stesse dimensioni.

### **Triangoli ottimizzati: mesh eterogenea**

In questo caso si usa l'algoritmo di Ruppert e la mesh può contenere triangoli aventi anche dimensioni sensibilmente differenti. Questo algoritmo usa sia il parametro **Angolo Minimo** che il parametro **Lunghezza Massima Lati**. Nello spirito del metodo di Ruppert, la lunghezza massima dei lati dovrebbe essere tenuta alta, in modo da non costituire motivo di suddivisione dei triangoli, che invece dovrebbero essere suddivisi in base unicamente all'angolo minimo. L'algoritmo implementato differisce da quello di Ruppert originario perché aggiunge anche un criterio di suddivisione basato sulla lunghezza dei lati.

Il secondo riquadro a sinistra, **modalità di quadrangolarizzazione**, consente di specificare in che modo, partendo dalla triangolarizzazione precedentemente eseguita secondo le regole chiarite nel riquadro precedente, i triangoli verranno trasformati in quadrangoli.

Al momento sono possibili due sole scelte: **nessuna quadrangolarizzazione** o **modalità semplificata**. La prima scelta implica ovviamente nessuna quadrangolarizzazione, la seconda scelta implica la quadrangolarizzazione secondo una modalità semplificata, ovvero con un algoritmo che, senza modificare i nodi già precedentemente individuati, accoppia triangoli contigui in modo da formare quadrangoli aventi determinati requisiti di accettabilità. I triangoli che al termine dell'algoritmo non hanno trovato un compagno restano triangoli. Come misura della qualità dei quadrangoli il programma usa la misura di Loo e Lee con un limite accettabile di 0.36. Se  $b < 0.36$  la qualità è reputata inaccettabile. Tale valore è stato preso dal lavoro di Lee ed altri, citato in [bibliografia](#)<sup>149</sup>.

La successiva opzione, **Quad Morphing**, non è al momento attiva, ma verrà implementata nelle prossime versioni. Tale opzione implica la necessità di muovere i nodi precedentemente trovati, ma dà luogo a mesh altamente regolari ed interamente formate da quadrangoli. Il dato relativo alla **qualità** consente di stabilire quale è il valore di qualità al di sotto del quale vengono scartati i quadrangoli. Il valore di default proposto è 0.36.

Il primo riquadro in alto a destra, **ottimizzazione**, consente di specificare due parametri: la massima lunghezza dei lati ed il minimo angolo dei triangoli. Se la massima lunghezza è posta eguale a 0 il criterio basato sulla lunghezza non viene adottato. Entrambi i parametri portano a forti differenze nella mesh ottenuta. Possono aumentare drasticamente sia i tempi di calcolo che il numero di nodi aggiunto. Si rimarca in particolare che piccole differenze nel valore dell'angolo possono portare a mesh con numero di nodi molto differente. In particolare, scegliere un angolo di 22° è ben diverso dal sceglierlo di 30° o più.

A causa del fatto che l'algoritmo può, in alcuni casi, impiegare tempi lunghi, viene data una possibilità di sorvegliare il suo andamento mediante il parametro successivo, nel riquadro **controllo di esecuzione**. In questo riquadro si può indicare un intervallo di nodi (nuovi) generato il quale il programma chieda se proseguire o meno. Se si dice di non proseguire l'algoritmo verrà arrestato lasciando la mesh nello stato in cui essa era al momento della interruzione. Per ritornare all'inizio e riprovare con una diversa scelta dei parametri, è sufficiente naturalmente scegliere il comando Annulla nel menu Edit.

Il riquadro **Tipo di elementi** consente di decidere se verranno generati elementi Piastra o Elementi Membrana.

Il riquadro **Topologia**, con la opzione **Tieni conto dei pieni e dei vuoti**, consente di non meshare le regioni interne a superfici pluriconnesse (ovvero i fori). Perché il programma riconosca l'esistenza di fori è necessario che oltre al contorno esterno, anche il contorno di ciascun foro sia individuato da lati selezionati al momento della esecuzione del comando. Ricordiamo che i lati devono essere convenientemente descritti per mezzo di elementi Beam e Truss di costruzione.

L'ultima opzione si riferisce ai **lati iniziali**. Capita talvolta che i lati iniziali (ovvero i lati usati per definire il contorno ed i lati aggiuntivi da rispettare) siano lati in comune con altre regioni già meshate e che quindi non si voglia suddividerli per non rovinare la mesh esternamente alla regione da riempire. Con questa opzione i lati iniziali non verranno suddivisi. E' chiaro che questa opzione può entrare in conflitto con la richiesta di non avere certi angoli o certe lunghezze di lato, e quindi nella scelta dei parametri occorrerà una certa coerenza. Questa opzione in particolare non è utilizzabile con l'algoritmo per mesh eterogenee.

### 3.7.4.3 Cancella

#### COMANDO: Mesh-Piastre e membrane-Cancella

[Ribbon-Mesh]



Questo comando cancella le piastre e le membrane selezionate al momento della esecuzione del comando.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

### 3.7.4.4 Dividi

#### COMANDO: Mesh-Piastre e membrane-Dividi

[Ribbon-Mesh]



Questo comando consente di suddividere in parti eguali le piastre e le membrane selezionate (dialogo [Divisione di Piastre e Membrane](#)<sup>833</sup>).

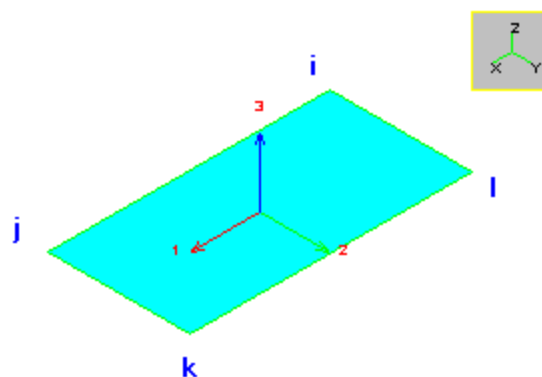
**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

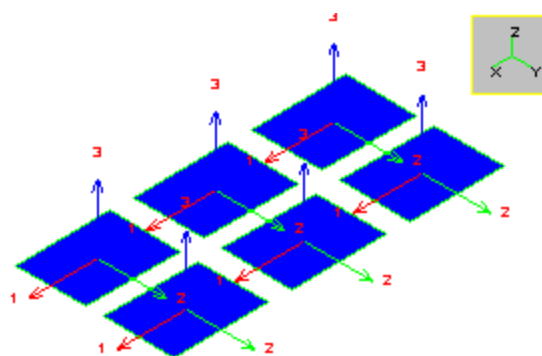
#### 3.7.4.4.1 Divisione di piastre e membrane (Dialogo)

#### DIVISIONE DI PIASTRE E MEMBRANE (DIALOGO)

Questo dialogo chiede di stabilire il numero di suddivisioni lungo ij ed il numero di suddivisioni lungo jk da applicare alle piastre ed alle membrane selezionate.



Piastra che sta per essere suddivisa



Piastra con tre suddivisioni su ij e due su jk

### 3.7.4.5 Splitta...

**COMANDO: Mesh-Piastre e membrane-Splitta...**

[Ribbon-Mesh]



Questo comando consente di dividere in due parti diseguali le piastre e le membrane selezionate (dialogo [Splitting di Piastre e Membrane](#)<sup>835</sup>).

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

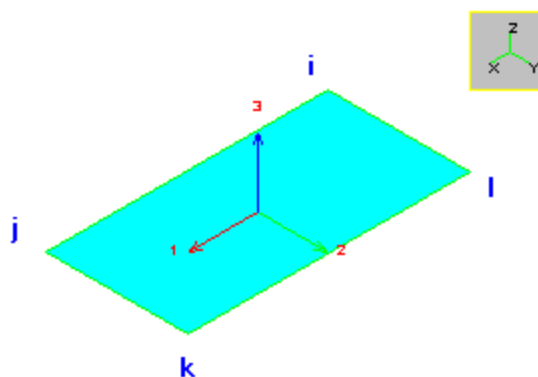
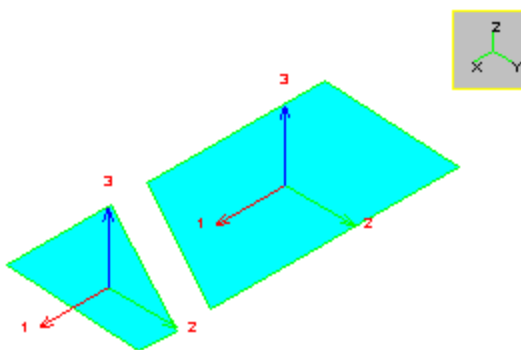


## 3.7.4.5.1 Splitting di piastre e membrane (Dialogo)

**SPLITTING DI PIASTRE E MEMBRANE (DIALOGO)**

Per suddividere un elemento bidimensionale a quattro lati si può dare un segmento che vada da un lato al lato opposto. I due estremi del segmento individuano pertanto la suddivisione. Ogni estremo è a sua volta individuato dalle sue coordinate adimensionali E ed N (csi ed eta).

In questo dialogo si chiedono le coordinate adimensionali dei due estremi del segmento. Ogni coordinata varia tra 1 ed 1.

**Piastra che sta per essere suddivisa**

Piastra suddivisa con  $\xi_1 = 0.2$ ,  $\eta_1 = -1$ ,  $\xi_2 = 0.8$   $\eta_2 = 1$ .

#### 3.7.4.6 Ruota

##### COMANDO: Mesh-Piastre e membrane-Ruota

[Ribbon-Mesh]



Questo comando fa ruotare la terna locale di riferimento delle piastre e delle membrane selezionate. In pratica i nodi IJKL diventano, rispettivamente JKLI.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

#### 3.7.4.7 Planarità e altri controlli

##### COMANDO: Mesh-Piastre e membrane-Planarità e altri controlli

[Ribbon-Mesh]



Questo comando controlla se nel modello vi sono elementi piastra o membrana non rispondenti a certi requisiti di regolarità. In caso affermativo questi elementi vengono selezionati, mentre tutti gli altri vengono deselezionati. Il programma dà il numero totale di elementi non regolari.

Gli elementi non piani non consentono il solving con i solutori di Castalia. Altri solutori non eseguono il controllo, dando così luogo a risultati potenzialmente errati.

Se vengono riscontrati elementi non piani, questi possono essere subito eliminati con il comando [Splitta](#)<sup>[834]</sup>, che consente di dividere gli elementi a quattro nodi selezionati in due elementi a tre nodi.

Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>837</sup> che consente di specificare i valori di soglia da assumere per considerare gli elementi accettabili.

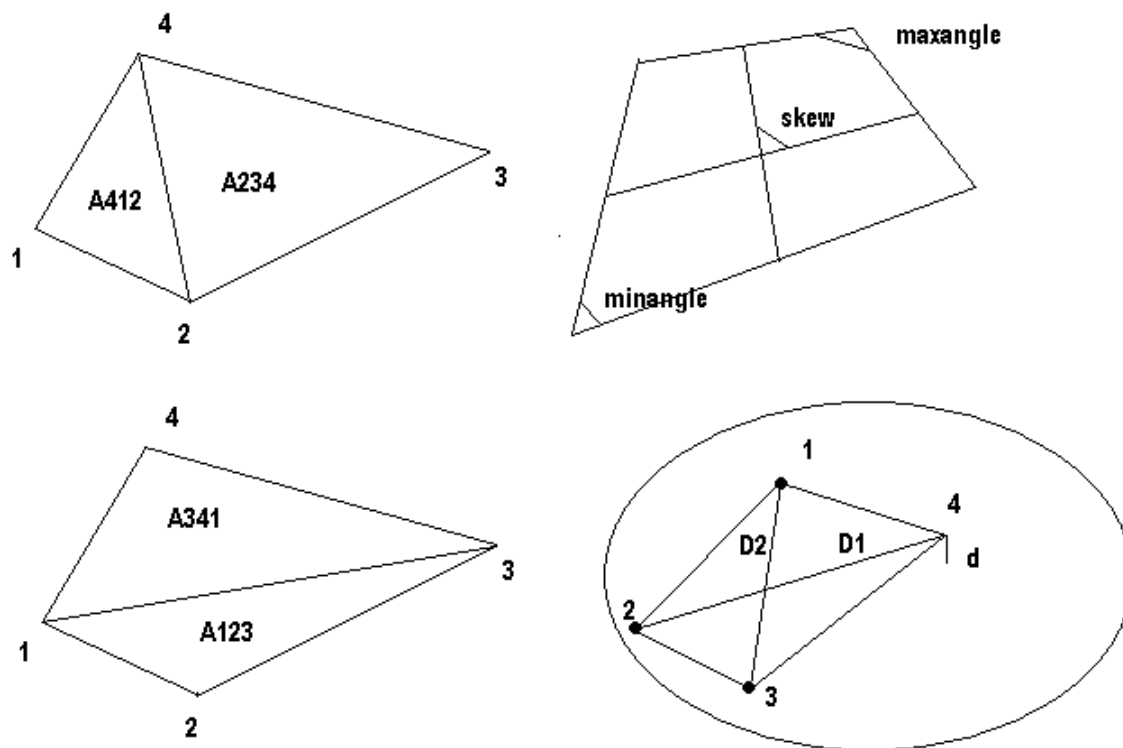
E' opportuno verificare che nel modello non ci siano elementi troppo distorti poiché questi possono dare risultati non buoni.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

#### 3.7.4.7.1 Controllo elementi (Dialogo)

### CONTROLLO ELEMENTI (DIALOGO)



Questo dialogo consente di attivare (o meno) una serie di controlli basati sulla geometria degli elementi piastra e membrana. Per attivare il controllo occorre apporre un segno

di spunta nella casella corrispondente al controllo. I valori numerici suggeriti possono essere cambiati. Il significato dei diversi termini è il seguente.

### **Taper**

E' un numero puro. Ha senso solo per elementi a 4 nodi. Questo indicatore è preso in affinità a quanto fatto dal programma NASTRAN.

$$\text{Taper} = \max\{t_i\}, i=1, 2, 3, 4$$

$$t_i = (J_i - J_a) / J_a$$

$$J_a = 0.25 (J_1 + J_2 + J_3 + J_4)$$

$$J_1 = 0.5 * A_{123}$$

$$J_2 = 0.5 * A_{234}$$

$$J_3 = 0.5 * A_{341}$$

$$J_4 = 0.5 * A_{412}$$

$A_{123}$  = area del triangolo avente i nodi 1, 2, 3 dell'elemento a 4 nodi.

Se il valore misurato sul generico elemento è maggiore del valore specificato l'elemento è considerato irregolare. Tipicamente i trapezi possono avere questo numero non adeguato: i rettangoli sono sempre tali per cui  $\text{Taper} = 0$ .

### **Skew**

E' un angolo. Ha senso solo per elementi a 4 nodi. Misura l'angolo formato dalle due mediane (congiungenti i punti medi dei lati opposti). Tale angolo è sempre minore o eguale a 90°. Se l'angolo è inferiore al valore specificato l'elemento è considerato irregolare.

### **Minarea**

E' la minima area al di sotto della quale un elemento viene considerato irregolare (tipicamente elementi di area tendente a zero). Il numero va introdotto nella unità di misura attiva.

### **Minangle**

E' un angolo in gradi. Se il minimo angolo di un certo elemento è inferiore a questo valore, l'elemento sarà considerato irregolare e selezionato.

### **Maxangle**

E' un angolo in gradi. Se il massimo angolo di un certo elemento è superiore a questo valore, l'elemento sarà considerato irregolare e selezionato.

### Warp

E' un numero puro. Il controllo ha senso solo per elementi a 4 nodi. Detta "d" la distanza del quarto nodo dal piano definito dai primi 3, e dette D1 e D2 le misure delle due diagonali, Warp è definito nel seguente modo:

$$\text{Warp} = 2d/(D1+D2)$$

Warp misura la mancanza di planarità di un elemento.

#### 3.7.4.8 Normale

##### COMANDO: Mesh-Piastre e membrane-Normale

[Ribbon-Mesh]



Capita talvolta che nel corso delle operazioni di meshing alcuni elementi abbiano la normale diretta in un verso, altri l'abbiano invece diretta in verso opposto, pur essendo gli elementi complanari. Altre volte si desidera avere le normali orientate sempre verso l'interno di un involucro ideale. Questo comando serve a ridefinire con facilità la direzione della normale degli elementi selezionati. Alla esecuzione del comando compare un dialogo che chiede un vettore. Bene, il programma farà sì che il prodotto scalare di tutti gli assi 3 degli elementi selezionati con il vettore dato sia positivo. Questo consente, in pratica, di riallineare le normali secondo il verso desiderato.

#### 3.7.4.9 Tipo

##### COMANDO: Mesh-Piastre e membrane-Tipo

[Ribbon-Mesh]



Questo comando consente di attribuire il tipo desiderato agli elementi piastra selezionati. La formulazione può essere a piastra sottile (elementi DKT) o a piastra spessa (elementi di Hughes).

#### 3.7.4.10 Winkler

##### **COMANDO: Mesh-Piastre e membrane-Winkler**

[Ribbon-Mesh]



Questo comando assegna agli elementi plate selezionati un suolo elastico. Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>840</sup> che consente di assegnare le proprietà del suolo elastico desiderato.

Per maggiori informazioni:

[Come gestire elementi su suolo elastico](#)<sup>354</sup>

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

##### 3.7.4.10.1 Definizione della costante di Winkler (Dialogo)

##### **DEFINIZIONE DELLA COSTANTE DI WINKLER (DIALOGO)**

Questo dialogo consente di definire la costante di Winkler da assegnare agli elementi plate selezionati. La costante di Winkler ha le dimensioni fisiche di una forza per unità di volume. Per eliminare un suolo di Winkler precedentemente assegnato è necessario impostare un valore nullo per la costante di Winkler.

Per maggiori informazioni:

[Come gestire elementi su suolo elastico](#) 

### 3.7.4.11 Leggi STL BIN

#### **COMANDO: Mesh-Piastre e membrane-Leggi STL BIN**

**[Ribbon-Mesh]**

Questo comando consente di leggere un file STL BINARIO e di importare quindi elementi bidimensionali triangolari (elementi plate-shell).

Alla esecuzione del comando occorre dapprima scegliere un file di tipo STL binario (estensione STL o BIN).

Poi occorre specificare la unità di lunghezza con cui il file STL è stato scritto (ad esempio, metri o millimetri).

Gli elementi vengono importati come piastre sottili e collocati nello spazio in posizione coerente con quanto specificato nel file STL. Lo spessore dovrà essere attribuito a valle della importazione.

I file STL sono correntemente usati ad esempio per la stampa 3D, e possono essere generati da molti programmi di cad. Essi vengono usati per definire delle superfici. Il file STL binario non va confuso con quello testo, che è molto più "pesante" anche se può essere letto e modificato con qualsiasi editor di testo.

Un file STL è essenzialmente una lista di triangoli nello spazio, di cui sono date le coordinate dei tre vertici.

### 3.7.5 Molle

#### 3.7.5.1 Aggiungi...

#### **COMANDO: Mesh-Molle-Aggiungi...**

**[Ribbon-Mesh]**



Questo comando consente di aggiungere molle ai nodi selezionati. Le molle possono essere traslazionali o rotazionali, dirette come l'utente vuole. Va definita una rigidezza nelle unità di misura attive e, per il solo solutore Curan, possono essere definite leggi lineari o bilineari, complete, no tension o no compression, con o senza gap, e infine vanno indicati i limiti di rottura e il tipo di incrudimento. Appena eseguito il comando compare il dialogo [Aggiunta di molle](#)<sup>842</sup>.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

#### 3.7.5.1.1 Aggiunta di molle (Dialogo)

### AGGIUNTA DI MOLLE (DIALOGO)



**Aggiunta di Molle**

Direzione molla (dal nodo)

X: 0 Y: 0 Z: -1

Tipo

☒ Traslazionale  
☐ Rotazionale

Legge costitutiva

Rigidezza K1: 0  
Rigidezza K2: 0  
D snervamento: 0  
Beta (1 isotropico, 0 cinematico): 1  
Gap ( $\geq 0$ ): 0  
Coeff. di attrito statico  $h_s$  (0 no attrito): 0  
Coefficiente di attrito dinamico  $h_d$ : 0  
Rigidezza attrito statico  $K_f$ : 0  
Smorzamento Viscoso  $C$ : 0

Simmetria di comportamento

☒ Tensione e compressione  
☐ No tensione (solo solutore CURAN)  
☐ No compressione (solo solutore CURAN)

Limiti di rottura

100000000 Limite (+) (solo solutore CURAN)  
-100000000 Limite (-) (solo solutore CURAN)

K1 rigidezza elastica  
K2 rigidezza post snervamento  
D: traslazione o rotazione (rad)  
C: forza per unità di velocità o momento per unità di velocità angolare

OK Cancel

Questo dialogo consente di definire le molle che verranno applicate ai nodi selezionati.

Se la molla è **traslazionale** la rigidezza misura una forza divisa per uno spostamento (le unità dipendono da quelle attive).

Se la molla è **rotazionale** la rigidezza misura un coppia per unità di radiante: anche in questo caso il numero da fornire dipende dalle unità di misura attive.

La direzione può essere lungo uno degli assi globali (per una molla in direzione -X, ad esempio, vanno definiti  $X=-1$ ,  $Y=0$ ,  $Z=0$ ) oppure può essere inclinata rispetto a tali assi (ad esempio  $X=0.5$ ,  $Y=0.5$ ,  $Z=0$ ).

Per tutti i solutori tranne Curan l'ultimo parametro che deve essere definito è la rigidezza K1, nelle unità attive.

Per il solutore nonlineare Curan possono essere definiti i seguenti ulteriori parametri:

- Rigidezza K2 e allungamento D corrispondente allo snervamento (viene definita una legge bilineare)

- Beta (0 per incrudimento cinematico, 1 per incrudimento isotropo)
- Gap (lo spostamento superato il quale la molla inizia a reagire, definito nelle unità correnti)
- Coefficiente di attrito statico (si veda più avanti)
- Coefficiente di attrito dinamico (si veda più avanti)
- Rigidezza attrito statico (")
- Smorzamento viscoso C (")
- Limiti di rottura positivo e negativo (lunghezze)
- Legge costitutiva completa, oppure no tension o no compression

Una molla con attrito, quando soggetta a compressione, fornisce una rigidezza laterale  $K_f=K$ . Se la molla è soggetta a trazione la rigidezza laterale è nulla. Quando la forza laterale supera un valore limite dato dal prodotto del coefficiente di attrito statico per la forza di compressione applicata, la molla non offre più resistenza laterale e si verifica uno slittamento. Se si pone il coefficiente di attrito statico pari, ad esempio, a 0.2, la molla offre una resistenza laterale per valori di forza tangenziale  $N_t$  inclusi nel range

$$0 < |N_t| < 0.2 |N_n|$$

dove  $N_n$ , azione normale, naturalmente ha segno negativo, trattandosi della compressione applicata.

In campo dinamico, una volta che il movimento è avvenuto, la forza dissipativa dipende dal prodotto della forza normale di compressione agente, per il coefficiente di attrito dinamico.

Lo smorzamento viscoso C è usato solo dal solutore dinamico non lineare DYNCURAN. Esso ha le dimensioni fisiche di una forza divisa per una velocità. Dare a una molla uno smorzamento viscoso consente di modellare lo smorzamento per esempio legato alla perdita di energia radiante, o alla interazione fondazione-struttura.

La analisi modale non tiene conto di tale smorzamento viscoso, in quanto esso comporta la non disaccoppiabilità del moto. Solo il solutore dinamico non lineare DYNCURAN lo usa.

### 3.7.5.2 Cancellà

#### COMANDO: Mesh-Molle-Cancellà

[Ribbon-Mesh]



Questo comando consente di cancellare le molle o i cedimenti selezionati.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

### 3.7.5.3 Cancellà Scariche

#### COMANDO: Mesh-Molle-Cancellà Scariche

[Ribbon-Mesh]

Questo comando consente di cancellare le molle selezionate che nel caso o combinazione attiva sono scariche. Per essere eseguito deve essere disponibile il risultato di una analisi, generalmente non lineare con molle no-tension o no-compression.

Il comando è molto utile se si deve usare il metodo generale (analisi limite + analisi di buckling) in presenza di una non linearità di contatto. Dopo aver eseguito l'analisi in non linearità di materiale con molle no-tension o no-compression per simulare l'appoggio monolatero, occorre fare una analisi di buckling. L'analisi di buckling però è lineare, e quindi anche le molle scariche sarebbero introdotte nella matrice di rigidezza. Il comando, dopo una analisi non lineare di servizio, consente di cancellare le molle che non hanno reagito, lasciando solo quelle attive. A questo punto si fa una analisi statica lineare e poi una analisi di buckling, in modo da determinare il moltiplicatore critico. Di solito ogni modello ha un solo caso di carico e una sola combinazione, dato che la distribuzione delle molle reagenti è diversa da caso a caso. Di solito, inoltre, il "caso" è in origine una combinazione ed è stato generato come caso mediante il comando Edit-Casi-Combina.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

#### 3.7.5.4 Winkler

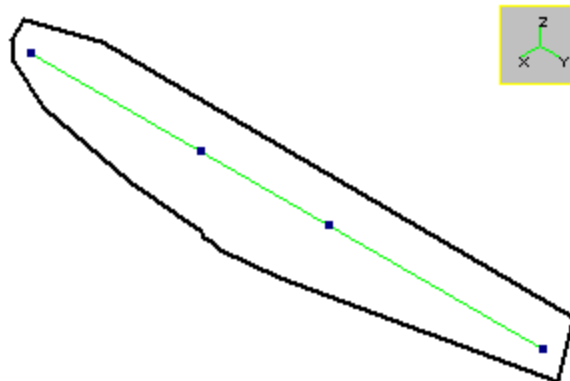
**COMANDO: Mesh-Molle-Winkler**

**[Ribbon-Mesh]**

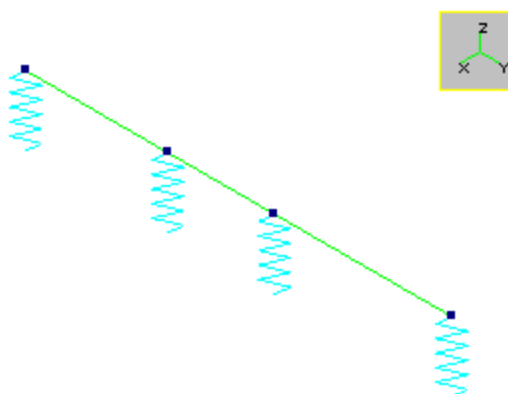


Questo comando consente di aggiungere molle alla Winkler. Usando il concetto di regione è possibile aggiungere molle lungo linee o su superfici.

Se nel dialogo [Aggiunta di molle alla Winkler](#)<sup>[849]</sup> si sceglie di aggiungere molle alla Winkler di linea occorre fornire la rigidezza delle molle per unità di lunghezza. Il comando chiede una poligonale ([Dare una poligonale](#)<sup>[657]</sup>).

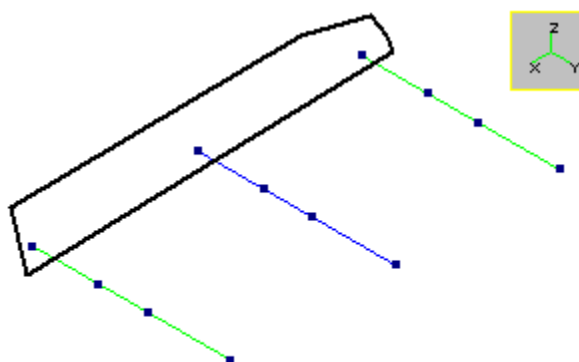


La poligonale

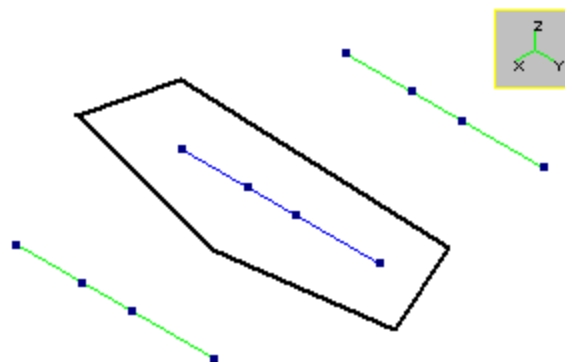


### Le molle risultanti

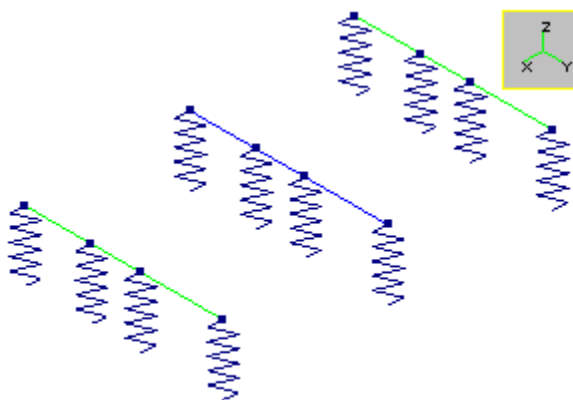
Se nel dialogo [Aggiunta di molle alla Winkler](#)<sup>[849]</sup> si sceglie di aggiungere molle alla Winkler di superficie occorre fornire la rigidezza delle molle per unità di superficie. Il comando richiede due poligonali ([Dare una poligonale](#)<sup>[65]</sup>).



### La prima poligonale



La seconda poligonale



Le molle risultanti

La rigidezza di ciascuna molla sarà pari all'area di influenza del suo nodo di pertinenza per la rigidezza per unità di superficie specificata.

Nel [dialogo](#) <sup>849</sup> è possibile definire anche i parametri nonlineari per il solutore Curan.

**Tipo:** non modale

**Destinazione:** documento per l'aggiunta, vista attiva per il funzionamento

## 3.7.5.4.1 Aggiunta di molle alla Winkler (Dialogo)

**AGGIUNTA DI MOLLE ALLA WINKLER (DIALOGO)**

**Aggiunta di Molle alla Winkler**

Direzione molla (dal nodo)

0 dir X

0 dir Y

-1 dir Z

Tipo

☒ Traslazionale

☐ Rotazionale

Dominio

☐ Superficie

☒ Linea

Legge costitutiva

0 kW1

0 kW2

0 D snervamento

1 Beta (1 isotropo, 0 cinematico)

0 Gap (>= 0)

Simmetria di comportamento

☒ Tensione e compressione

☐ No tensione (solo solutore CURAN)

☐ No compressione (solo solutore CURAN)

Limiti di rottura

100000000 Limite (+) (solo solutore CURAN)

-100000000 Limite (-) (solo solutore CURAN)

Kw1 = rigidezza elastica per unità di dominio  
 Kw2 = rigidezza post-snervamento (p. u. d. d.)  
 D: traslazione o rotazione (rad)

OK Cancel

Questo dialogo consente di stabilire le caratteristiche delle molle alla Winkler e di che tipo queste siano.

Esse possono essere traslazionali o rotazionali, ed essere applicate su una linea o una superficie. Vale la seguente tabella che dà la dimensione fisica della costante kW

TIPO	DOMINIO	
	SUPERFICIE	LINEA
TRASLAZIONE	$F/L^3$	$F/L^2$
ROTAZIONE	$F/L$	$F$

a seconda delle scelte fatte: F sta per forza, L per lunghezza.

Se si sceglie come dominio la linea occorrerà fornire una poligonale, se si sceglie la superficie occorrerà fornire due poligonali.

Per il solutore nonlineare Curan possono essere definiti i seguenti ulteriori parametri:

- Rigidezza  $kW2$  e allungamento  $D$  corrispondente allo snervamento (viene definita una legge bilineare)
- Beta (0 per incrudimento cinematico, 1 per incrudimento isotropo)
- Gap (lo spostamento superato il quale la molla inizia a reagire, definito nelle unità correnti)
- Limiti di rottura positivo e negativo (lunghezze)
- Legge costitutiva completa, oppure no tension o no compression

### 3.7.6 Solidi

#### 3.7.6.1 Aggiungi...

**COMANDO: Mesh-Solidi-Aggiungi...**

**[Ribbon-Mesh]**



Questo comando consente di aggiungere elementi solidi. Appena eseguito il comando compare il dialogo [Aggiunta di solidi](#)<sup>[850]</sup>.

I comandi di aggiunta di elementi solidi sono prevalentemente limitati alla estrusione di elementi piani.

**Tipo:** modale/non modale

**Destinazione:** documento

##### 3.7.6.1.1 Aggiunta di solidi (Dialogo)

### AGGIUNTA DI SOLIDI (DIALOGO)



Questo dialogo consente di specificare la modalità con la quale aggiungere elementi solidi al modello.

Sono previste le seguenti modalità:

### **1) Aggiunta diretta**

In questa modalità gli elementi vengono aggiunti uno ad uno, attaccandosi a nodi esistenti e/o aggiungendo i nodi necessari.

L'aggiunta diretta è al momento limitata agli elementi esaedrici di cui occorre fornire i nodi nel seguente ordine:

I, J, K, L (faccia inferiore, ordine antiorario)

M, N, O, P (faccia superiore, ordine antiorario, con M corrispondente a I).

I nodi possono essere cliccati o definiti mediante specificazione delle coordinate assolute (per il solo I) o relative all'ultimo nodo definito (per i nodi J, K, L, M, N, O, P).

La modalità di aggiunta diretta è da usare con cautela e limitatamente a casi particolari data la obiettiva difficoltà a cliccare nella sequenza corretta.

### **2) Regione.**

In questo caso vengono aggiunti elementi "brick". Gli elementi vengono aggiunti automaticamente dopo aver specificato tre file di nodi mediante tre distinte poligoni atte a ricomprendere una fila di nodi per volta. Le tre file di nodi devono avere un nodo in comune. Il comando è una generalizzazione di quello già descritto nel caso di aggiunta di carichi a regione.

### **3) Esaedro**

Il comando è affine alla aggiunta diretta, ma l'esaedro così definito verrà poi suddiviso in una serie di elementi grazie alla determinazione del numero di suddivisioni fatta inizialmente (mediante un opportuno [dialogo](#)<sup>[853]</sup> che chiede le suddivisioni lungo IJ, JK, ed IM.

Vengono definiti i nodi

- I      mediante coordinate assolute o mediante click su nodo esistente
- J      mediante coordinate relative a I o mediante click
- K      mediante coordinate relative a J o mediante click
- L      mediante coordinate relative a K o mediante click
- P      mediante coordinate relative a L o mediante click

L'ultimo punto aggiunto è quello che dà la traslazione del quadrilatero IJKL per generare il solido. Tale traslazione è data appunto da PL.

#### 4) Estrudi sel PM

E' il modo più facile ed anche quello maggiormente consigliato nell'ambito di utilizzo di Sargon: in pratica, preselezionati un certo numero di elementi bidimensionali triangolari o quadrilateri, il vettore copia specificato col comando consente di generare altrettanti elementi solidi (rispettivamente pentaedrici o esaedrici) che potrenno poi essere ulteriormente copiati o ruotati per generare il solido di interesse.

#### 3.7.6.2 Cancella SO

##### COMANDO: Mesh-Solidi-Cancella

[Ribbon-Mesh]



Questo comando consente di cancellare gli elementi solidi selezionati.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

### 3.7.6.3 Dividi SO

**COMANDO: Mesh-Solidi-Dividi**

**[Ribbon-Mesh]**



Questo comando consente di suddividere gli elementi solidi selezionati (presentemente solo quelli di tipo esaedrico e pentaedrico). Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>853</sup> che consente di specificare il numero di suddivisioni nelle tre direzioni locali. Perché vengano divisi gli elementi pentaedrici è necessario che il numero di suddivisioni lungo IJ e JK sia identico.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

#### 3.7.6.3.1 Divisione di solidi (Dialogo)

### DIVISIONE DI SOLIDI (DIALOGO)

Il dialogo chiede il numero di suddivisioni nelle tre direzioni locali:

IJ      è il primo spigolo della faccia inferiore

JK      è il secondo spigolo della faccia inferiore

IM      è lo spigoli che unisce il primo nodo alla faccia superiore

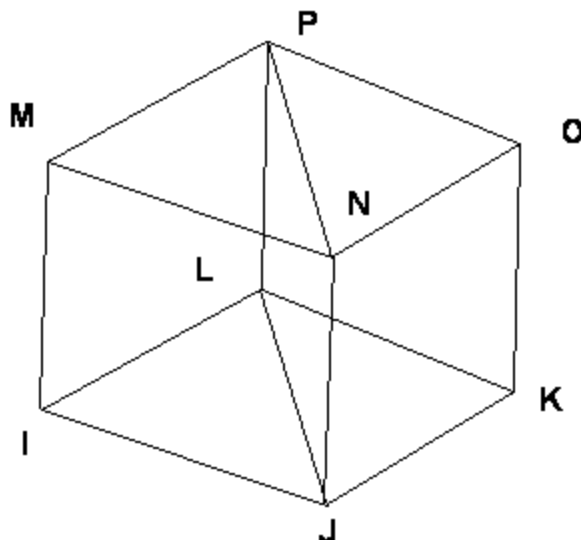
Il numero di elementi finale in cui verrà suddiviso ogni elemento selezionato è pari al prodotto dei tre numeri inseriti.

#### 3.7.6.4 Pentaedrizza

##### COMANDO: Mesh-Solidi-Pentaedrizza

[Ribbon-Mesh]

Questo comando suddivide tutti gli elementi “brick” selezionati in due elementi pentaedrici. La suddivisione non comporta l’aggiunta di nodi. La pentaedrizzazione può essere utile per studiare la sensitività dei risultati al variare della mesh o per esigenze di meshing.



La suddivisione avviene in modo che l’elemento che aveva originariamente i nodi: (I, J, K, L, M, N, O, P) venga spezzato nei due elementi (I, J, L, M, N, P) e (J, K, L, N, O, P). Su mesh regolari, generate con comandi di mapping la pentaedrizzazione non comporta violazioni di congruenza (facce affacciate con diagonali incidenti).

**Tipo:** immediato

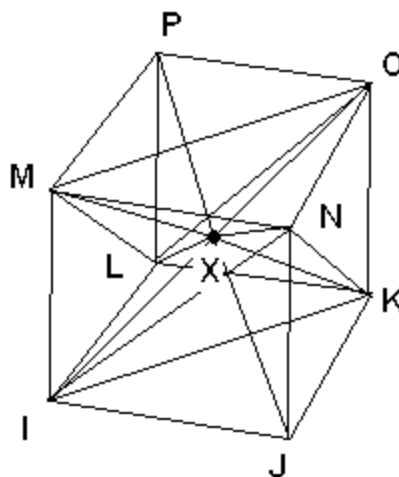
**Destinazione:** documento

#### 3.7.6.5 Tetraedrizza

##### COMANDO: Mesh-Solidi-Tetraedrizza

[Ribbon-Mesh]

Questo comando suddivide tutti gli elementi “brick” selezionati in dodici elementi tetraedrici ottenuti aggiungendo un nodo in corrispondenza al baricentro dell’elemento originario. La tetraedrizazione può essere utile per studiare la sensitività dei risultati al variare della mesh.



La suddivisione avviene in modo che l’elemento che aveva originariamente i nodi: (I, J, K, L, M, N, O, P) venga spezzato nei dodici elementi tetraedrici seguenti:

I,J,K,X

I,K,L,X

N,M,O,X

M,P,O,X

J,N,K,X

K,N,O,X

I,L,M,X

M,L,P,X

J,I,N,X

I,M,N,X

L,K,O,X

L,O,P,X

dove “X” è il nodo aggiuntivo.

Su mesh regolari, generate con comandi di mapping la tetraedrizzazione non comporta violazioni di congruenza (facce affacciate con diagonali incidenti).

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

### 3.7.7 Superelementi

#### 3.7.7.1 Cerca

**COMANDO: Mesh-Superelementi-Cerca**

**[Ribbon-Mesh]**



Questo comando serve a cercare i superelementi tra gli elementi selezionati. Il comando vede solo gli elementi trave e gli elementi biella selezionati al momento della esecuzione del comando. Tra questi elementi cerca gli insiemi di elementi trave allineati, sui quali, nei nodi intermedi, non proviene alcun rompitrattamento. Trovato un certo numero di superelementi questi vengono aggiunti a quelli esistenti.

Per maggiori informazioni: si vada a [Superelementi](#)<sup>287</sup>.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

#### 3.7.7.2 Cancella

**COMANDO: Mesh-Superelementi-Cancella**

**[Ribbon-Mesh]**



Questo comando cancella i superelementi selezionati.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

### 3.7.7.3 Usa e mostra

#### COMANDO: Mesh-Superelementi-Usa

[Ribbon-Mesh]

Questo comando fa decidere se i superelementi verranno usati e mostrati oppure no. Esso influenza il funzionamento dei verificatori e le mappe a colori con le snellezze. Se il flag è attivato (default) si vedrà la snellezza dei superelementi. Se il flag è inattivato si vedrà la sola snellezza degli elementi trave. Se il flag è inattivo i superelementi non verranno verificati. Se invece è attivo i superelementi verranno verificati.

**Tipo:** flag

**Destinazione:** documento

### 3.7.8 Elementi doppi...

#### COMANDO: Mesh-Elementi Doppi...

[Ribbon-Mesh]



Questo comando dà accesso ad un opportuno [dialogo](#)<sup>858</sup> che consente di stabilire quali elementi doppi si possano introdurre e quali no. Normalmente non è possibile aggiungere elementi doppi, nel senso che il programma li elimina automaticamente se, in fase di mesh, questi vengono aggiunti.

Il comando consente anche di selezionare gli elementi in questione e di avere un tabulato con una lista (il tabulato si chiama *modello.doubleele.list.txt* ed è creato nella cartella

ove si trova il modello). Quest'ultima funzionalità è per ora limitata agli elementi trave e biella.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento.

### 3.7.8.1 Elementi doppi (Dialogo)

#### ELEMENTI DOPPI (DIALOGO)

Questo dialogo consente di stabilire quali tipi di elementi doppi possono essere generati nelle operazioni di copia. Per default nessuno.

Se si attiva la spunta relativa a “all’uscita seleziona e lista gli elementi doppi”, all’uscita dal dialogo verranno contati gli elementi doppi e verrà creato un file con un report sugli elementi doppi trovati (file *modello.doubleele.list.txt*). Inoltre i primi elementi doppi saranno selezionati: se ad esempio ci sono 3 elementi doppi sarà selezionato solo il primo. Quest'ultima funzionalità è per ora limitata agli elementi trave e biella.

### 3.7.9 Nodi doppi

#### COMANDO: Mesh-Nodi Doppi

[Ribbon-Mesh]

Questo flag può essere attivato oppure no. Se è attivato (è presente il segno di spunta), durante le operazioni di meshing sarà possibile avere nodi doppi. Se invece non è attivato i nodi doppi non ci saranno.

**Tipo:** flag

**Destinazione:** documento.



### 3.7.10 Auto Allinea

#### COMANDO: Mesh-Auto Allinea

##### [Ribbon-Mesh]

Questo flag può essere attivato oppure no. Se è attivato (è presente il segno di spunta), durante la aggiunta diretta di elementi trave, biella, piastra e membrana gli elementi saranno mantenuti equiversi.

Supponiamo di definire un portale dando di seguito la prima colonna, il trasverso e la seconda colonna. La seconda colonna avrà il primo nodo in alto ed il secondo nodo in basso. Se il flag è attivo i nodi verranno scambiati in modo da allineare la colonna con la precedente.

In pratica se sta per essere aggiunto un elemento viene eseguito il prodotto scalare tra il versore dell'asse 1 dell'elemento e il vettore  $(1, 1, 1)$ , controllando che questo sia positivo. Se è negativo i nodi  $i$  e  $j$  dell'elemento vengono scambiati. Se il prodotto scalare è nullo viene usato il vettore  $(1, 0, 0)$  o  $(0, 1, 0)$  o  $(0, 0, 1)$ , finchè non si trova un prodotto scalare non nullo.

Un discorso analogo vale per gli elementi bidimensionali, ma in questo caso l'allineamento riguarda il versore normale al piano dell'elemento.

**Tipo:** flag

**Destinazione:** documento.

### 3.7.11 Cerca intersezioni

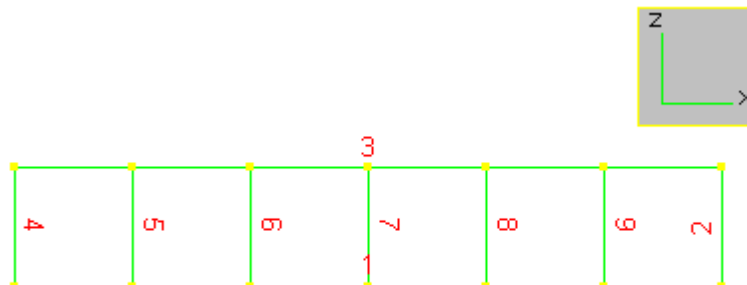
#### COMANDO: Mesh-Cerca Intersezioni

##### [Ribbon-Mesh]

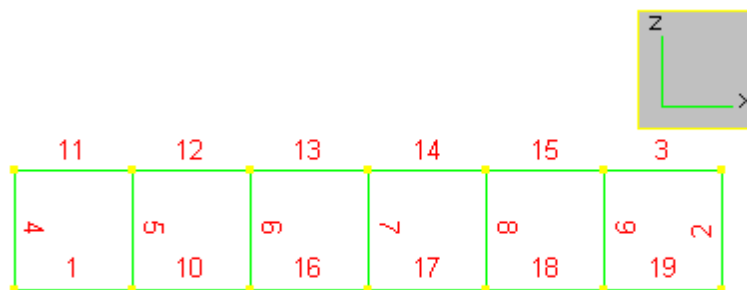


L'operazione attivata da questo comando è molto utile: essa consente di trovare automaticamente l'intersezione tra un certo numero di elementi monodimensionali (quelli precedentemente selezionati), generando i nodi di intersezione in modo automatico e ridefinendo conseguentemente le incidenze degli elementi "spezzati" in due dall'intersezione. Il

comando può essere usato in due modi: un modo è quello teso a trovare le intersezioni per costruire la mesh, e questo modo ha il vantaggio di risparmiare all'utente dei calcoli per trovare le coordinate della intersezione.



**Mesh sbagliata o *disegno* della struttura**



**Mesh corretta**

Un secondo modo per impiegare il comando, non meno utile, è quello teso a controllare la bontà della mesh.

Per "intersezione" tra due segmenti si intende qui la ricerca di un punto appartenente ad entrambi i segmenti da intersecare. In una mesh ben fatta l'intersezione tra gli elementi non può che essere all'estremo degli elementi stessi (ovvero essere costituita da i suoi nodi di estremità), in quanto, in caso diverso si sarebbe in presenza di una sconnessione: condizione *necessaria* affinché non ci siano sconnessioni è pertanto che non vi siano intersezioni che dividano gli elementi in due parti. Tale condizione non è tuttavia sufficiente a evitare che vi siano sconnessioni: oltre a questa occorre infatti imporre che non vi siano nodi doppi. Terminata la mesh, se si hanno dubbi sulla bontà di tutta o parte di essa, si può cercare se vi sono intersezioni: se le intersezioni vengono trovate, la mesh non è accettabile; se le intersezioni non vengono trovate, e non vengono trovati nodi doppi, si può avere la ragionevole

certezza che non vi siano sconnessioni nel modello. In certi casi le intersezioni ci sono, ma questo non indica una vera e propria sconnessione: caso tipico è quello di due bielle di una croce di S. Andrea, le quali si sovrappongono senza che sia desiderato il nodo di intersezione. In tal caso è sufficiente non selezionare queste aste perchè l'intersezione tra di esse non venga cercata.

Se vengono selezionate molte aste la ricerca di tutte le intersezioni tra di esse può essere considerevolmente lunga. Il procedimento è infatti iterativo, e va avanti sino a che tutte le intersezioni non sono state eliminate. Come già accennato, questa procedura può essere adottata per *generare* mesh correttamente impostate dopo aver *disegnato* l'unifilare senza preoccuparsi punto delle connessioni. Per strutture semplici, e se non si è esperti del metodo degli elementi finiti, questa procedura può essere competitiva.

Se l'asta che deve essere suddivisa è un elemento beam e questo apparteneva a un superelemento, questo viene riparato (dalla versione 17.00).

I carichi vengono conservati e ridefiniti.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento.

### 3.7.12 Adaptive Refinement

#### COMANDO: Mesh-Adaptive Refinement

[Ribbon-Mesh]

**Rfn**

Questo comando è molto importante ed utile. Esso consente di infittire localmente la mesh aggiustando in modo automatico la mesh adiacente alla zona infittita in modo da mantenere una mesh corretta.

Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>862</sup> che consente di scegliere il modo in cui avviare il raffinamento.

I criteri per infittire una mesh possono essere numerosi. In generale la mesh viene infittita in specie là dove maggiori sono gli errori commessi. Spesso perciò si infittisce dopo

aver eseguito una prima analisi in modo da sfruttare le informazioni calcolate dal programma sulla precisione al fine di scegliere automaticamente la zona da infittire (si veda il [dialogo](#)<sup>[862]</sup>). Sargon consente, grazie a questo comando, di infittire localmente anche prima del solving, facendo scegliere all'utente le zone che desidera infittire. E' inoltre possibile infittire eseguendo n volte l'infittimento base (basta fissare il numero di ripetizioni desiderato). L'infittimento base prende ciascun elemento da infittire e gli applica una divisione 2x2, cosicchè da un elemento a quattro nodi si ottengono quattro elementi, da uno a tre nodi quattro elementi, da beam o truss due elementi.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento.

### 3.7.12.1 Adaptive refinement (Dialogo)

#### ADAPTIVE REFINEMENT (DIALOGO)

Questo dialogo serve a stabilire il modo in cui eseguire l'adaptive refinement.

Il modo serve a stabilire quali elementi saranno soggetti al raffinamento: gli elementi adiacenti a quelli raffinati saranno automaticamente adattati alla nuova mesh (carichi inclusi). Un primo modo consiste nell'applicare il raffinamento agli elementi selezionati dall'utente (**elementi selezionati**).

Un secondo modo, più interessante del precedente, consiste nell'applicare l'infittimento a tutti gli elementi che superano un certo valore di scarto (**soglia scarto**: per una discussione sugli scarti come misura dell'errore si veda [Sforzi in Piastre e Membrane](#)<sup>[321]</sup>). Questo consente di applicare il remeshing là dove è più necessario. Perchè questa modalità sia applicabile è necessario che il comando sia stato eseguito avendo davanti una mappa degli scarti di una certa componente (ad esempio la tensione di Von Mises, o lo sforzo principale massimo). Specificato un valore di massimo scarto accettabile (nella unità attiva e coerentemente con la componente visualizzata) il programma trova tutti gli elementi che affluiscono a nodi ove lo

scarto massimo supera la soglia specificata e li marca per essere infittiti. Attenzione: in questa modalità il comando deselecta in modo automatico tutti gli elementi prima di cominciare.

Oltre al modo è possibile stabilire la intensità dell'infittimento (**ripetizioni**). *Di norma si consiglia di usare come numero di ripetizioni il numero 1, in modo da sorvegliare che gli elementi limitrofi a quelli suddivisi non vengano ad essere eccessivamente distorti.* Ogni ripetizione implica che ad ogni elemento originario vengano sostituiti quattro elementi più piccoli. Ad esempio da una ripetizione pari a 2 sono da attendersi 16 elementi per ogni elemento da infittire.

### 3.7.13 Nodi sui lati

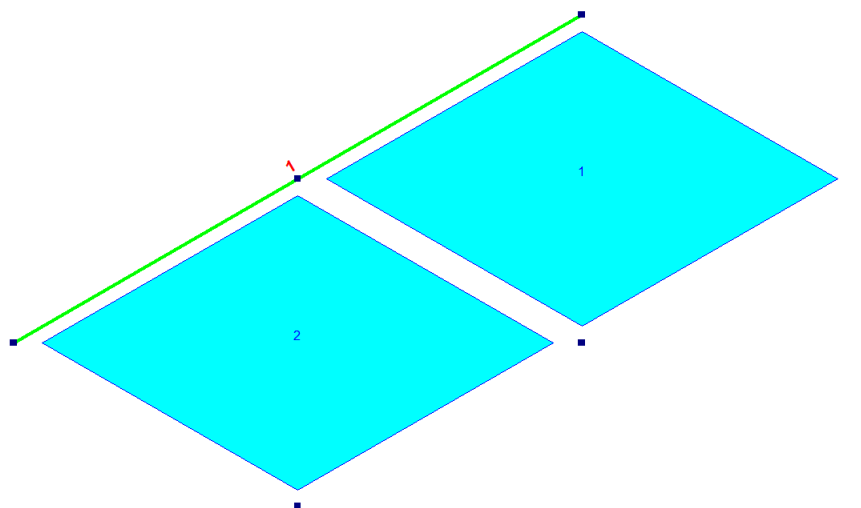
**Comando: Mesh-Nodi sui lati**

**[Ribbon-Mesh]**



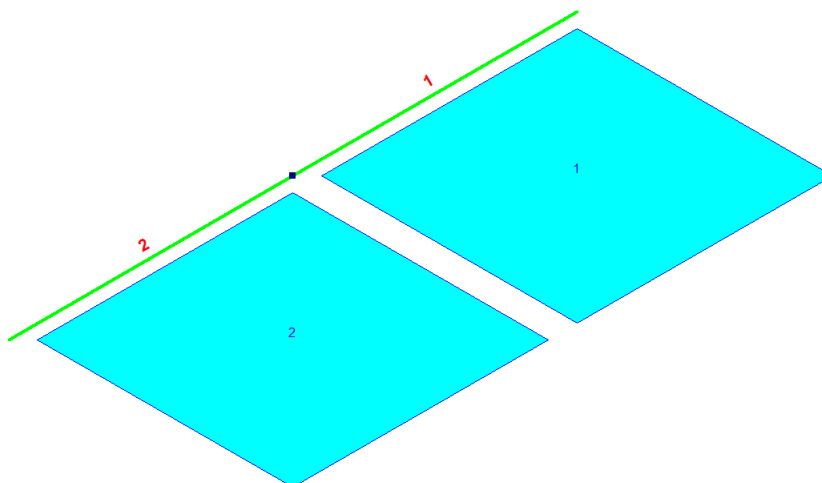
Questo comando opera su tutti i nodi selezionati al momento della sua esecuzione, cercando se tra essi ve ne sono alcuni che giacciono internamente all'asse di elementi trave o biella o sui lati di elementi piastra o membrana, sempre internamente.

Se vengono rilevati nodi con tale caratteristica, il programma li enumera e chiede se debbano essere opportunamente divisi gli elementi che presentano un nodo su un loro lato o sul loro asse: se si sceglie "NO", nessun elemento verrà modificato e tutti i nodi verranno deselectati a eccezione di quelli giacenti sui lati o sugli assi; se si sceglie "SI" gli elementi verranno divisi (con un'opportuna ripartizione dei carichi eventualmente presenti) e i nodi sui lati saranno gli unici a essere selezionati. Nell'esempio mostrato nelle figure seguenti, un elemento piastra è stato suddiviso in due, ma non è stato fatto altrettanto con l'elemento trave (prima immagine): manca quindi la corretta connessione tra esso e gli elementi bidimensionali. Il comando "Nodi sui lati" rileva la presenza di un nodo giacente sull'asse dell'elemento beam e chiede se quest'ultimo debba essere diviso. In caso di risposta affermativa, ci si ritrova nella condizione mostrata nella seconda immagine, in cui l'elemento unifilare è stato diviso in due e il nodo che è stato rilevato in precedenza risulta selezionato.



Sargon® - by Castalia srl - www.castaliaweb.com - ver 9.40.1-2010 - an100101

**Prima dell'esecuzione del comando: un elemento beam ininterrotto, con un nodo sul suo asse**



Sargon® - by Castalia srl - www.castaliaweb.com - ver 9.40.1-2010 - an100101

**Dopo l'esecuzione del comando con la divisione automatica si hanno due elementi beam**

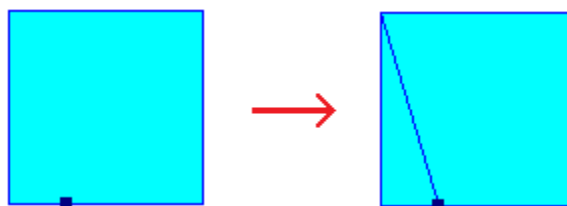
#### **NOTE:**

1. Se un elemento bidimensionale presenta più nodi sui lati o un elemento unifilare presenta più nodi sul suo asse, può essere necessario eseguire più volte il comando riselezionando i nodi opportuni, al fine di ottenere tutte le suddivisioni desiderate.

2. Gli elementi piastra e membrana vengono divisi "tagliando via" un elemento triangolare dall'elemento iniziale (si veda la figura più sotto).

3. Nei casi più delicati si consiglia di cliccare NO alla prima richiesta di divisione automatica, in modo da visualizzare dove si trovano i nodi sui lati e quali elementi coinvolgono, quindi di rieseguire il comando scegliendo SI oppure procedere con una modifica manuale della mesh. Se ci sono molti nodi sui lati può essere auspicabile trattarne un sottoinsieme alla volta, in modo da poter controllare meglio i risultati delle modifiche automatiche.

4. In caso di elementi unifilari con eccentricità deve essere valutata attentamente dall'utente l'eventuale situazione di nodi sui lati.



**Divisione automatica di un elemento piastra o membrana**

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

### 3.7.14 Copia...

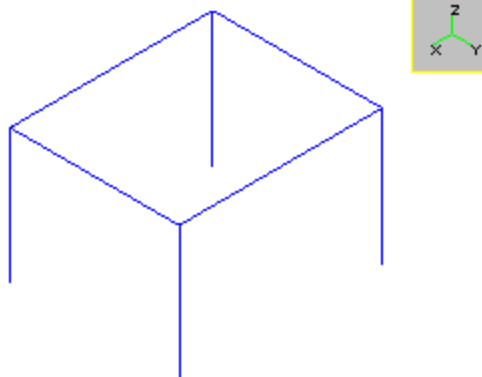
**COMANDO:** Mesh-Copia...

[Ribbon-Mesh]

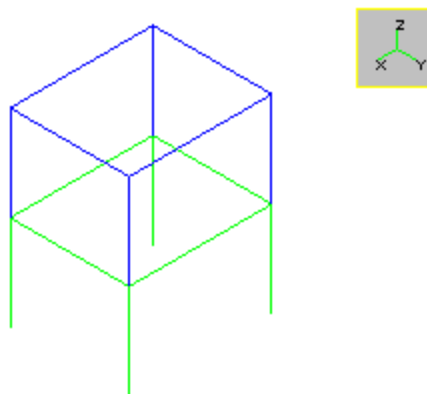


Consente di duplicare gli elementi che siano preventivamente stati selezionati. I nuovi elementi avranno il numero di gruppo corrente ("GR=" nella barra di stato). Attraverso un

opportuno [dialogo](#)<sup>[867]</sup>, l'utente dà un vettore che definisce la traslazione di tutti gli elementi selezionati. I nuovi elementi saranno nella posizione assunta idealmente dai vecchi traslati del vettore in questione. I nodi necessari verranno aggiunti automaticamente. Se, ad esempio, si vuole duplicare un piano di un edificio, basterà selezionare tutte e sole le aste del piano (colonne incluse), ed applicare un vettore avente una componente Z positiva pari all'altezza del piano.



**Il blocco selezionato prima della copia**



**Il blocco dopo la copia: il nuovo blocco è pronto ad essere ricopiato.**

Il programma ammette o no elementi sovrapposti a seconda dello stato dell'opzione [Elementi doppi...](#)<sup>[857]</sup>. Analogamente per i nodi tramite l'opzione [Nodi doppi](#)<sup>[858]</sup>.

Nel generare gli elementi il programma assume che i terzi nodi delle travi e bielle generate siano ordinatamente eguali a quelli delle aste che le generano.

Il vettore traslazione può essere definito in due modi. Nel primo caso occorre specificare due nodi che definiscono, ordinatamente, i due estremi del vettore traslazione; nel



secondo caso occorre dare esplicitamente le tre componenti del vettore, da tastiera, usando l'unità di misura corrente. È chiaro che il modo via mouse può essere usato solo qualora esistano due nodi della struttura capaci di descrivere il vettore prescelto. Se si è in presenza di tali nodi, ed il vettore traslazione è un numero decimale con diverse cifre, è senz'altro conveniente adoperare il mouse, poichè in tal modo ci si garantisce di evitare sovrapposizioni di nodi aventi posizione praticamente coincidente.

**Tipo:** modale se il vettore è definito via tastiera, non modale se è definito con la scelta di nodi  
**Destinazione:** documento.

### 3.7.14.1 Scelta del modo in cui fornire l'input (Dialogo)

#### SCELTA DEL MODO IN CUI FORNIRE L'INPUT (DIALOGO)

Questo dialogo fa scegliere se il vettore verrà dato prendendo due nodi esistenti o se, invece, verrà dato da [tastiera](#)<sup>867</sup>.

Se il vettore copia è determinato con la posizione di due nodi, è possibile scegliere il vettore **P2-P1** completo, o solo una o due componenti (X, Y, Z, XY, YZ, ZX). Ciò, in certi casi, è molto utile.

In questo dialogo si decide anche se, in caso di copia o mirroring, i nuovi elementi:

- avranno lo stesso gruppo dell'elemento da cui derivano, elemento per elemento (opzione disponibile dalla versione 15.10 in poi);
- avranno il gruppo attivo al momento della esecuzione del comando (modalità di funzionamento sino alla versione 15.10).

#### 3.7.14.1.1 Copia: vettore traslazione (Dialogo)

#### COPIA: VETTORE TRASLAZIONE (DIALOGO)

Questo dialogo consente di stabilire il vettore di cui traslare gli elementi selezionati per generarne una copia.

### 3.7.15 Ricopia

#### COMANDO: Mesh-Ricopia

[Ribbon-Mesh]



Dopo aver eseguito una [Copia](#)<sup>[865]</sup>, il programma fa in modo che tutti gli elementi siano deselezionati, tranne quelli appena aggiunti, che risultano selezionati. Il comando RICOPIA applica l'ultimo vettore traslazione definito dal comando [Copia](#)<sup>[865]</sup> agli elementi selezionati. Perciò, se dopo una COPIA del primo in un secondo modulo si vogliono aggiungere rapidamente altri  $n$  moduli, sarà sufficiente eseguire  $n$  volte il comando RICOPIA. I nuovi elementi avranno il numero di gruppo corrente ("GR=" nella barra di stato). Se si vuole fissare il gruppo basta cliccare a destr o a sinistra su "GR=".

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento.

### 3.7.16 Ruota...

#### COMANDO: Mesh-Ruota...

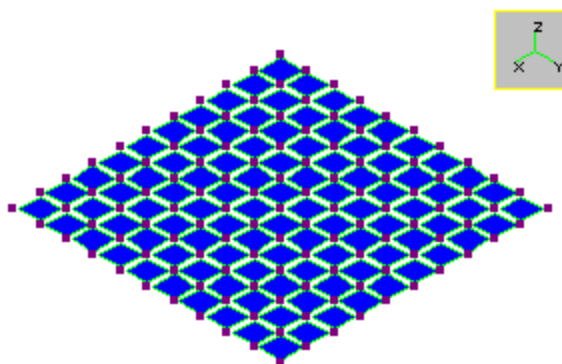
[Ribbon-Mesh]



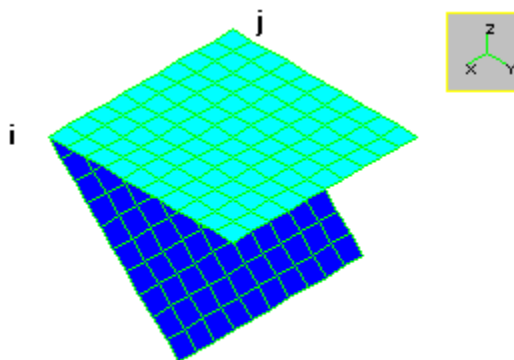
Questo comando serve a ruotare gli elementi selezionati rispetto ad un asse, in modo da generare un nuovo insieme di elementi, ruotati rispetto ai precedenti. I nuovi elementi avranno il numero di gruppo corrente ("GR=" nella barra di stato)

Prima di eseguire il comando occorre selezionare gli elementi che si intende ruotare. Dopo, il comando RUOTA fa specificare l'asse di rotazione, e l'angolo di rotazione (positivo secondo la regola classica del calcolo vettoriale). L'angolo va specificato in gradi.

Appena il comando viene eseguito viene chiesto all'utente di chiarire con quale modalità fornirà i dati: se interamente via tastiera, oppure se fornendo prima il vettore che definisce l'asse di rotazione mediante la scelta di due nodi e poi, via tastiera, l'angolo di rotazione.



**Il blocco (un insieme di piastre) selezionato prima della rotazione**



**Il blocco dopo la copia: il nuovo blocco è pronto ad essere riruotato.**

**In questo esempio l'asse va da i a j e la rotazione è di  $+45^\circ$**

Se l'utente sceglie di usare la tastiera gli viene presentato un dialogo ([Rotazione](#)<sup>870</sup>) in cui gli si chiedono i dati necessari.

Se l'utente sceglie la modalità mista, egli deve prima scegliere due nodi che danno, ordinatamente, il primo ed il secondo estremo del vettore rotazione (in questa fase il comando è non-modale). Poi gli viene proposto un opportuno dialogo ([Rotazione](#)<sup>[870]</sup>) che serve a specificare l'angolo di rotazione.

**Tipo:** modale se il vettore è definito via tastiera, non modale e poi modale se è definito con la scelta di nodi

**Destinazione:** documento.

#### 3.7.16.1 Rotazione (Dialogo)

### ROTAZIONE (DIALOGO)

Questo dialogo fa definire l'asse di rotazione (diretto dal punto 1 verso il punto 2) e l'angolo di rotazione.

L'angolo si misura in gradi ed è positivo se antiorario.

#### 3.7.16.2 Rotazione (Dialogo)

### ROTAZIONE (DIALOGO)

Questo dialogo fa definire l'angolo di rotazione (positivo se antiorario).

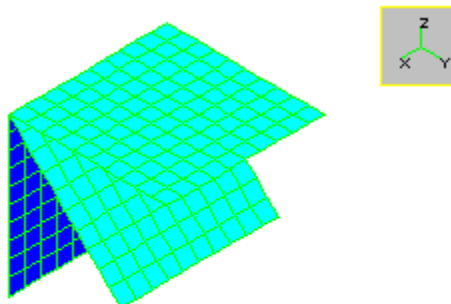
#### 3.7.17 Riruota

**COMANDO:** Mesh-Riruota

[Ribbon-Mesh]



Dopo aver eseguito una rotazione ([Ruota](#)<sup>868</sup>), il programma fa in modo che tutti gli elementi siano deselezionati, tranne quelli appena aggiunti, che risultano selezionati. Il comando RIRUOTA applica l'ultima rotazione definita dal comando [Ruota](#)<sup>868</sup> agli elementi selezionati. Perciò, se dopo una rotazione del primo in un secondo modulo si vogliono aggiungere rapidamente altri  $n$  moduli, sarà sufficiente eseguire  $n$  volte il comando RIRUOTA. I nuovi elementi avranno il numero di gruppo corrente ("GR=" nella barra di stato).



Effetto della rirotazione ([Ruota](#)<sup>868</sup>)

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento.

### 3.7.18 Specchia...

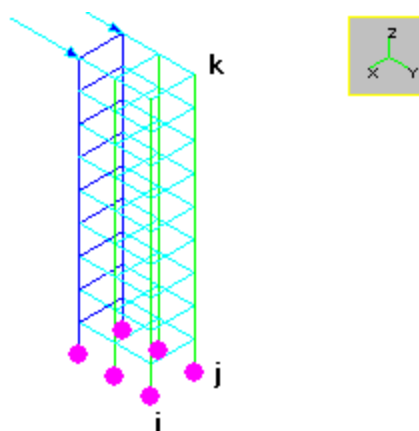
**COMANDO:** Mesh-Specchia...

[Ribbon-Mesh]

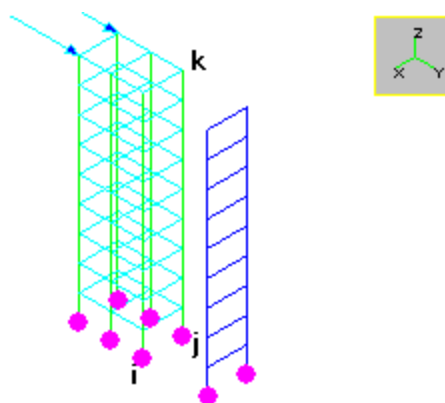


Il comando SPECCHIA serve per generare degli elementi attraverso un'operazione di copia di altri elementi, che devono essere preventivamente stati selezionati. I nuovi elementi avranno il numero di gruppo corrente ("GR=" nella barra di stato). La specchiatura avviene rispetto ad un piano (piano di specchiatura) individuato dall'utente per mezzo di tre punti non allineati. I punti possono essere nodi esistenti, ed in tal caso verranno scelti con il mouse;

oppure punti di cui vanno fornite le coordinate. In tale ultimo caso, occorre scegliere la modalità tastiera. Appena eseguito il comando viene chiesto all'utente se intende specificare i punti avvalendosi dei nodi esistenti oppure se intende specificare i tre punti dandone le coordinate.



**Il piano selezionato (colorato in blu) sta per essere specchiato rispetto al piano individuato dai nodi i, j, k.**



**Il piano dopo la specchiatura**

Se viene scelto di usare i nodi esistenti il comando diviene non-modale ed aspetta che l'utente scelga tre nodi cliccandoci sopra con il mouse (o usando la tastiera secondo le regole di funzionamento generali). Al terzo click il comando finisce e gli elementi vengono specchiati.

Se invece viene scelto dall'utente di dare i punti via tastiera, gli viene presentato un opportuno dialogo ([Specchiatura](#)<sup>873</sup>) che chiede le coordinate dei tre punti. Se si chiude il dialogo con OK gli elementi verranno specchiati.

I tre punti non devono essere allineati.

**Tipo:** modale se il vettore è definito via tastiera, non modale se è definito con la scelta di nodi

**Destinazione:** documento.

### 3.7.18.1 Specchiatura (Dialogo)

#### SPECCHIATURA (DIALOGO)

Questo dialogo fa definire tre punti che individuano il piano di specchiatura. I tre punti non devono essere allineati.

### 3.7.19 Metamorfosi...

#### COMANDO: Mesh-Metamorfosi...

[Ribbon-Mesh]



Questo comando serve a trasformare le travi in bielle e le bielle in travi, ed a trasformare le piastre in membrane e le membrane in piastre. Il comando si applica agli elementi selezionati che sono del tipo da trasformare.

Appena il comando viene eseguito viene proposto un opportuno dialogo ([Metamorfosi](#)<sup>[873]</sup>) che consente di decidere quali elementi trasformare.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento.

### 3.7.19.1 Metamorfosi (Dialogo)

#### METAMORFOSI

Questo dialogo fa scegliere il tipo di metamorfosi voluto.

### 3.7.20 Gap e attrito...

**COMANDO: Mesh-Gap e attrito...**

**[Ribbon-Mesh]**

Questo comando consente di assegnare:

- gap e/o coefficiente di attrito agli elementi finiti di tipo truss;
- gap, coefficiente di attrito, penalty, numero superficie "contact", numero di superficie "target" agli elementi finiti di tipo piastra. In altri termini, si definiscono i parametri che regolano il **contatto** tra le piastre.
- smorzamento viscoso C agli elementi biella. Tale valore viene usato solo dal solutore dinamico non lineare.

Gli **elementi** a cui si vogliono assegnare le proprietà suddette devono essere **selezionati prima dell'esecuzione del comando**.

L'eventuale assegnazione di questi parametri è un'informazione utilizzata **solo dai solutori Curan e Dyncuran**.

Alla esecuzione del comando compare un [dialogo](#)<sup>875</sup> che consente di definire i vari parametri (nelle unità attive nel caso di dati non adimensionali).

**Tipo:** modale.

**Destinazione:** documento.



### 3.7.20.1 Acquisizione di un gap e/o di un coefficiente d'attrito

#### ACQUISIZIONE DI UN GAP E/O DI UN COEFFICIENTE D'ATTRITO (DIALOGO)

Acquisizione di un gap e/o di un coefficiente di attrito

0 Gap (bielle e piastre-target)

0 Coefficiente di attrito statico (bielle e piastre-target)

0 Coefficiente di attrito dinamico (bielle e piastre-target)

0 Rigidezza attrito

0 Penalty (piastra-target)

0 Numero contact surface (solo piastre)

0 Numero target surface (solo piastre)

0 Smorzamento C (solo bielle) [Forza / Velocità]

Il gap è sempre positivo o nullo ed agisce sia in trazione che in compressione  
 Il gap ha la unità di misura di lunghezza attiva; penalty ha unità [forza/lunghezza]  
 Il coefficiente di attrito è un numero puro  
 Per le piastre selezionate: gap, attrito, penalty e target (contact=0); oppure contact (target =0)  
 Per le bielle selezionate: gap e attrito  
 Per le piastre: contact surface va in contatto con identica target surface  
 Questi dati sono impiegati solo dai solutori non lineari CURAN e DYNCURAN

OK Cancel

Questo dialogo consente di definire:

- l'entità del gap da assegnare alle bielle o alle piastre selezionate. Il valore va espresso nelle unità di lunghezza corrente e deve essere un numero positivo.
- il coefficiente d'attrito statico da assegnare alle bielle o alle piastre selezionate. Il valore va espresso nelle unità correnti e deve essere un numero positivo.
- il coefficiente d'attrito dinamico da assegnare alle bielle o alle piastre selezionate. Il valore va espresso nelle unità correnti e deve essere un numero positivo. Viene usato solo dal solutore dinamico non lineare.

- rigidezza attrito: è la rigidezza tangenziale nella fase in cui l'attrito blocca. E' usata solo dai solutori non lineari. Se pari a 0, viene usato un moltiplicatore della rigidezza normale.
- l'entità della penalty per gli elementi piastra selezionati e che siano definiti come *target*. Il valore va espresso come forza per unità di lunghezza usando le unità di misura attive, e deve essere un numero positivo.
- il numero di superficie di tipo *contact* da assegnare alle piastre selezionate;
- il numero di superficie di tipo *target* da assegnare alle piastre selezionate.
- lo smorzamento viscoso C (forza divisa per velocità, nelle unità attive). E' usata solo dal solutore dinamico non lineare.

La analisi modale non tiene conto di tale smorzamento viscoso, in quanto esso comporta la non disaccoppiabilità del moto. Solo il solutore dinamico non lineare DYNCURAN lo usa.

Vediamo ora il significato dei vari parametri.

### Bielle

Le bielle con gap reagiscono solo dopo uno aver subito un accorciamento o un allungamento pari al gap. Se la variazione di lunghezza di una biella con gap è inferiore al gap stesso, l'azione assiale nell'elemento sarà nulla.

Una biella con attrito, quando soggetta a compressione, fornisce una rigidezza *laterale*  $K_f$ . Quando la forza di compressione supera un valore limite, la biella non offre più resistenza laterale in quanto si verifica uno slittamento. Il valore limite è una frazione della forza di compressione applicata, stabilita dall'utente tramite il parametro relativo al coefficiente d'attrito statico. Se si pone tale parametro pari, ad esempio, a 0.2, la biella offre una resistenza laterale per valori di forza laterale  $N_t$  inclusi nel range

$$0 < |N_t| < 0.2|N_n|$$

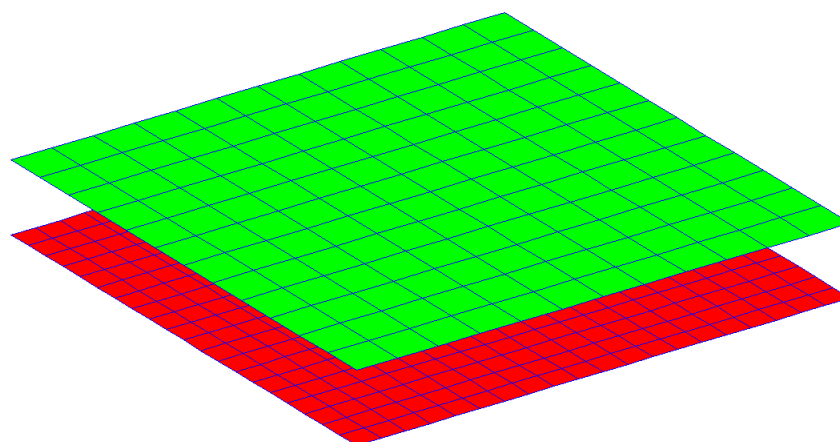
con  $N_n$  azione normale che naturalmente ha segno negativo, trattandosi di una compressione.

### Piastre

Il discorso per le piastre è più complesso. Per una spiegazione dettagliata delle problematiche relative al contatto tra le piastre si rimanda a [Come eseguire analisi nonlineari con Curan](#)<sup>213</sup>.

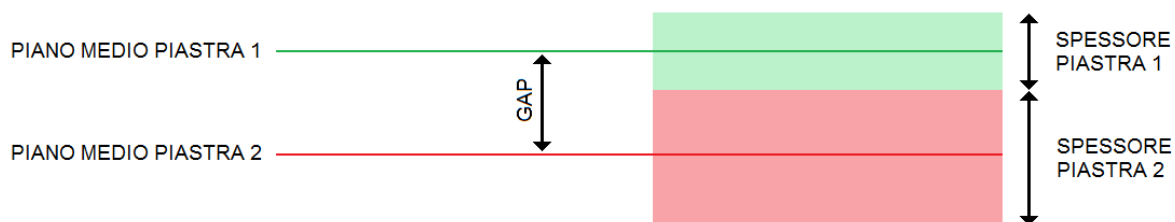
L'esempio seguente serve a chiarire cosa si intende per superficie contact, per superficie target e per gap nel caso di piastre.

Supponiamo di voler considerare il contatto tra le due flange mostrate in figura. Le due flange possono avere passi di mesh diversi (come nell'esempio); inoltre, possono anche avere dimensioni totali diverse (in questo caso sono uguali). Inoltre, l'esempio qui proposto ha solo elementi a 4 nodi di forma quadrata, ma il discorso vale anche per elementi a 3 nodi e per elementi a 4 nodi non esattamente quadrati o rettangolari. In pratica, non è necessario che vi sia diretta corrispondenza tra nodi ed elementi delle due superfici, in quanto il programma è in grado di ricostruire automaticamente il contatto, come spiegato alla voce sopra citata.



Sargon® - by Castalia srl - www.castaliaweb.com - ver. 11.40.2-2014 - sn100101

Le due flange saranno le nostre superfici in contatto. Naturalmente, essendo gli elementi piastra bidimensionali, le due superfici avranno una distanza pari alla somma dei semispessori delle due piastre. Tale distanza è il **gap** (si veda l'immagine seguente).



$$\text{Gap} = ( \text{Sp. P1} + \text{Sp. P2} ) / 2$$

Agli elementi appartenenti alla superficie inferiore, che vogliamo sia la superficie "target", assegneremo un **valore target**, ad esempio "1".

Agli elementi appartenenti alla superficie superiore, che vogliamo sia la superficie "contact", assegneremo un **valore contact uguale al valore target precedente** (1).

Se nel modello vogliamo definire altre superfici di contatto, ad esempio tra altre due flange, assegneremo a una delle due il valore target "2" e all'altra il valore contact "2". E così via.

In questo modo potremo definire  $n$  coppie di superfici in contatto: per ogni coppia il valore target di una superficie sarà uguale al valore contact dell'altra. Tale valore sarà generalmente diverso da coppia a coppia, a meno di situazioni particolari.

Agli elementi target di ciascuna coppia assegneremo anche l'opportuno valore di **penalty** (descritta in [Come eseguire analisi nonlineari con Curan](#))<sup>[213]</sup>, la quale sostanzialmente è una rigidezza, intesa come forza per unità di lunghezza.

### 3.7.21 Nomi

#### 3.7.21.1 Modifica...

#### COMANDO: Mesh-Nomi-Modifica...

[Ribbon-Mesh]

**+  
nom**

Questo comando consente di assegnare, modificare o cancellare i nomi degli oggetti (nodi, travi, bielle, piastre, membrane, superelementi e molle) selezionati al momento della esecuzione del comando stesso.

Appena eseguito il comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>880</sup> che consente di specificare sia la modalità operativa del comando, sia i dati necessari alla esecuzione.

In pratica gli oggetti selezionati verranno ordinati dal programma secondo un criterio geometrico. Si può specificare una gerarchia nelle coordinate in modo da cambiare l'ordine degli oggetti. Gli oggetti ordinati secondo il criterio geometrico riceveranno un nome, costruito secondo la seguente regola:

NOME = PREFISSO+SUFFISSO

SUFFISSO = VALORE INIZIALE + POSIZIONE \* INCREMENTO

La POSIZIONE è determinata automaticamente ordinando l'insieme degli oggetti selezionati secondo il criterio richiesto. L'ordinamento viene eseguito in base alle coordinate del punto baricentrico di ciascun elemento o del punto corrispondente al nodo. Il criterio consiste nello specificare l'ordine di priorità delle variabili X, Y, Z con il quale ordinare gli oggetti. Se ad esempio si hanno gli oggetti, O1, O2, O3, O4 aventi le coordinate

O1(0., 0, 0.)

O2(100., 0., 0.)

O3(0., 100., 0.)

O4(0., 0., 100.)

Sulla base della priorità data alle coordinate X, Y, Z si avranno i seguenti ordinamenti:

CRITERIO	ORDINAMENTO
XYZ	O1,O4,O3,O2
XZY	O1,O4,O2,O3
YXZ	O1,O3,O4,O2
YZX	O1,O2,O4,O3
ZXY	O1,O3,O2,O4
ZYX	O1,O2,O3,O4

Il PREFISSO, il VALORE INIZIALE e l'INCREMENTO sono invece specificati dall'utente.

Si supponga ad esempio di aver selezionato le aste 11, 23, 44, 56, 78, e di aver specificato i seguenti valori:

PREFISSO = "CONTR"

VALORE INIZIALE = 10

INCREMENTO = 3

e si immagini che, a causa della loro posizione, le aste siano state ordinate come nel seguente elenco: 44, 56, 11, 23, 78. I nomi assegnati saranno i seguenti

Posizione	Numero	Nome assegnato
1	44	CONTR10
2	56	CONTR13
3	11	CONTR16
4	23	CONTR19
5	78	CONTR22

Questo comando consente dunque di dare un nome a molti oggetti per volta facendo in modo che tutti gli oggetti selezionati abbiano un nome differente tra loro. Il comando non controlla tuttavia che i nomi assegnati siano già presenti ed assegnati ad altri oggetti (non tra quelli selezionati). E' compito dell'utente impedire che ciò accada. Se si hanno oggetti a nome duplicato la corrispondenza nome-oggetto non sarà più biunivoca.

Per evitare che questo accada è sufficiente diversificare i prefissi nel corso delle varie operazioni di assegnazione, oppure tenere traccia dell'ultimo numero assegnato e usare corrispondentemente il "VALORE INIZIALE".

#### 3.7.21.1.1 Nome (Dialogo)

### NOME (DIALOGO)

Questo dialogo viene usato per attribuire, modificare o rimuovere il nome agli oggetti selezionati.

Per prima cosa si stabilisce la modalità del comando.

<b>Assegna</b>	Riassegna il nome agli oggetti selezionati
<b>Cambia prefisso</b>	Si limita a cambiare il prefisso ai nomi degli oggetti selezionati
<b>Cambia suffisso</b>	Si limita a cambiare il suffisso ai nomi degli oggetti selezionati
<b>Aggiungi al suffisso</b>	Aggiunge l'incremento specificato al suffisso dei nomi degli oggetti selezionati
<b>Elimina nome</b>	Elimina il nome degli oggetti selezionati

Se si è scelta la modalità **Assegna**, allora andrà specificato sia l'ordinamento che il prefisso ed il suffisso (valore iniziale ed incremento).

Se si è scelta la modalità **Cambia prefisso** sarà sufficiente specificare il prefisso.

Se si è scelta la modalità **Cambia suffisso** è necessario specificare il suffisso (valore iniziale ed incremento) e l'ordinamento.

Se si è scelta la modalità **Aggiungi al suffisso** è sufficiente specificare l'incremento.

Se si è scelta la modalità **Elimina nome** non è necessario specificare altro.

Il prefisso deve essere una stringa alfanumerica che non deve terminare con un numero. Nel suo complesso il nome (prefisso + suffisso) non deve essere più lungo di 20 caratteri, e quindi il prefisso non deve essere più lungo di 14, 16 caratteri.

Se la modalità operativa lo richiede è necessario specificare un ordinamento tra quelli proposti. L'ordinamento sarà eseguito automaticamente dal programma utilizzando la successione delle variabili specificata. Se ad esempio si sceglie "YZX", prima gli oggetti verranno ordinati sulla base della loro "Y", poi, se più oggetti hanno la stessa Y, sulla base

della "Z", infine, se anche la Z è eguale, sulla base della "X". Per maggiori dettagli ed un esempio si veda [Modifica Nome](#)<sup>[878]</sup>.

## 3.8 Menu Edit, Ribbon: File, Home, Pre

### 3.8.1 Annulla

**COMANDO:** Edit-Annulla

[Ribbon-Home]



Questo comando annulla l'effetto dell'ultimo comando introdotto. Sono possibili cinque diversi livelli di *annulla*. Il comando *annulla* non può essere impiegato se vi è un comando attivo. Tutti i comandi devono essere stati completati.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento.

### 3.8.2 Rifà

**COMANDO:** Edit-Rifà

[Ribbon-Home]



Questo comando riporta alla situazione precedentemente annullata. Sono possibili cinque livelli di *rifà*.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento.



### 3.8.3 Cancella [inattivo]

**COMANDO: Edit-Cancella**

Questo comando non é attivo

### 3.8.4 Copia

**COMANDO: Edit-Copia**

**[Ribbon-File]**



Questo comando copia negli appunti il contenuto della vista attiva, che potrà poi essere incollato in Word per Windows™, Write™, Paintbrush™ e, più in generale, in tutti i programmi capaci di importare l'oggetto Bitmap via clipboard.

**Tipo:** immediato

### 3.8.5 Cut [inattivo]

**COMANDO: Edit-Cut**

Questo comando non è attivo.

### 3.8.6 Proprietà

#### 3.8.6.1 Sezioni...

**COMANDO: Edit-Proprietà-Sezioni...**

[Ribbon-Pre]



Questo comando consente di accedere ad un archivio delle sezioni, di scegliere una sezione e di applicarla agli elementi selezionati.

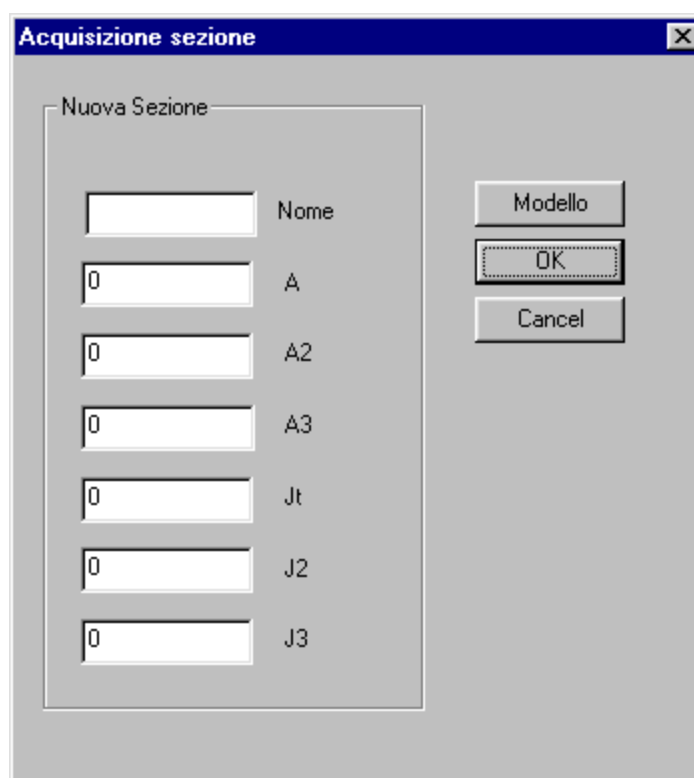
Appena eseguito il comando compare una finestra di dialogo ([Accesso archivio sezioni](#)<sup>886</sup>) che dà accesso ad un archivio di sezioni. Due sono gli archivi disponibili: l'archivio generale e l'archivio del modello. Una volta scelto l'archivio che si vuole scorrere, e fissati dei filtri che le sezioni debbono soddisfare, Sargon consente di scegliere una sezione e di applicarla agli elementi correntemente selezionati. Ciò viene fatto con il dialogo [Archivio sezioni](#)<sup>997</sup>.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

### **COMANDO: Edit-Proprietà-Sezioni... (POLISAR)**

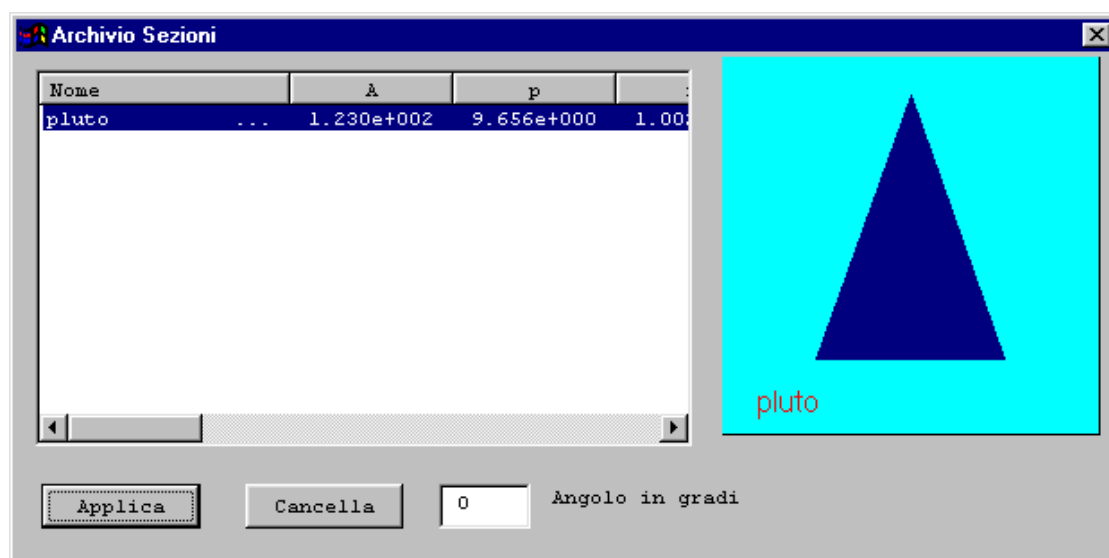
In POLISAR alla esecuzione di questo comando compare il dialogo seguente:



The dialog box titled "Acquisizione sezione" contains a group box "Nuova Sezione". Inside this group box, there are seven input fields, each followed by a label: "Nome", "A", "A2", "A3", "Jt", "J2", and "J3". Each of these input fields contains the value "0". To the right of the group box, there are three buttons: "Modello", "OK", and "Cancel".

Se la sezione da assegnare non è già stata precedentemente assegnata allora occorre fornire il nome e tutte le caratteristiche usando le unità di misura correnti al momento della esecuzione del comando.

Se invece la sezione è già stata assegnata, allora occorre premere il pulsante “Modello” e scegliere la sezione desiderata tra quelle disponibili. Ciò si fa mediante il dialogo seguente:



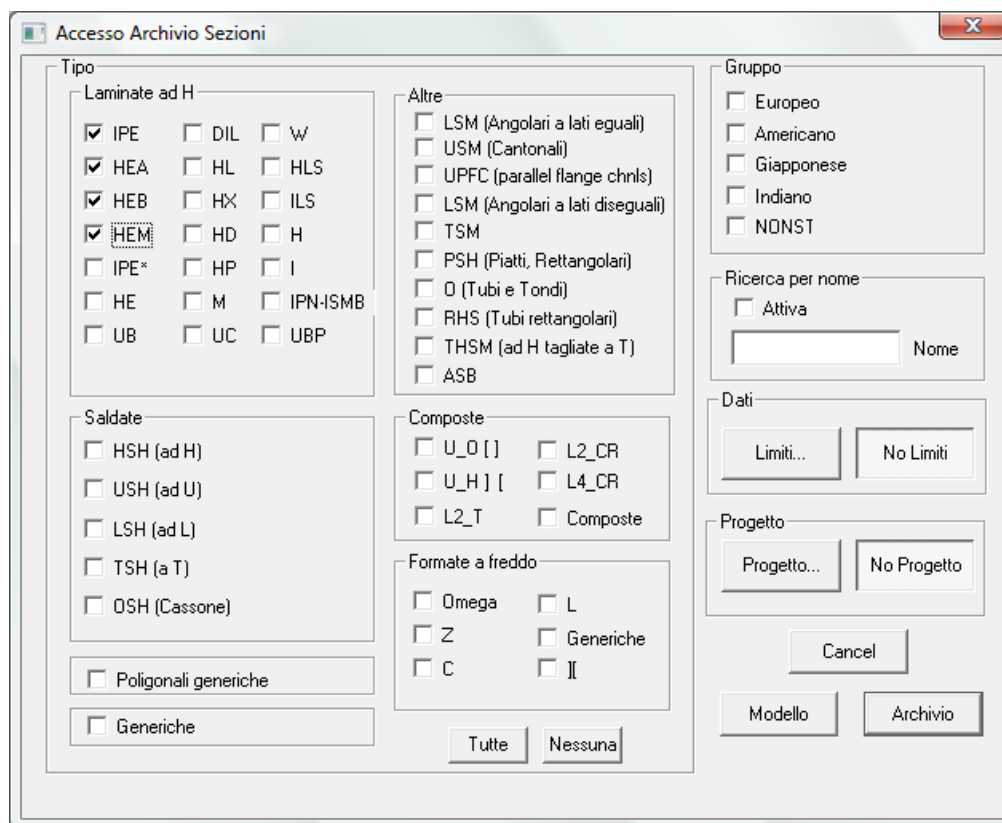
The dialog box titled "Archivio Sezioni" displays a table of existing sections. The table has four columns: "Nome", "A", "p", and an unlabeled column. The first row of data is "pluto", "...", "1.230e+002", "9.656e+000", and "1.00". To the right of the table is a preview window showing a blue triangle on a cyan background, with the word "pluto" in red text below it. At the bottom of the dialog, there are three buttons: "Applica", "Cancella", and a text input field containing "0" followed by the label "Angolo in gradi".

Nome	A	p	
pluto	...	1.230e+002	9.656e+000 1.00

In questo dialogo il simbolo della sezione è convenzionale (il triangolo blu). Se ci si clicca sopra si ha un dialogo che riepiloga le caratteristiche sezionali nelle unità di misura correnti.

#### 3.8.6.1.1 Accesso archivio sezioni (Dialogo)

### ACCESSO ARCHIVIO SEZIONI (DIALOGO)



Questo dialogo consente di stabilire dei filtri per estrarre un sottoinsieme di sezioni dall'archivio. Stabiliti i filtri, SAMBA (o Sargon o Cesco Plus) estrae dall'archivio solo le sezioni che soddisfano i filtri stessi.

Questo dialogo include delle caselle di spunta e dei bottoni. Le caselle di spunta sono organizzate in tre categorie: categoria di tipo, di gruppo, e ricerca per nome.

**Gruppo:** sono elencati i tre possibili filtri di gruppo: europeo, americano e nonstandard.

**Tipo:** contiene cinque riquadri: **Lamine ad H**, **Saldate**, **Altre**, **Composte**, **Generiche**.

Laminate ad H: raggruppa le sezioni di tipo laminato ad H (HEA, HEB, HEM, IPE, HE, ILS, ecc).

Saldate: raggruppa le sezioni saldate ad H (HSH), ad U (USH), ad L (LSH), a T (TSH) ed a cassone (OSH). Si intende che sono anche incluse le sezioni in calcestruzzo con la medesima forma, anche se non "saldate".

Altre: raggruppa i cantonali (UPN o UNP), gli angolari a lati eguali o diseguali (LSM) le sezioni a T (TSM) o (THSM) i piatti (PSH) le sezioni rettangolari (PSH) i tubi (O) e i tondi (O).

Composte: raggruppa le sezioni composte. L2\_T sono di angolari composti per formare una T. L2\_CR sono due angolari composti per formare una croce. L4\_CR sono quattro angolari composti per formare una croce. Le composte generiche sono sezioni ottenute riunendo arbitrariamente un certo numero di sezioni elementari o composte.

Formate a freddo: raggruppa le sezioni a C, ad L, a Z, ad  $\Omega$  e quelle del tutto generiche.

Generiche: raggruppa le sezioni individuate solo dai momenti di inerzia e dalla area.

I bottoni **Tutte** e **Nessuna** servono a selezionare e deselezionare tutte le caselle dei tipi suddetti.

**Ricerca per nome**: è elencata una casella di spunta denominata **Attiva**, e una casella di testo denominata **Nome**. Se la casella di spunta è attiva la stringa di caratteri indicata in **Nome** verrà usata come filtro sulle sezioni. Nella stringa di caratteri sono ammessi i ";" per separare criteri diversi, ed il carattere "\*" come carattere significante "qualsiasi carattere, uno o molti". Le seguenti sono possibili stringhe di ricerca:

PLT*	tutti i nomi che cominciano con PLT
PLT*; HE*100*	tutti i nomi che cominciano con PLT e tutti i profili HE*100*
*PLT	tutti i nomi che finiscono con PLT

Usando il filtro basato sul nome è possibile estrarre profili di categorie non previste dal filtro sul tipo. Se si sono aggiunti profili denominati PIPPO 100, PIPPO 120, e così via, non essendo disponibile il filtro di tipo "PIPPO", si può dare una stringa di ricerca del tipo "PIPPO\*".

Verranno selezionate solo le sezioni che soddisfano almeno uno dei criteri di tipo e almeno uno dei criteri di gruppo e il criterio di ricerca per nome. Se non viene specificato alcun filtro di gruppo il gruppo non sarà preso in considerazione. Se non viene specificato alcun filtro di tipo, il tipo non sarà preso in considerazione. Se la casella Attiva del filtro di ricerca per nome non è attivata il filtro per nome non sarà preso in considerazione. Se nessun filtro viene preso in considerazione saranno solo gli altri filtri a decidere (se specificati). Se anche gli altri filtri sono assenti verranno estratte tutte le sezioni dell'archivio (sconsigliato).

Oltre alle caselle di spunta il dialogo presenta anche alcuni pulsanti.

Il pulsante **Limiti** fa scegliere altri filtri, i filtri sulle quantità numeriche delle sezioni, in un opportuno ulteriore dialogo ([Filtri sulle quantità](#)<sup>[890]</sup>). Questi filtri si aggiungono a quelli precedenti.

Il pulsante **No Limiti** elimina tutti i filtri basati sulle quantità.

Il pulsante **Progetto** fa scegliere altri filtri, i filtri basati su criteri di progetto, in un opportuno ulteriore dialogo ([Scelta di un criterio di progetto](#)<sup>[891]</sup>). Questi filtri si aggiungono a quelli precedenti.

Il pulsante **No Progetto** elimina tutti i filtri basati su criteri di progetto.

Il pulsante **Modello** è attivo solo in combinazione con il programma Sargon, e fa scorrere le sezioni attribuite sino a quel momento alle aste del modello in esame.

Ricapitolando esistono filtri sul **gruppo**, sul **tipo**, sul **nome**, sulle **quantità** e sui **criteri di progetto**.

Se una sezione soddisfa **almeno uno** dei criteri di gruppo attivati soddisfa il filtro di gruppo.

Se una sezione soddisfa **almeno uno** dei criteri di tipo attivati essa soddisfa il filtro sul tipo.

Se una sezione soddisfa il criterio di ricerca per nome (se attivato) essa soddisfa il filtro sul nome. Se il filtro non è attivato ogni sezione lo soddisfa.

Se una sezione soddisfa **tutti** i criteri sulle quantità specificati essa soddisfa il filtro sulle quantità.

Se una sezione soddisfa **tutti** i criteri di progetto specificati essa soddisfa i filtri di progetto.

I filtri sono additivi (se ne può specificare più d'uno): **i profili estratti sono i profili che soddisfano tutti i filtri (di tipo, di gruppo, di nome, di quantità e di progetto) specificati in questo dialogo e nei dialoghi [Filtri sulle quantità](#)<sup>890</sup> e [Scelta di un criterio di progetto](#)<sup>891</sup>, nessuno escluso.**

**Se non viene specificato alcun filtro viene estratto l'intero archivio (scelta sconsigliata per il tempo e l'occupazione di RAM).**

### Esempi:

Per estrarre solo **tutte** le sezioni IPE ed HEA, fare la spunta su IPE ed HEA in modo da attivare il filtro. Eliminare la spunta da tutte le altre caselle. Premere il pulsante **No Limiti** ed il pulsante **No Progetto** per assicurarsi che non vi siano altri filtri. Premere **Archivio**.

Per estrarre solo le sezioni IPE con area maggiore a 1000 mmq. Attivare solo la spunta su IPE, premere il pulsante **Limiti**, attivare la spunta su **Area**, specificare come valore minimo 1000 (si immagina che l'unità di lunghezza attiva sia il mm) e come valore massimo un numero molto grande. Premere OK e tornare a questo dialogo, premere **Archivio**.

Per estrarre i profili saldati ad I denominati HSU....., attivare solo la spunta su HSH, attivare il filtro sul nome e specificare la stringa inclusa tra le virgolette: "HSU\*".

Per estrarre i profili saldati ad I denominati HSU....., ed i profili saldati ad I denominati HSD.... attivare solo la spunta su HSH, attivare il filtro sul nome e specificare la stringa inclusa tra le virgolette: "HSU\*;HSD\*".

Si ha da progettare una trave appoggio appoggio di 4 metri di luce con un carico in mezzera pari a 20t. Il progetto richiede una freccia inferiore a 1/500 della luce ed una tensione dovuta alla flessione inferiore a 1600 Kg/cmq. Si vuole un profilo HEA, HEB o HEM.

In questo caso occorre attivare i filtri sul tipo HEA, HEB, HEM eppoi scegliere **Progetto**. In quel dialogo occorre selezionare lo schema strutturale con la trave appoggio-appoggio ed il carico in mezzera, specificare la luce ed il carico, nelle unità di misura correntemente in uso, eppoi attivare il criterio sulla freccia, specificando per k il valore 500 e per m il valore della tensione limite. Poi si preme il pulsante **Archivio**.

#### 3.8.6.1.1.1 Filtri sulle quantità (Dialogo)

### FILTRI SULLA QUANTITÀ (DIALOGO)

	Attivo	Min	Max
Snellezza	<input type="checkbox"/>	0	0
Peso	<input type="checkbox"/>	0	0
i2	<input type="checkbox"/>	0	0
i3	<input type="checkbox"/>	0	0
Area	<input type="checkbox"/>	0	0
Jmax	<input type="checkbox"/>	0	0
Jmin	<input type="checkbox"/>	0	0

	Attivo	Min	Max
Wmax	<input type="checkbox"/>	0	0
Wmin	<input type="checkbox"/>	0	0
WplMax	<input type="checkbox"/>	0	0
WplMin	<input type="checkbox"/>	0	0
Jt	<input type="checkbox"/>	0	0
it	<input type="checkbox"/>	0	0
Cm	<input type="checkbox"/>	0	0

OK Cancel

Questo dialogo consente di stabilire dei filtri numerici sulle sezioni di un archivio. Per ogni quantità descritta nel dialogo (**Snellezza**, **Peso**, ecc.) è possibile stabilire il valore massimo e quello minimo (nell'unità di misura attiva). Per attivare il corrispondente filtro è poi necessario fare una spunta sulla corrispondente casella della colonna **attivo**. La spunta indica che il filtro è attivo.



Si accede a questo dialogo dal pulsante **Limiti** del dialogo [Accesso Archivio sezioni](#) .

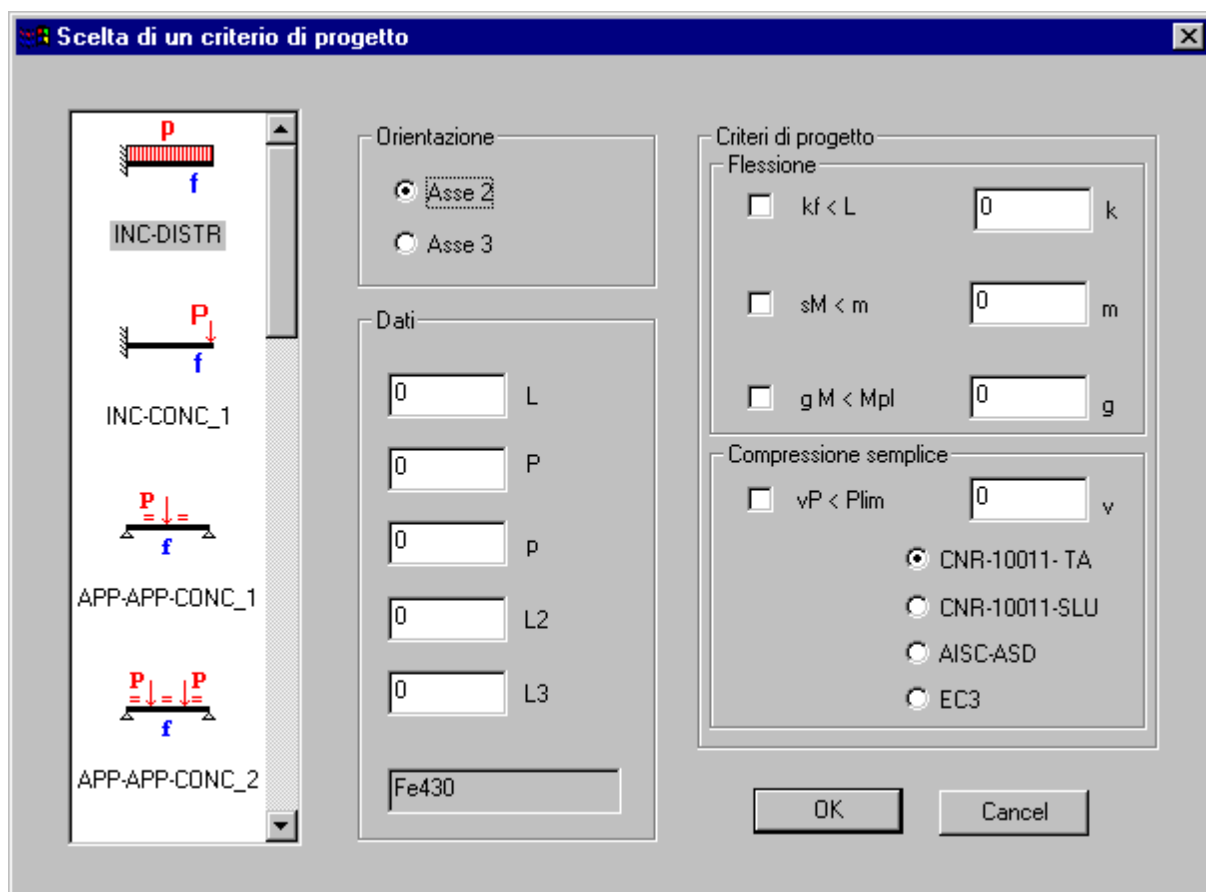
Il significato dei simboli è ovunque chiaro ad eccezione di **Cm** (costante di ingobbamento), **Jt** (momento di inerzia torsionale), **it** (raggio di inerzia torsionale).

**Se un filtro viene attivato allora le sezioni estratte dall'archivio dovranno necessariamente soddisfarlo.** I valori numerici vengono interpretati sulla base delle unità di misura attive al momento della esecuzione del comando.

Il filtro sulla snellezza ed il filtro sul peso presuppongono che sia nota la lunghezza dell'elemento (o degli elementi) a cui la sezione va applicata. L'uso di questi due filtri è riservato al funzionamento del dialogo nell'ambito del codice Sargon. Nell'uso di SAMBA questi due filtri non devono essere attivati.

#### 3.8.6.1.1.2 Scelta di un criterio di progetto (Dialogo)

### SCELTA DI UN CRITERIO DI PROGETTO (DIALOGO)



Questo dialogo consente di stabilire un certo numero di criteri di progetto da applicarsi ad uno schema strutturale.

Per prima cosa si sceglie lo schema strutturale appropriato per la trave o la colonna che si intende progettare. Gli schemi disponibili sono chiaramente evidenziati scorrendo il controllo di sinistra. La scelta di uno schema si fa selezionandolo (facendovi clic sopra). Tra gli schemi disponibili vi è anche la trave con molle agli estremi e distribuzione di momento tale per cui il momento in campata è pari a  $pL^2/10$ , mentre il momento agli appoggi è pari a  $pL^2/40$ . Questa distribuzione intermedia tra appoggio e incastro può servire a sposare il caso dei telai, ove il nodo è elasticamente vincolato al resto della struttura (naturalmente la distribuzione “esatta” di momento dipende dal reale valore della costante della molla: la distribuzione qui proposta è una media spesso usata nella pratica tecnica).

Ciò fatto si completano i dati relativi alla lunghezza (**L** oppure **L2** ed **L3**) ed al carico. Se lo schema strutturale prevede un carico distribuito occorre specificare il carico **p**, se lo

schema strutturale prevede uno o più carichi concentrati o un carico assiale occorre specificare il carico **P**. Sia la luce che i carichi **p** e **P** vengono interpretati sulla base delle unità di misura attive. Il carico **P** è una forza, il carico **p** è una forza per unità di lunghezza.

Per lo schema relativo alla compressione occorre fornire non già **L**, bensì **L2** ed **L3**, ovvero le due lunghezze di libera inflessione relative agli assi principali 2 e 3. Se lo schema scelto è quello relativo alla compressione la lunghezza **L** viene ignorata. Se invece lo schema è uno qualsiasi degli altri vengono ignorate **L2** ed **L3**.

**Perchè i criteri di progetto possano essere validamente impiegati è necessario che un materiale sia stato precedentemente selezionato. Se il materiale non è stato selezionato non è possibile uscire dal dialogo senza prima aver inattivato tutti i criteri di progetto.**

Nell'uso con SAMBA il materiale selezionato è quello selezionato nel riquadro dei materiali estratti.

Nell'uso con SARGON il materiale selezionato è quello comune a tutti gli elementi (travi e bielle) selezionati all'atto della esecuzione del comando **Sezioni**. Se i profili selezionati non hanno materiale attribuito o hanno materiali diversi nessun materiale sarà selezionato.

Il nome del materiale correntemente selezionato appare nella casella al di sotto dei dati relativi alla luce ed ai carichi. Se tale casella appare vuota nessun materiale è correntemente selezionato.

### Colonne

Se lo schema strutturale è quello di una colonna si deve scegliere il criterio relativo al carico di punta  $vP < Plim$ , specificando la norma usata per valutare la curva di stabilità ed il coefficiente di sicurezza  $v$  ( $v=1.2$  indica un coefficiente di sicurezza pari a 1.2). Se si sceglie una colonna tutti gli altri criteri devono essere inattivati.

**Il valore di  $Plim$  (carico limite) viene calcolato impiegando le curve di stabilità previste da ciascuna normativa.**

Le norme disponibili sono le CNR10011-88 alle tensioni ammissibili (TA) o agli stati limite ultimi (SLU); le norme AISC-89 alle tensioni ammissibili (ASD); l'eurocodice 3.

Nel calcolo si fa uso delle formule previste da ciascuna normativa, in modo da verificare il soddisfacimento del criterio di progetto. **Nell'esame della situazione a stabilità**

viene sempre presa in considerazione la snellezza massima, calcolata grazie alle lunghezze di libera inflessione fornite, a prescindere dall'asse (2 o 3) specificato.

#### **Travi**

Se lo schema strutturale è quello di una trave (variamente vincolata e caricata), allora si possono specificare i seguenti criteri di progetto:

$$kf < L$$

La freccia deve essere minore di  $L/k$ , ove  $k$  è un numero di progetto stabilito dall'utente. Il valore della freccia preso in considerazione è sempre il valore della freccia massima, coerentemente con lo schema (di carico e di vincolo) prescelto. Il modulo elastico è quello del materiale selezionato. Il momento di inerzia usato è quello dell'asse specificato (2 o 3).

$$sM < m$$

**La tensione normale massima dovuta alla flessione ( $sM$ ) deve essere inferiore al valore limite, specificato dall'utente,  $m$ . La tensione normale viene valutata sulla base della teoria di De Saint Venant immaginando la flessione retta, attorno all'asse specificato (asse 2 -forte- o asse 3). Il momento è quello massimo sulla trave, anche se continua.**

$$gM < Mpl$$

Il massimo momento letto sulla trave moltiplicato per il coefficiente di sicurezza  $g$  deve essere inferiore al momento limite plastico, valutato usando la tensione di snervamento  $f_y$  del materiale selezionato, ed il modulo di resistenza plastico dell'asse specificato (2 o 3).

Se lo schema scelto è quello di una trave i criteri di progetto relativi alle colonne devono essere inattivati.

#### 3.8.6.1.1.3 Tipologie sezionali

### **SEZIONI AD H (SALDATE O MENO) (DIALOGO)**

**Sezioni saldate ad H**

<input type="text" value="100"/> H	<input type="text" value="3750"/> A	<input type="text" value="28.867513"/> it
<input type="text" value="100"/> B	<input type="text" value="6135312.5"/> J2	<input type="text" value="119132.28"/> W2
<input type="text" value="150"/> C	<input type="text" value="4068750"/> J3	<input type="text" value="54250"/> W3
<input type="text" value="10"/> a	<input type="text" value="191666.67"/> Jt	<input type="text" value="145312.5"/> Wpl2
<input type="text" value="15"/> e	<input type="text" value="40.448528"/> i2	<input type="text" value="95625"/> Wpl3
<input type="text" value="10"/> i	<input type="text" value="32.939338"/> i3	<input type="text" value="680"/> U
<input type="text" value="48.5"/> ey		

Nessun Nome

Nome

OK    Aggiorna    Cancel

Questo dialogo consente sia di avere informazioni di dettaglio su una sezione ad H, sia di aggiungerla all'archivio, sia di studiarne le proprietà.

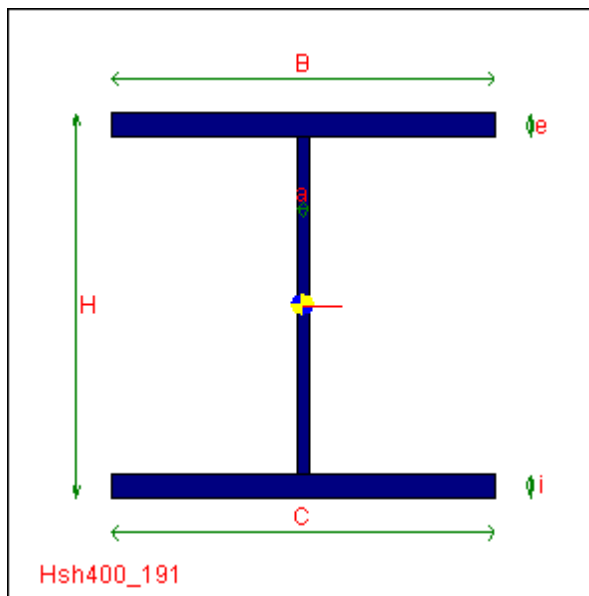
Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti).

Se il dialogo viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote e la distanza **ey** del baricentro dal bordo esterno inferiore della sezione.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri).

Per il significato dei simboli si vedano i [dettagli](#)<sup>896</sup>.

**SEZIONI AD H (DETTAGLI)**

Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

h	altezza totale
b	larghezza dell'ala superiore
c	larghezza dell'ala inferiore
a	spessore dell'anima
e	spessore dell'ala superiore
i	spessore dell'ala inferiore

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- \* tutte le quote devono essere maggiori di 0;
- \*  $h \geq e + i$
- \*  $b \geq a$
- \*  $c \geq a$

Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria).

## SEZIONI A U (SALDATE O MENO) (DIALOGO)

**Sezioni saldate a U**

H  
 B  
 a  
 e

Diagramma della sezione U con dimensioni: H (altezza), B (larghezza), a (spessore del flange), e (spessore del web).

3700	A	28.867513	it
5760833.5	J2	115216.66	w2
3655157.7	J3	62466.898	w3
248333.32	Jt	139750	wpl2
39.458610	i2	102416.66	wpl3
31.430566	i3	580	U

Nome:

Questo dialogo consente sia di avere informazioni di dettaglio su una sezione ad U, sia di aggiungerla all'archivio, sia di studiarne le proprietà.

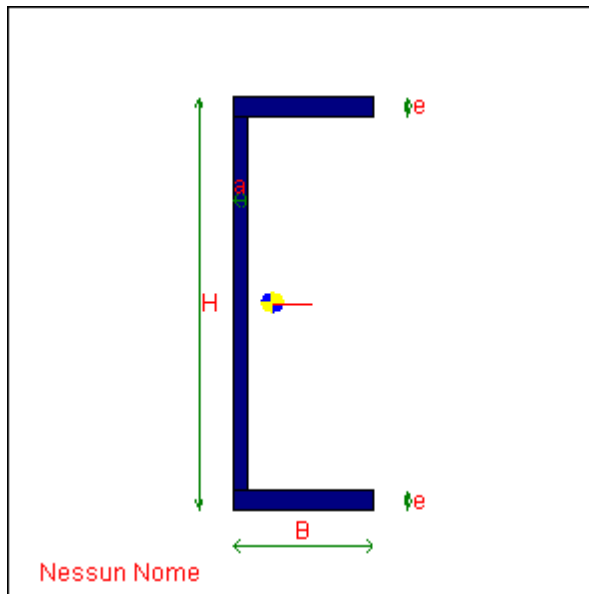
Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti).

Se il dialogo viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri).

Per il significato dei simboli si vedano i [dettagli](#) <sup>898</sup>.

**SEZIONI A U (DETTAGLI)**

Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

$h$	altezza totale
$b$	larghezza dell'ala
$a$	spessore dell'anima
$e$	spessore delle ali

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- \* tutte le quote devono essere maggiori di 0;
- \*  $h \geq 2e$
- \*  $b \geq a$

Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria).



## SEZIONI A T (SALDATE O MENO) (DIALOGO)

**Sezioni saldate a T**

H  
 B  
 a  
 e

Diagramma della sezione T con dimensioni: H (altezza totale), B (larghezza testa), a (distanza dal bordo inferiore), e (spessore flange).

2350	A	28.867513	it
1896278.8	J2	25482.517	w2
1257083.3	J3	25141.666	w3
140833.32	Jt	46318.75	wpl2
28.406463	i2	39625	wpl3
23.128534	i3	400	U

Nome:

Questo dialogo consente sia di avere informazioni di dettaglio su una sezione a T, sia di aggiungerla all'archivio, sia di studiarne le proprietà.

Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti).

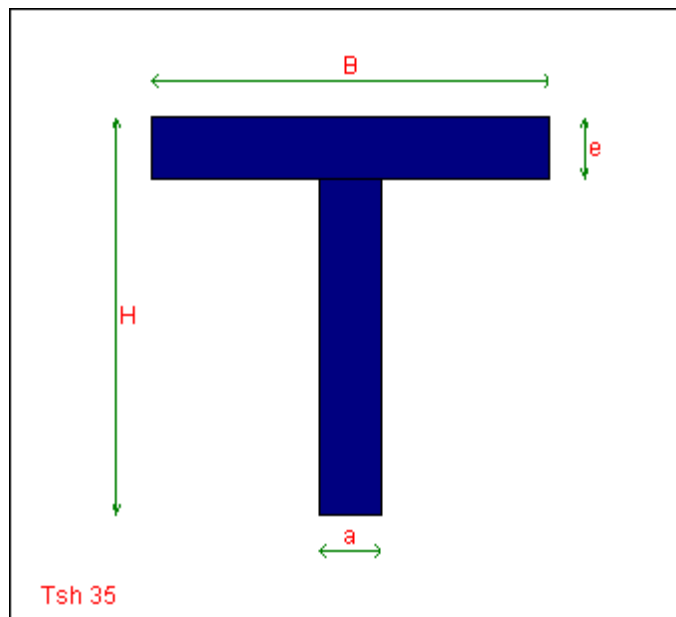
Se il dialogo viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote e la distanza **ey** dal bordo inferiore della sezione.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

Per il significato dei simboli si vedano i [dettagli](#)<sup>900</sup>.

## SEZIONI A T (DETTAGLI)



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

h	altezza totale
b	larghezza totale
a	spessore dell'anima
e	spessore dell' ala

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- \* tutte le quote devono essere maggiori di 0;
- \*  $b \geq a$
- \*  $h \geq e$

Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria).

## SEZIONI A L (SALDATE O MENO) (DIALOGO)

Input	Label	Value	Unit
100	H		
100	B		
10	a		
15	e		
2350	A		it
883841.93	J2		W2
3368190.5	J3		W3
140833.32	Jt		Wpl2
19.393373	i2		Wpl3
37.858585	i3		U

Nome: Nessun Nome

Buttons: OK, Aggiorna, Cancel

Questo dialogo consente sia di avere informazioni di dettaglio su una sezione a L, sia di aggiungerla all'archivio, sia di studiarne le proprietà.

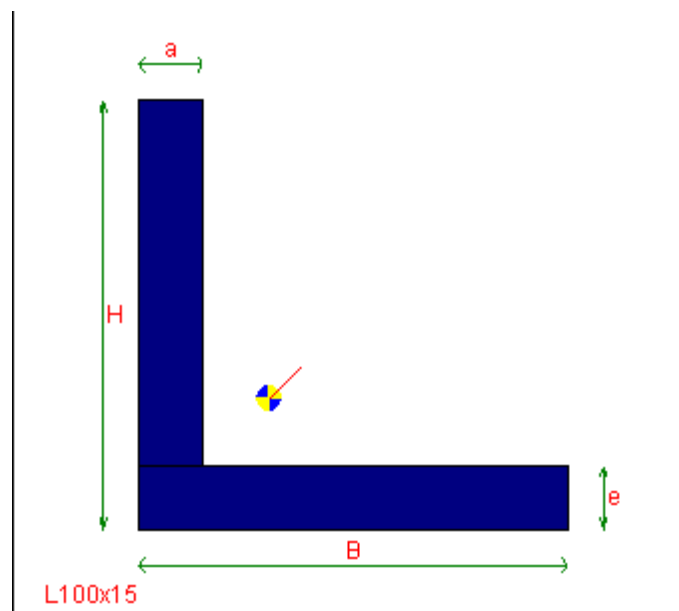
Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti).

Se il dialogo viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

Per il significato dei simboli si vedano i [dettagli](#)<sup>902</sup>.

**SEZIONI A L (DETTAGLI)**

Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

- h            altezza totale
- b            larghezza totale
- a            spessore del lato (piatto) verticale
- e            spessore del lato (piatto) orizzontale

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- \* tutte le quote devono essere maggiori di 0;
- \*  $h \geq e$
- \*  $b \geq a$

Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria).

## SEZIONI RETTANGOLARI - PIATTI (DIALOGO)

Property	Value	Property	Value
A	2000	it	0
J2	6666666.5	W2	66666.664
J3	16666.666	W3	3333.3332
Jt	62400.042	Wpl2	100000
i2	57.735027	Wpl3	5000
i3	2.8867514	U	420

Questo dialogo consente sia di avere informazioni di dettaglio su una sezione a rettangolare (o un piatto), sia di aggiungerla all'archivio, sia di studiarne le proprietà.

Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti).

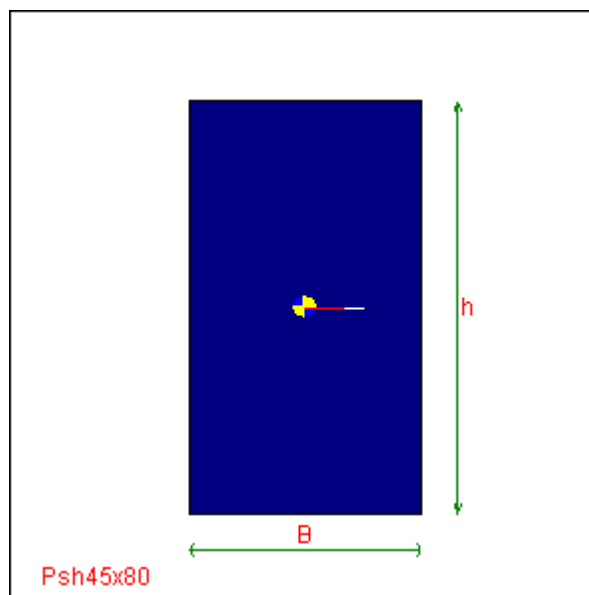
Se il dialogo viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

Per il significato dei simboli si vedano i [dettagli](#) <sup>903</sup>.

## SEZIONI RETTANGOLARI - PIATTI (DETTAGLI)



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

- h            altezza  
b            larghezza

\* tutte le quote devono essere maggiori di 0;

Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria). Esso è calcolato con formule che usano il rapporto  $h/b$ .

## SEZIONI A CASSONE (DIALOGO)

Input	Symbol	Value	Unit
4400	A	28.867513	it
6046666.5	J2	120933.33	W2
5346666.5	J3	106933.33	W3
8072069	Jt	152000	Wpl2
37.070774	i2	138000	Wpl3
34.859024	i3	400	U

Questo dialogo consente sia di avere informazioni di dettaglio su una sezione a cassone, sia di aggiungerla all'archivio, sia di studiarne le proprietà.

Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti).

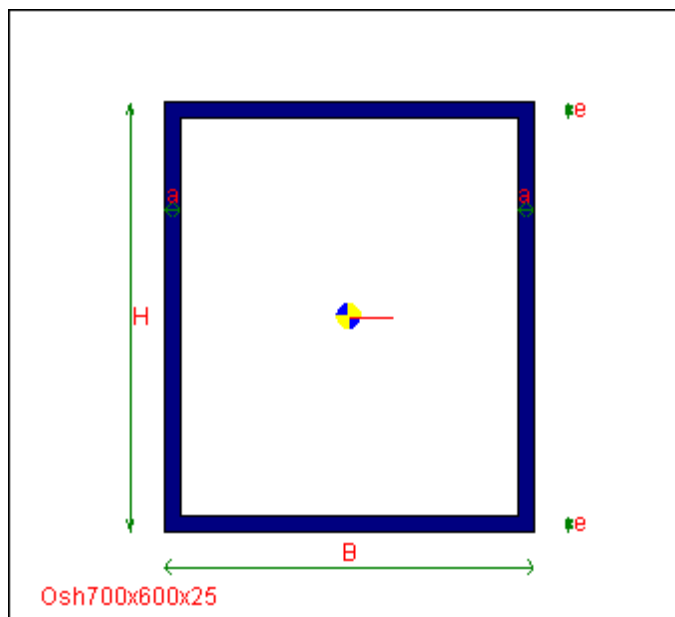
Se il dialogo viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

Per il significato dei simboli si vedano i [dettagli](#)<sup>905</sup>.

## SEZIONI A CASSONE (DETTAGLI)



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

- h            altezza totale
- b            larghezza totale
- a            spessore delle anime
- e            spessore dei piatti orizzontali

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- \* tutte le quote devono essere maggiori di 0;
- \*  $b \geq 2a$
- \*  $h \geq 2e$

Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria), ma è calcolato con la teoria di Bredt.

## SEZIONI RETTANGOLARI CAVE (LAMINATE) (DIALOGO)



Questo dialogo consente sia di avere informazioni di dettaglio su una sezione rettangolare cava a spigoli arrotondati, sia di aggiungerla all'archivio, sia di studiarne le proprietà.

Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti).

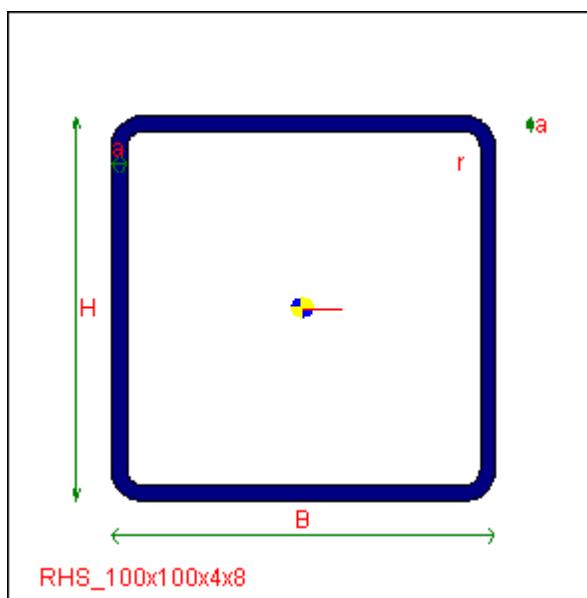
Se il dialogo viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

Per il significato dei simboli si vedano i [dettagli](#)<sup>907</sup>.

## SEZIONI LAMINATE RETTANGOLARI CAVE (RHS) (DETTAGLI)



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

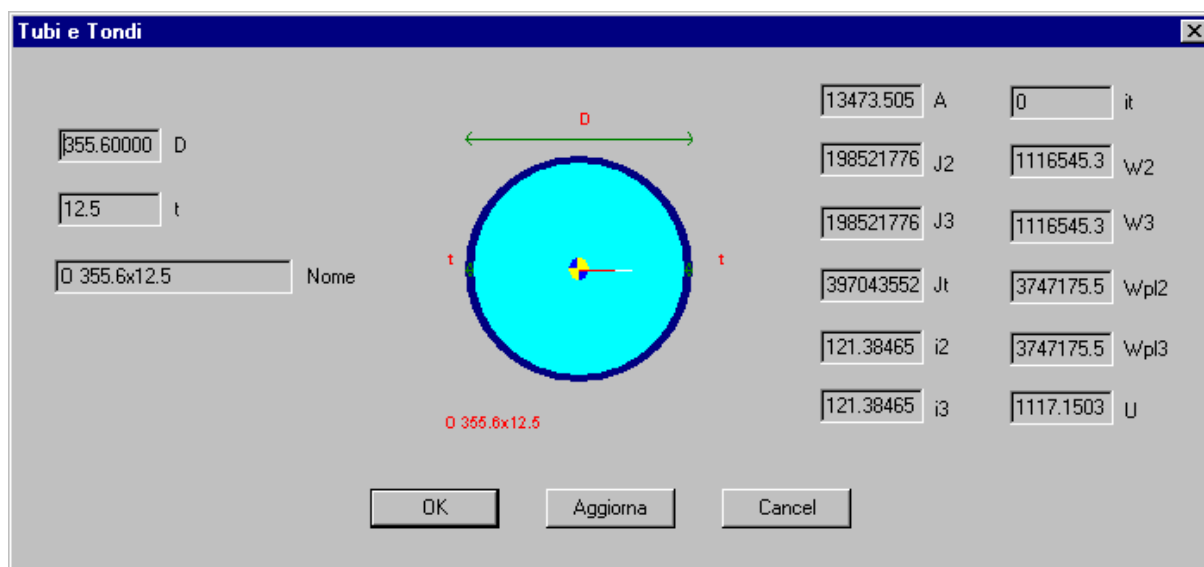
h	altezza totale
b	larghezza totale
a	spessore
r	raggio esterno di curvatura

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- \* tutte le quote devono essere maggiori di 0;
- \*  $r \geq a$
- \*  $h \geq 2r$
- \*  $b \geq 2r$

Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria), ma è calcolato con la teoria di Bredt.

## SEZIONI CIRCOLARI (PIENE O CAVE) (DIALOGO)



Questo dialogo consente sia di avere informazioni di dettaglio su una sezione circolare, sia di aggiungerla all'archivio, sia di studiarne le proprietà.

Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti).

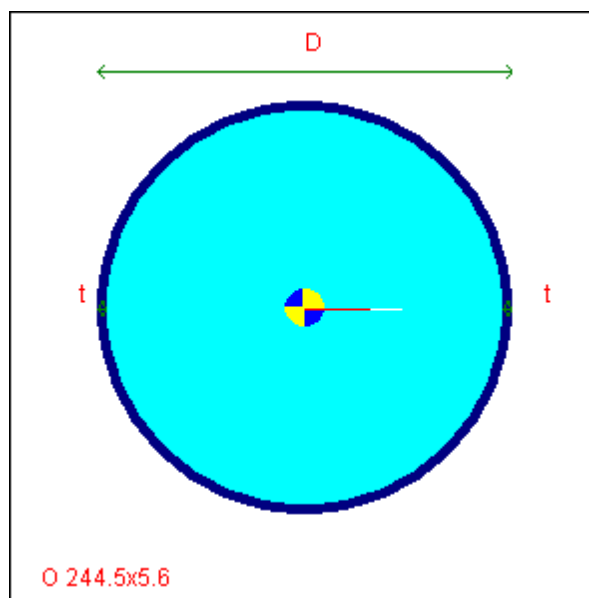
Se il dialogo viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

Per il significato dei simboli si vedano i [dettagli](#)<sup>909</sup>.

## TONDI PIENI - TUBI (DETTAGLI)



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

D                diametro esterno

t                spessore

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- \* tutte le quote devono essere maggiori di 0;
- \*  $D \geq 2t$

I tondi pieni sono ottenuti imponendo  $t=D/2$ .

## SEZIONI LAMINATE AD H (DIALOGO)

**Sezioni laminate ad H**

<input type="text" value="200"/> H		<input type="text" value="7893.1416"/> A	<input type="text" value="57.735027"/> it
<input type="text" value="200"/> B		<input type="text" value="56833296"/> J2	<input type="text" value="568332.93"/> W2
<input type="text" value="10"/> a		<input type="text" value="20029144"/> J3	<input type="text" value="200291.43"/> W3
<input type="text" value="15"/> e		<input type="text" value="506666.65"/> Jt	<input type="text" value="681230.06"/> Wpl2
<input type="text" value="15"/> r		<input type="text" value="84.854812"/> i2	<input type="text" value="305055.87"/> Wpl3
		<input type="text" value="50.373977"/> i3	<input type="text" value="1154.2478"/> U

Nessun Nome

Nome

OK Aggiorna Cancel

Questo dialogo consente sia di avere informazioni di dettaglio su una laminata ad H, sia di aggiungerla all'archivio, sia di studiarne le proprietà.

Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti).

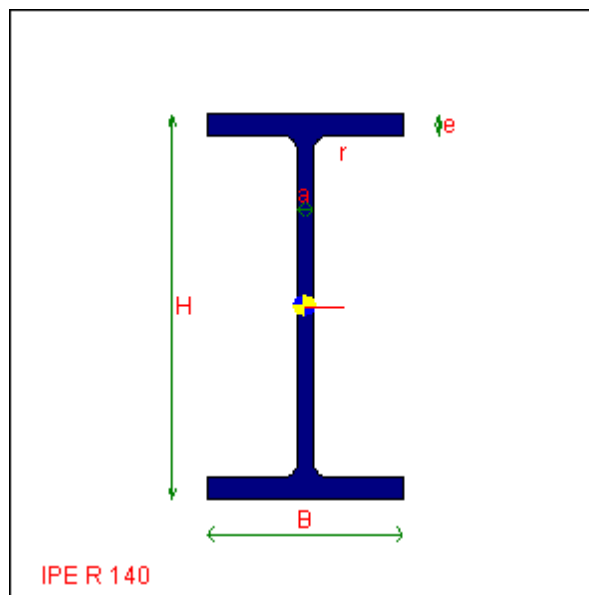
Se il dialogo viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

A partire dall'ottobre 2005 sono state aggiunte informazioni relativamente alle lunghezze limite per I link corti e intermedi in accordo a quanto specificato nell'Eurocodice 8.

Per il significato dei simboli si vedano i [dettagli](#)<sup>911</sup>.

**SEZIONI LAMINATE AD H (DETTAGLI)**

Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

$h$	altezza totale
$b$	larghezza dell'ala
$a$	spessore dell'anima
$e$	spessore delle ali
$r$	raggio di curvatura del raccordo

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- \* tutte le quote devono essere maggiori di 0;
- \*  $h \geq 2e + 2r$
- \*  $b \geq 2e + 2r$

Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria).

## SEZIONI LAMINATE A T ottenute per taglio di profili ad H laminati (DIALOGO)

**Sezioni laminate a T ricavate da taglio di sezioni ad H**

03051757E	H	669.09100	A	15.877132	it
55	B	501579.09	J2	8027.1508	w2
4.0999999	a	79807.218	J3	2902.0805	w3
5.6999998	e	5269.8559	Jt	14516.479	wpl2
7	r	27.379600	i2	4501.0727	wpl3
62.4853210449219	yg	10.921404	i3	236.79115	U
		2.5611140	X2	2.2432017	X3

TIPE 100

Nome OK Aggiorna Cancel

Questo dialogo consente sia di avere informazioni di dettaglio su una laminata a T ottenuta per taglio di sezioni ad H, sia di aggiungerla all'archivio, sia di studiarne le proprietà.

Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti).

Se il dialogo viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

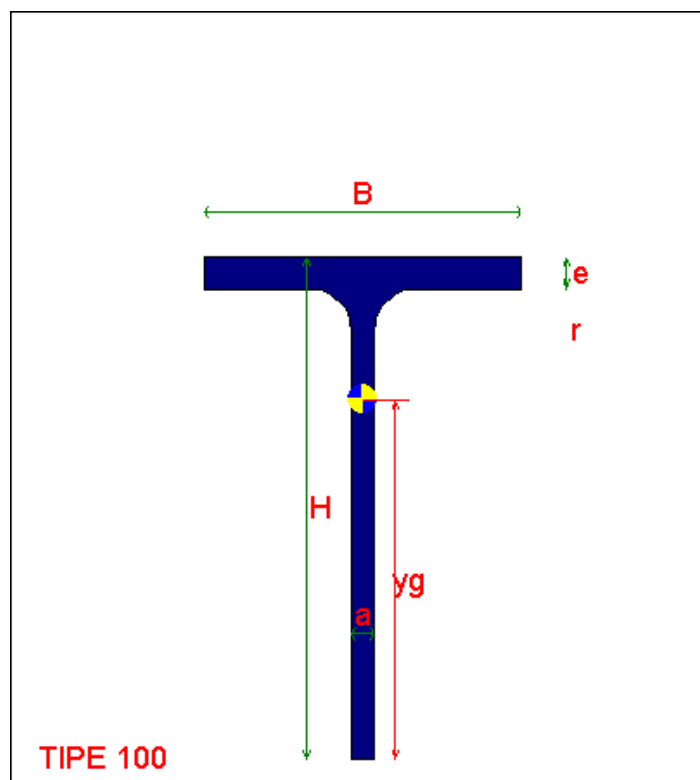
Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

**Nota bene:** i profili a T ottenuti dai corrispondenti profili ad H con altezza totale pari alla metà della altezza originaria sono presenti in archivio con la sigla TM seguita dal nome del profilo ad H. Ad esempio TMHE200B, è una sezione a T ottenuta dividendo a metà un profilo

HE200B. Se invece viene tolta solo l'ala inferiore ed i corrispondenti bulbi di raccordo, il profilo, già aggiunto, si chiama "Tsigla", dove "sigla" è la sigla del profilo ad H originario. Ad esempio il profilo THE200B.

Per il significato dei simboli si vedano i [dettagli](#)<sup>914</sup>.

### SEZIONI LAMINATE A T ottenute per taglio di sezioni ad H laminate (DETTAGLI)



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

h	altezza totale
b	larghezza dell'ala
a	spessore dell'anima
e	spessore delle ali
r	raggio di curvatura del raccordo



Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- \* tutte le quote devono essere maggiori di 0;
- \*  $h \geq e+r$
- \*  $b \geq 2e+2r$

Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria).

**Nota bene:** i profili a T ottenuti dai corrispondenti profili ad H con altezza totale pari alla metà della altezza originaria sono presenti in archivio con la sigla TM seguita dal nome del profilo ad H. Ad esempio TMHE200B, è una sezione a T ottenuta dividendo a metà un profilo HE200B. Se invece viene tolta solo l'ala inferiore ed i corrispondenti bulbi di raccordo, il profilo, già aggiunto, si chiama "Tsigla", dove "sigla" è la sigla del profilo ad H originario. Ad esempio il profilo THE200B. Se invece viene tolta l'ala inferiore e tutta l'anima il profilo si avvicina a un piatto ed è chiamato "Psigla", dove "sigla" è la sigla del profilo ad H originario. Ad esempio il profilo PHE200B.

## SEZIONI IPN (DIALOGO)

The screenshot shows a software window titled "IPN" with a close button in the top right corner. The window is divided into three main sections: input fields on the left, a central diagram of an IPN section, and calculated properties on the right.

**Input Fields (Left):**

- H: 80 (white background)
- B: 42 (white background)
- a: 3.9000000 (grey background)
- e: 5.9000000 (grey background)
- r: 3.9000000 (grey background)
- r1: 2.2999999 (grey background)
- Nome: IPN 80 (white background)

**Central Diagram:** A technical drawing of an IPN section. Dimensions are labeled: H (height), B (width), a (distance from top flange to web centerline), e (distance from web centerline to toe of flange), r (radius of fillet), and r1 (radius of toe). The text "IPN 80" is written below the diagram.

**Calculated Properties (Right):**

- A: 750 (white background)
- J2: 770000 (white background)
- J3: 62000 (white background)
- Jt: 8600 (white background)
- i2: 32 (white background)
- i3: 9.1000003 (white background)
- it: 12.124355 (white background)
- w2: 19500 (white background)
- w3: 3000 (white background)
- wpl2: 22800 (white background)
- wpl3: 4990 (white background)
- U: 300 (white background)

At the bottom right, there are three buttons: "OK", "Aggiorna", and "Cancel".

Questo dialogo consente di avere informazioni di dettaglio su una sezione IPN.

Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti, o perchè si è in modalità interroga).

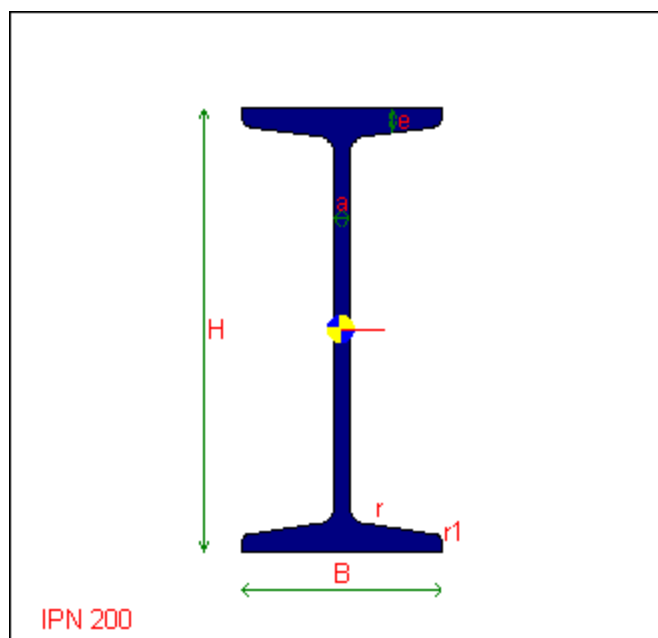
Se il dialogo viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

Per il significato dei simboli si vedano i [dettagli](#)<sup>[916]</sup>.

## SEZIONI LAMINATE A I (IPN) (DETTAGLI)



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

h	altezza totale
b	larghezza dell'ala
a	spessore dell'anima
e	spessore delle ali (a b/4 dagli estremi)
r	raggio ri curvatura del raccordo ala-anima
r1	raggio di curvatura del raccordo sull'ala

Si assume che la pendenza del lato interno dell'ala sia eguale al 14%.

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- \* tutte le quote devono essere maggiori di 0;
- \* l'altezza totale non può essere inferiore a quanto richiesto dalle ali (si omette la formula)
- \*  $b \geq a + 2r + r1$

Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria).

## SEZIONI LAMINATE A T (DIALOGO)

**Sezioni a T**

<input type="text" value="80"/> H	<input type="text" value="1360"/> A	<input type="text" value="0"/> it
<input type="text" value="80"/> B	<input type="text" value="749000"/> J2	<input type="text" value="12900"/> w2
<input type="text" value="9"/> a	<input type="text" value="36900"/> J3	<input type="text" value="9210"/> w3
<input type="text" value="9"/> e	<input type="text" value="0"/> Jt	<input type="text" value="0"/> wpl2
<input type="text" value="9"/> r	<input type="text" value="23.399999"/> i2	<input type="text" value="0"/> wpl3
<input type="text" value="4.5"/> r1	<input type="text" value="16.399999"/> i3	<input type="text" value="307"/> U
<input type="text" value="2"/> r2		
<input type="text" value="58"/> ey		

**Nome**

Questo dialogo consente di avere informazioni di dettaglio su una sezione laminata a T (lati rastremati).

Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti, o perchè si è in modalità interroga).

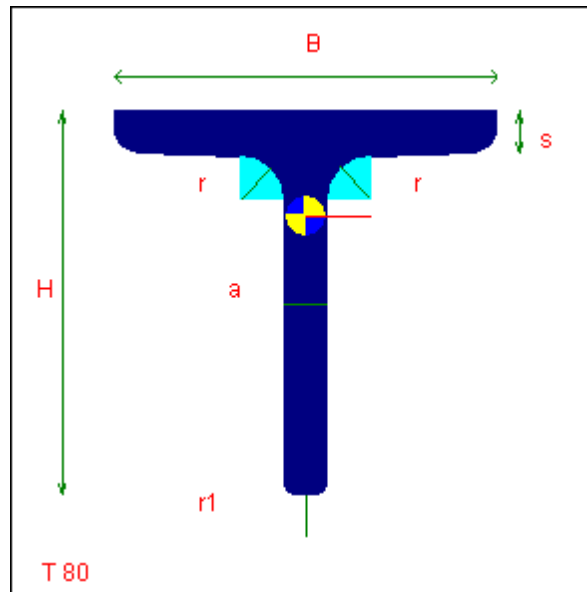
Se il dialogo viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

Per il significato dei simboli si vedano i [dettagli](#) <sup>919</sup>.

## SEZIONI LAMINATE A T (DETTAGLI)



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

h	altezza totale
b	larghezza dell'ala
a	spessore dell'anima ad $h/2$ dall'estremo dell'anima
e	spessore delle ali a $b/4$ dall'estremo delle ali
r	raggio di curvatura del raccordo ala-anima
r1	raggio di curvatura del raccordo sull'ala
r2	raggio di curvatura del raccordo sull'anima

La pendenza del lato interno dell'ala è del 2%. La pendenza dei lati dell'anima è del 2%.

- \* tutte le quote devono essere maggiori di 0;
- \* l'altezza totale non può essere inferiore a quanto richiesto dall' ala (si omette la formula)

- \* la larghezza totale non può essere inferiore a quanto richiesto dall' anima (si omette la formula)

Queste sezioni sono ormai poco usate, non è prevista la loro acquisizione.

## SEZIONI LAMINATE A L (DIALOGO)

**Angolari**

<input type="text" value="30"/> H	<input type="text" value="174"/> A	<input type="text" value="0"/> it
<input type="text" value="30"/> B	<input type="text" value="22300"/> J2	<input type="text" value="1050"/> w2
<input type="text" value="3"/> a	<input type="text" value="5800"/> J3	<input type="text" value="550"/> w3
<input type="text" value="5"/> r	<input type="text" value="513"/> Jt	<input type="text" value="0"/> wpl2
<input type="text" value="2.5"/> r1	<input type="text" value="11.300000"/> i2	<input type="text" value="0"/> wpl3
<input type="text" value="14000"/> Jx	<input type="text" value="5.7999997"/> i3	<input type="text" value="120"/> U
<input type="text" value="14000"/> Jy		
<input type="text" value="9"/> ix		
<input type="text" value="9"/> iy		
<input type="text" value="-8300"/> Jxy		
<input type="text" value="1"/> tan(angle)		

Nome

Questo dialogo consente sia di avere informazioni di dettaglio su una laminata ad L, sia di aggiungerla all'archivio, sia di studiarne le proprietà.

Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti).

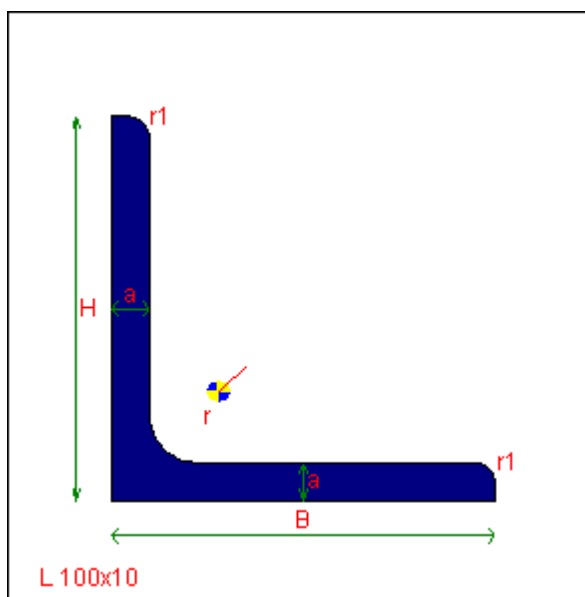
Se il dialogo viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

Per il significato dei simboli si vedano i [dettagli](#)<sup>921</sup>.

## SEZIONI LAMINATE A L (ANGOLARI) (DETTAGLI)



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

h	altezza totale
b	larghezza totale
a	spessore dei lati

r                    raggio di curvatura del raccordo tra i lati  
 r1                   raggio di curvatura agli estremi

Si assume che i bordi dei lati siano paralleli.

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- \* tutte le quote devono essere maggiori di 0;
- \*  $h \geq a + r + r1$
- \*  $b \geq a + r + r1$
- \*  $a > r1$

### SEZIONI LAMINATE A U (cantionali) (DIALOGO)

**Cantionali**

<input type="text" value="100"/>	H	<input type="text" value="1350"/>	A	<input type="text" value="14.433756"/>	it
<input type="text" value="50"/>	B	<input type="text" value="2060000"/>	J2	<input type="text" value="41200"/>	w2
<input type="text" value="6"/>	a	<input type="text" value="293000"/>	J3	<input type="text" value="8490"/>	w3
<input type="text" value="8.5"/>	e	<input type="text" value="28100"/>	Jt	<input type="text" value="2930"/>	wpl2
<input type="text" value="8.5"/>	r	<input type="text" value="39.100002"/>	i2	<input type="text" value="1550"/>	wpl3
<input type="text" value="4.5"/>	r1	<input type="text" value="14.700000"/>	i3	<input type="text" value="370"/>	U
<input type="text" value="15.5"/>	ex				

UPN 100    Nome           

Questo dialogo consente sia di avere informazioni di dettaglio su una laminata ad U, sia di aggiungerla all'archivio, sia di studiarne le proprietà.



Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti).

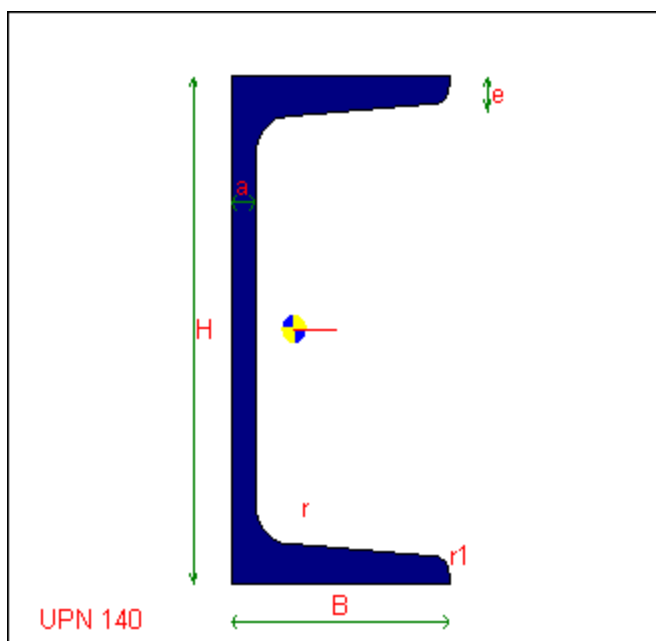
Se il dialogo viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

Per il significato dei simboli si vedano i [dettagli](#) .

## SEZIONI LAMINATE A U (DETTAGLI)



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

- |   |                    |
|---|--------------------|
| h | altezza totale     |
| b | larghezza dell'ala |

a	spessore dell'anima
e	spessore delle ali (a $b/2$ dall'estremo per $h \leq 300\text{mm}$ , a $(b-a)/2$ dall'estremo negli altri casi)
r	raggio di curvatura del raccordo ala-anima
r1	raggio di curvatura del raccordo sull'ala

Si assume che per  $h \leq 300\text{mm}$  la pendenza del lato interno dell'ala sia dell'8%. Per altezze superiori essa è del 5%.

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- \* tutte le quote devono essere maggiori di 0;
- \* l'altezza totale non può essere inferiore a quanto richiesto dalle ali
- \*  $b \geq a+r+r1$

Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria).

## **SEZIONI A C (formate a freddo) (DIALOGO)**

**Sezioni a U (formate a freddo)**

<input type="text" value="6"/> H	<input type="text" value="3.1369909"/> A	<input type="text" value="0"/> it
<input type="text" value="4"/> B	<input type="text" value="17.961575"/> J2	<input type="text" value="5.9871918"/> W2
<input type="text" value="1.5"/> D	<input type="text" value="7.2485960"/> J3	<input type="text" value="3.0670134"/> W3
<input type="text" value="0.2"/> t	<input type="text" value="0.0418265"/> Jt	<input type="text" value="7.0177275"/> Wpl2
<input type="text" value="0.2"/> r	<input type="text" value="2.3928504"/> i2	<input type="text" value="4.2872954"/> Wpl3
<input type="text" value="1.6365945"/> ex	<input type="text" value="1.5200935"/> i3	<input type="text" value="3.5424777"/> U
	<input type="text" value="1.9606193"/> X2	<input type="text" value="2.6141591"/> X3
	<input type="text" value="-2.0604645"/> x,CT	<input type="text" value="-6.3930994"/> y,CT
	<input type="text" value="73.213752"/> Iw	<input type="button" value="Dettagli..."/>

no name Nome

Questo dialogo consente sia di avere informazioni di dettaglio su una sezione a C (formata a freddo), sia di aggiungerla all'archivio, sia di studiarne le proprietà.

Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti).

Se il dialogo viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

La quota D può essere nulla, così come il raggio di curvatura r.

Per il significato dei simboli si veda la [descrizione](#)<sup>[927]</sup>.

Il bottone **EN1993-1-3** rimanda a un [dialogo](#)<sup>[948]</sup> in cui è possibile far calcolare al programma le caratteristiche efficaci del profilo.

Il bottone **Dettagli** dà accesso ad una finestra successiva in cui sono listate alcune importanti proprietà calcolate in accordo alla appendice C della EN-1993-1-3.

Il contenuto del dialogo successivo può essere copiato e incollato, di seguito si dà un esempio di tale file. La terminologia è identica a quella dell'appendice con la sola differenza che anziché usare gli assi (y, z) si usano gli assi (X, Y).

```
*****
*
*
*                      Cold Formed Section Computation Data
*
* Castalia srl - www.castaliaweb.com - Copyright (C)
*****
```

Section is computed according to EN1993-1-3:2006, Annex C  
Curved sides, if any, are divided into straight segments

Section: \*\*\*\*\*

```
N os:          11 - number of original sides
N ass:         11 - number of assumed straight sides
Area:          1.600e-003 - area      m^2

Sx0:           -1.401e-004      m^3 - first area moment (x,y)
Sy0:           2.704e-004      m^3 - first area moment (x,y)
Ix0:           1.608e-005      m^4 - second area moment (x,y)
Iy0:           6.508e-005      m^4 - second area moment (x,y)
Ixy0:          -2.368e-005      m^4 - mixed second area moment (x,y)

xg:            1.690e-001      m - gravity center x coordinate
yg:            -8.757e-002      m - gravity center y coordinate

Ix:            3.807e-006      m^4 - second area moment (xg, yg)
Iy:            1.938e-005      m^4 - second area moment (xg, yg)
Ixy:           -3.195e-013      m^4 - mixed second area moment (xg, yg)

Icsi:          1.938e-005      m^4 - second area moment (principal axes)
Ieta:          3.807e-006      m^4 - second area moment (principal axes)
alpha:         4.759e-306 (deg) - rotation angle of principal axes

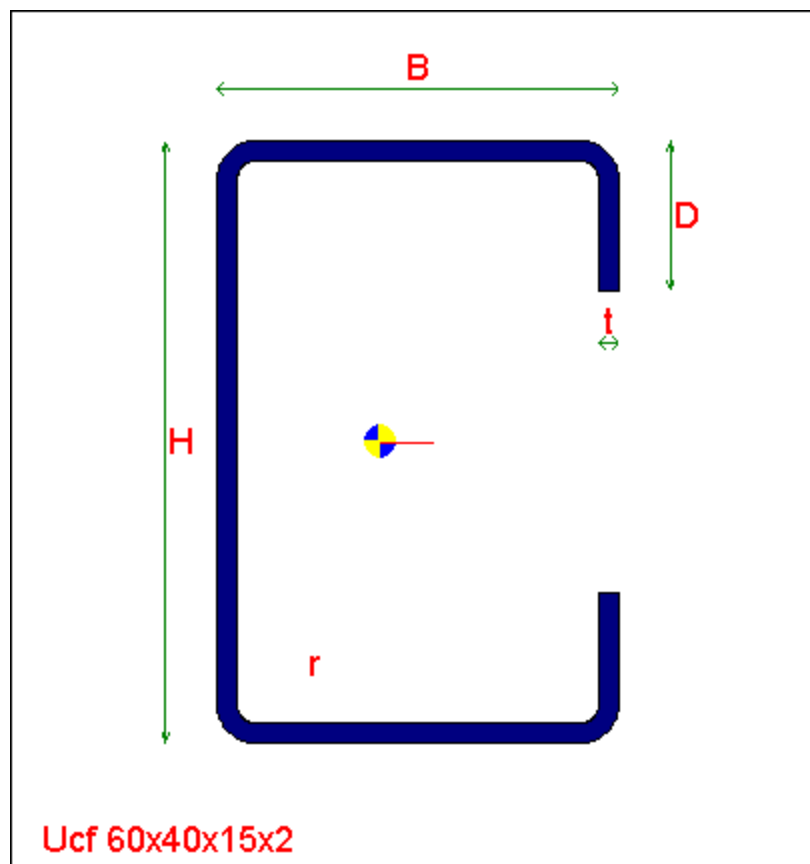
omega,mean:    1.952e-002      m^2 - omega mean
Ixom0:         8.987e-006      m^5 - sectorial constant
Iyom0:         -2.092e-006      m^5 - sectorial constant
Iomom0:        1.445e-009      m^6 - sectorial constant

Ixom:          3.708e-006      m^5 - sectorial constant (xg, yg)
Iyom:          6.433e-007      m^5 - sectorial constant (xg, yg)
Iomom:         8.353e-007      m^6 - sectorial constant (xg, yg)

Iw:            1.701e-008      m^6 - warping constant
It:            4.801e-009      m^4 - torsional constant
xct:           1.690e-001      m - shear center x coordinate
yct:           -1.914e-001      m - shear center y coordinate
xs:            1.038e-009      m - = xct - xg
ys:            -1.038e-001      m - = yct - yg
xj:            -1.882e-009      m - non symmetry factor
```

yj: -1.897e-001 m - non symmetry factor

### SEZIONI A C (formate a freddo) (DETTAGLI)



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

H	altezza totale (fuori tutto)
B	larghezza totale (fuori tutto)
D	lunghezza totale dell'irrigidimento
r	raggio di curvatura interno
t	spessore

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- \* tutte le quote devono essere maggiori di 0, fanno eccezione D che può essere nulla, dando luogo a un C senza irrigidimento, e r che può essere nullo;
- \*  $H > 2t + 2r$
- \*  $H > 2D$
- \*  $B > 2t + 2r$
- \*  $D \geq 0$
- \*  $R \geq 0$

Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria).

### SEZIONI A L (formate a freddo) (DIALOGO)

**Sezioni a L (formate a freddo)**

12	H	10.106193	A	0	it
7	B	189.20611	J2	25.377421	w2
2	D	32.2153	J3	7.8570712	w3
0.5	t	0.8421829	Jt	25.377421	wpl2
0.75	r	4.3268692	i2	7.8570712	wpl3
171.24965	Jx	1.7854072	i3	5.6415927	U
50.171765	Jy	0	X2	0	X3
4.1164329	ix	-0.1729535	x_CT	0.2659061	y_CT
2.2281061	iy	100.92440	Iw	Dettagli...	
-49.965643	Jxy	19.7672316939137	Angolo assi princ.		
		<input type="checkbox"/> Calcola w plastici			

OK   Aggiorna   Cancel   EN1993-1-3...

Questo dialogo consente sia di avere informazioni di dettaglio su una sezione ad L (formata a freddo), sia di aggiungerla all'archivio, sia di studiarne le proprietà.

Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti).

Se il dialogo viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

La quota D può essere nulla, così come il raggio di curvatura r.

Per il significato dei simboli si veda la [descrizione](#)<sup>930</sup>.

Il bottone **EN1993-1-3** rimanda a un [dialogo](#)<sup>948</sup> in cui è possibile far calcolare al programma le caratteristiche efficaci del profilo.

Il bottone **Dettagli** dà accesso ad una finestra successiva in cui sono listate alcune importanti proprietà calcolate in accordo alla appendice C della EN-1993-1-3.

Il contenuto del dialogo successivo può essere copiato e incollato, di seguito si dà un esempio di tale file. La terminologia è identica a quella dell'appendice con la sola differenza che anzichè usare gli assi (y, z) si usano gli assi (X, Y).

```
*****
*                                                                 *
*                                                                 *
*                               Cold Formed Section Computation Data   *
*                                                                 *
* Castalia srl - www.castaliaweb.com - Copyright (C)                  *
*****
```

```
Section is computed according to EN1993-1-3:2006, Annex C
Curved sides, if any, are divided into straight segments
```

```
Section: *****
```

```
N os:          11 - number of original sides
```

```
N ass:         11 - number of assumed straight sides
```

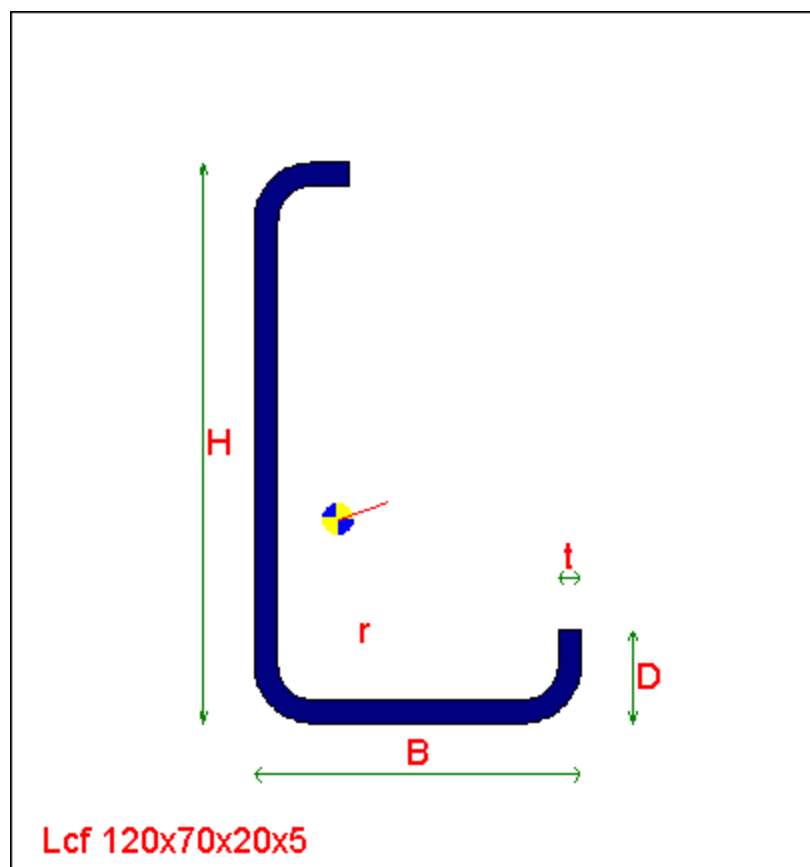
```
Area:          1.600e-003 - area      m^2
```

```
Sx0:           -1.401e-004      m^3 - first area moment (x,y)
```

Sy0:	2.704e-004	m <sup>3</sup> - first area moment (x,y)
Ix0:	1.608e-005	m <sup>4</sup> - second area moment (x,y)
Iy0:	6.508e-005	m <sup>4</sup> - second area moment (x,y)
Ixy0:	-2.368e-005	m <sup>4</sup> - mixed second area moment (x,y)
xg:	1.690e-001	m - gravity center x coordinate
yg:	-8.757e-002	m - gravity center y coordinate
Ix:	3.807e-006	m <sup>4</sup> - second area moment (xg, yg)
Iy:	1.938e-005	m <sup>4</sup> - second area moment (xg, yg)
Ixy:	-3.195e-013	m <sup>4</sup> - mixed second area moment (xg, yg)
Icsi:	1.938e-005	m <sup>4</sup> - second area moment (principal axes)
Ieta:	3.807e-006	m <sup>4</sup> - second area moment (principal axes)
alpha:	4.759e-306 (deg)	- rotation angle of principal axes
omega,mean:	1.952e-002	m <sup>2</sup> - omega mean
Ixom0:	8.987e-006	m <sup>5</sup> - sectorial constant
Iyom0:	-2.092e-006	m <sup>5</sup> - sectorial constant
Iomom0:	1.445e-009	m <sup>6</sup> - sectorial constant
Ixom:	3.708e-006	m <sup>5</sup> - sectorial constant (xg, yg)
Iyom:	6.433e-007	m <sup>5</sup> - sectorial constant (xg, yg)
Iomom:	8.353e-007	m <sup>6</sup> - sectorial constant (xg, yg)
Iw:	1.701e-008	m <sup>6</sup> - warping constant
It:	4.801e-009	m <sup>4</sup> - torsional constant
xct:	1.690e-001	m - shear center x coordinate
yct:	-1.914e-001	m - shear center y coordinate
xs:	1.038e-009	m - = xct - xg
ys:	-1.038e-001	m - = yct - yg
xj:	-1.882e-009	m - non symmetry factor
yj:	-1.897e-001	m - non symmetry factor

## SEZIONI A L (formate a freddo) (DETTAGLI)





Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

H	altezza totale (fuori tutto)
B	larghezza totale (fuori tutto)
D	lunghezza totale dell'irrigidimento
r	raggio di curvatura interno
t	spessore

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- \* tutte le quote devono essere maggiori di 0, fanno eccezione D che può essere nulla, dando luogo a un L senza irrigidimento, e r che può essere nullo;
- \*  $H > t+r$
- \*  $H > D$
- \*  $B > D$
- \*  $B > t+r$

- \*  $D \geq 0$
- \*  $R \geq 0$

Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria).

### SEZIONI A Z (formate a freddo) (DIALOGO)

**Sezioni a Z (formate a freddo)**

Input fields (left):

- H: 10
- B: 5
- D: 2
- t: 0.4
- r: 0.4
- Jx: 126.93835
- Jy: 52.047943
- ix: 3.8535861
- iy: 2.4675754
- Jxy: 61.867206

Input fields (right):

- A: 8.5479638
- J2: 161.80977
- J3: 17.176520
- Jt: 0.4558914
- i2: 4.3508193
- i3: 1.4175430
- x2: 0
- x3: 0
- xCT: 3.4273194
- yCT: -1.3358667
- Iw: 794.55208
- Angolo assi princ.: -29.4077619620834

Diagram: Z-section with dimensions B, D, H, t, r, and a red 'ri' label. The 'Nome' field is empty.

Buttons: OK, Aggiorna, Cancel, EN1993-1-3...

Checkbox: ☐ Calcola W plastici

Questo dialogo consente sia di avere informazioni di dettaglio su una sezione a Z (formata a freddo), sia di aggiungerla all'archivio, sia di studiarne le proprietà.

Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti).

Se il dialogo viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

La quota D può essere nulla, così come il raggio di curvatura r.

Per il significato dei simboli si veda la [descrizione](#)<sup>[934]</sup>.

Il bottone **EN1993-1-3** rimanda a un [dialogo](#)<sup>[948]</sup> in cui è possibile far calcolare al programma le caratteristiche efficaci del profilo.

Il bottone **Dettagli** dà accesso ad una finestra successiva in cui sono listate alcune importanti proprietà calcolate in accordo alla appendice C della EN-1993-1-3.

Il contenuto del dialogo successivo può essere copiato e incollato, di seguito si dà un esempio di tale file. La terminologia è identica a quella dell'appendice con la sola differenza che anziché usare gli assi (y, z) si usano gli assi (X, Y).

```
*****
*
*
*
*          Cold Formed Section Computation Data
*
* Castalia srl - www.castaliaweb.com - Copyright (C)
*****
```

```
Section is computed according to EN1993-1-3:2006, Annex C
Curved sides, if any, are divided into straight segments
```

```
Section: *****
```

```
N os:      11 - number of original sides
N ass:     11 - number of assumed straight sides
Area:      1.600e-003 - area      m^2

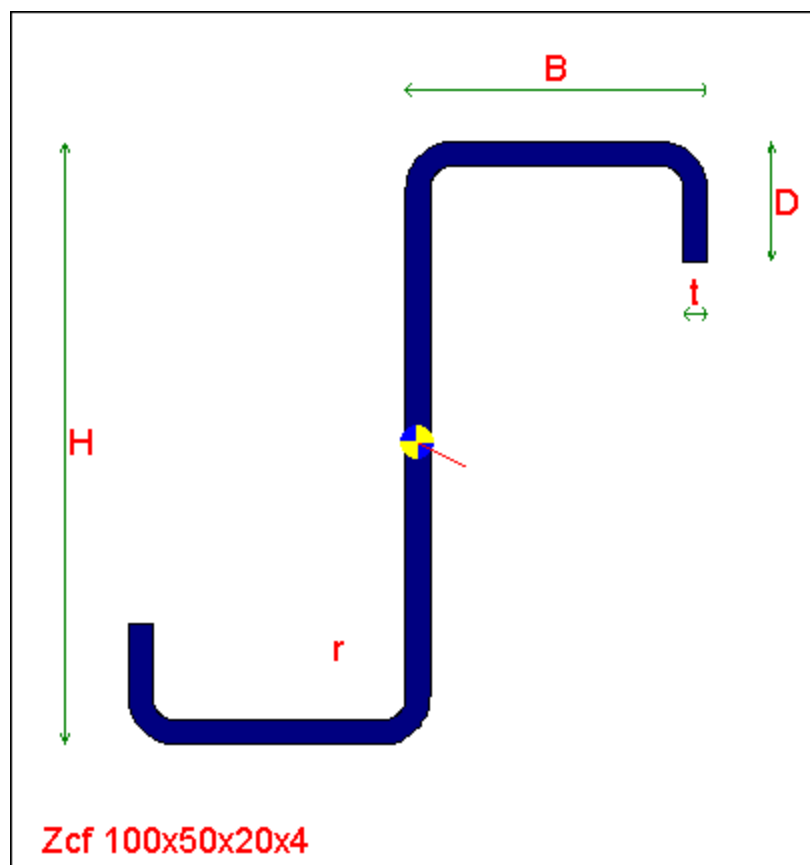
Sx0:      -1.401e-004      m^3 - first area moment (x,y)
Sy0:       2.704e-004      m^3 - first area moment (x,y)
Ix0:       1.608e-005      m^4 - second area moment (x,y)
Iy0:       6.508e-005      m^4 - second area moment (x,y)
Ixy0:     -2.368e-005      m^4 - mixed second area moment (x,y)

xg:        1.690e-001      m - gravity center x coordinate
yg:       -8.757e-002      m - gravity center y coordinate

Ix:        3.807e-006      m^4 - second area moment (xg, yg)
Iy:        1.938e-005      m^4 - second area moment (xg, yg)
```

Ixy:	-3.195e-013	m <sup>4</sup> - mixed second area moment (xg, yg)
Icsi:	1.938e-005	m <sup>4</sup> - second area moment (principal axes)
Ieta:	3.807e-006	m <sup>4</sup> - second area moment (principal axes)
alpha:	4.759e-306 (deg)	- rotation angle of principal axes
omega,mean:	1.952e-002	m <sup>2</sup> - omega mean
Ixom0:	8.987e-006	m <sup>5</sup> - sectorial constant
Iyom0:	-2.092e-006	m <sup>5</sup> - sectorial constant
Iomom0:	1.445e-009	m <sup>6</sup> - sectorial constant
Ixom:	3.708e-006	m <sup>5</sup> - sectorial constant (xg, yg)
Iyom:	6.433e-007	m <sup>5</sup> - sectorial constant (xg, yg)
Iomom:	8.353e-007	m <sup>6</sup> - sectorial constant (xg, yg)
Iw:	1.701e-008	m <sup>6</sup> - warping constant
It:	4.801e-009	m <sup>4</sup> - torsional constant
xct:	1.690e-001	m - shear center x coordinate
yct:	-1.914e-001	m - shear center y coordinate
xs:	1.038e-009	m - = xct - xg
ys:	-1.038e-001	m - = yct - yg
xj:	-1.882e-009	m - non symmetry factor
yj:	-1.897e-001	m - non symmetry factor

## SEZIONI A Z (formate a freddo) (DETTAGLI)



Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

H	altezza totale (fuori tutto)
B	larghezza totale (fuori tutto)
D	lunghezza totale dell'irrigidimento
r	raggio di curvatura interno
t	spessore

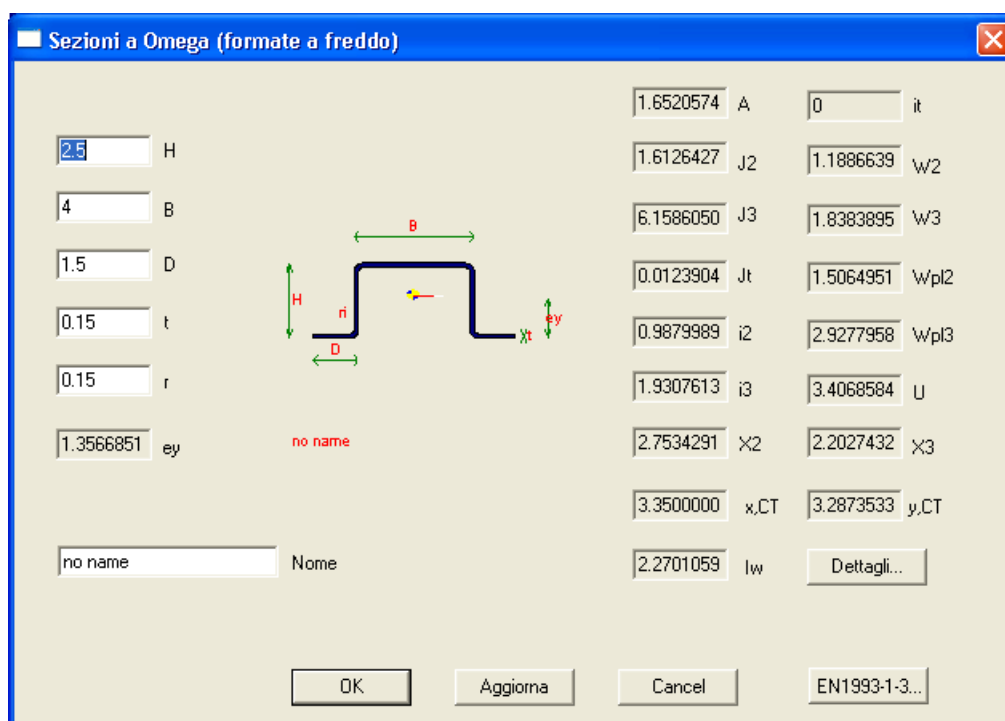
Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- \* tutte le quote devono essere maggiori di 0, fanno eccezione D che può essere nulla, dando luogo a un Z senza irrigidimento, e r che può essere nullo;
- \*  $H > 2t + 2r$
- \*  $H > 2D$
- \*  $B > t + r$
- \*  $D \geq 0$

\*  $R \geq 0$

Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria).

### SEZIONI A $\Omega$ (formate a freddo) (DIALOGO)



1.6520574	A	0	it
1.6126427	J2	1.1886639	w2
6.1586050	J3	1.8383895	w3
0.0123904	Jt	1.5064951	wpl2
0.9879989	i2	2.9277958	wpl3
1.9307613	i3	3.4068584	U
2.7534291	x2	2.2027432	x3
3.3500000	x,CT	3.2873533	y,CT
2.2701059	Iw	Dettagli...	

Questo dialogo consente sia di avere informazioni di dettaglio su una sezione ad  $\Omega$  (formata a freddo), sia di aggiungerla all'archivio, sia di studiarne le proprietà.

Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti).

Se il dialogo viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.

A destra del disegno della sezione ci sono tutte le quantità derivate dal calcolo comuni a tutte le sezioni. A sinistra del disegno della sezione vi sono le quote.

Il pulsante **Aggiorna** consente di aggiornare i dati a sfondo grigio sulla base dei dati a sfondo bianco (parametri liberi).

Il raggio interno  $r$  può essere nullo.

Per il significato dei simboli si veda la [descrizione](#)<sup>938</sup>.

Il bottone **EN1993-1-3** rimanda a un [dialogo](#)<sup>948</sup> in cui è possibile far calcolare al programma le caratteristiche efficaci del profilo.

Il bottone **Dettagli** dà accesso ad una finestra successiva in cui sono listate alcune importanti proprietà calcolate in accordo alla appendice C della EN-1993-1-3.

Il contenuto del dialogo successivo può essere copiato e incollato, di seguito si dà un esempio di tale file. La terminologia è identica a quella dell'appendice con la sola differenza che anziché usare gli assi ( $y$ ,  $z$ ) si usano gli assi ( $X$ ,  $Y$ ).

```
*****
*
*
*           Cold Formed Section Computation Data
*
* Castalia srl - www.castaliaweb.com - Copyright (C)
*****
```

```
Section is computed according to EN1993-1-3:2006, Annex C
Curved sides, if any, are divided into straight segments
```

```
Section: *****
```

```
N os:          11 - number of original sides
```

```
N ass:         11 - number of assumed straight sides
```

```
Area:          1.600e-003 - area      m^2
```

```
Sx0:           -1.401e-004      m^3 - first area moment (x,y)
```

```
Sy0:           2.704e-004      m^3 - first area moment (x,y)
```

```
Ix0:           1.608e-005      m^4 - second area moment (x,y)
```

```
Iy0:           6.508e-005      m^4 - second area moment (x,y)
```

```
Ixy0:          -2.368e-005      m^4 - mixed second area moment (x,y)
```

```
xg:            1.690e-001      m - gravity center x coordinate
```

```
yg:            -8.757e-002      m - gravity center y coordinate
```

```
Ix:            3.807e-006      m^4 - second area moment (xg, yg)
```

```
Iy:            1.938e-005      m^4 - second area moment (xg, yg)
```

```
Ixy:           -3.195e-013      m^4 - mixed second area moment (xg, yg)
```

```
Icsi:          1.938e-005      m^4 - second area moment (principal axes)
```

```
Ieta:          3.807e-006      m^4 - second area moment (principal axes)
```

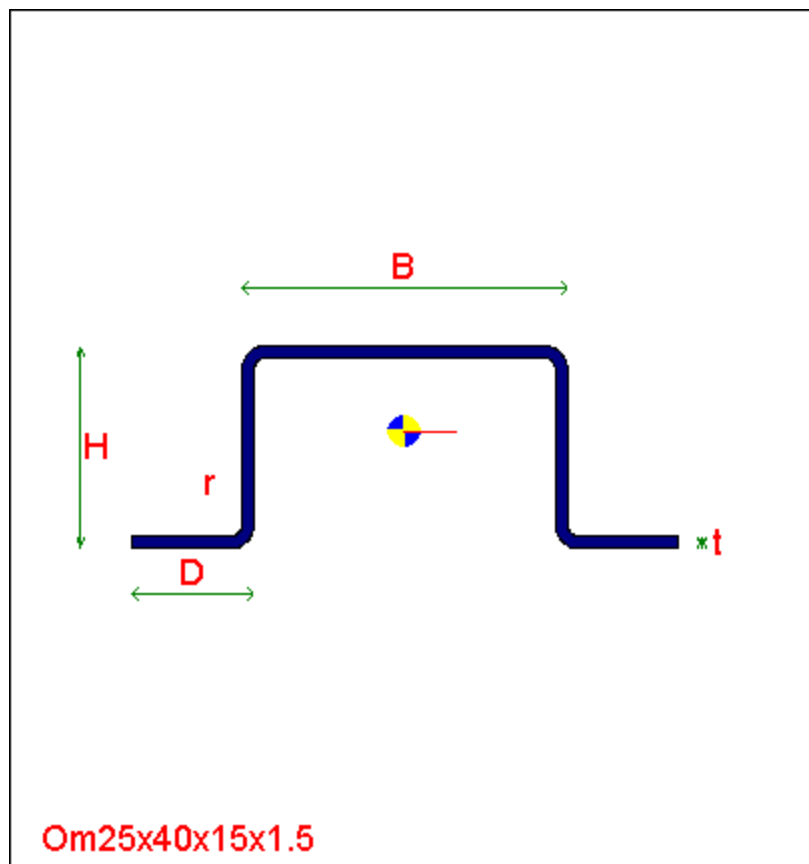
alpha: 4.759e-306 (deg) - rotation angle of principal axes

omega,mean: 1.952e-002 m^2 - omega mean  
 Ixom0: 8.987e-006 m^5 - sectorial constant  
 Iyom0: -2.092e-006 m^5 - sectorial constant  
 Iomom0: 1.445e-009 m^6 - sectorial constant

Ixom: 3.708e-006 m^5 - sectorial constant (xg, yg)  
 Iyom: 6.433e-007 m^5 - sectorial constant (xg, yg)  
 Iomom: 8.353e-007 m^6 - sectorial constant (xg, yg)

Iw: 1.701e-008 m^6 - warping constant  
 It: 4.801e-009 m^4 - torsional constant  
 xct: 1.690e-001 m - shear center x coordinate  
 yct: -1.914e-001 m - shear center y coordinate  
 xs: 1.038e-009 m - = xct - xg  
 ys: -1.038e-001 m - = yct - yg  
 xj: -1.882e-009 m - non symmetry factor  
 yj: -1.897e-001 m - non symmetry factor

### SEZIONI A $\Omega$ (formate a freddo) (DETTAGLI)





Queste sezioni sono individuate dai seguenti parametri:

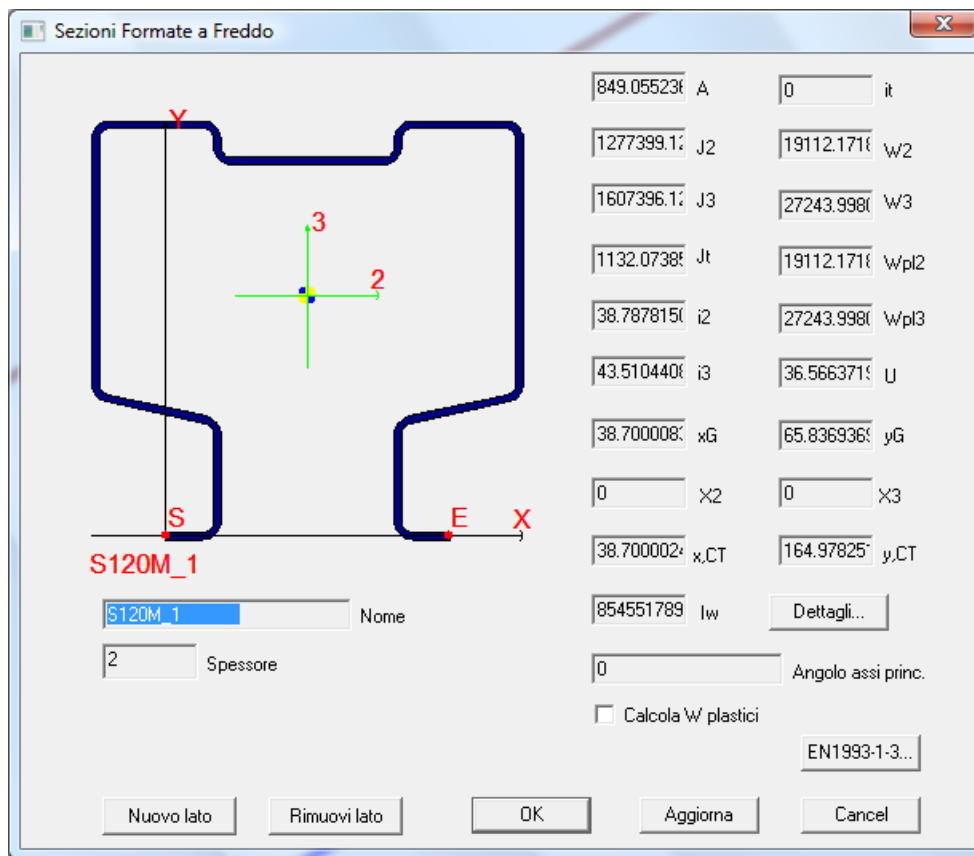
H	altezza totale (fuori tutto)
B	larghezza totale superiore (fuori tutto)
D	larghezza totale delle pieghe inferiori
r	raggio di curvatura interno
t	spessore

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- \* tutte le quote devono essere maggiori di 0, ad eccezione di r che può essere nullo;
- \*  $H > 2t + 2r$
- \*  $B > 2t + 2r$
- \*  $B > t + r$
- \*  $R \geq 0$

Il momento di inerzia torsionale non include gli effetti dell'ingobbamento (torsione secondaria).

## **SEZIONI FORMATE A FREDDO (DIALOGO)**



Questo dialogo serve a descrivere sezioni formate a freddo di tipo generico. Per prima cosa si fissa lo spessore della sezione, poi si procede con l'aggiungere i lati, infine si sceglie il nome. Lo spessore può essere cambiato dopo aver aggiunto i lati, e sufficiente cambiare il valore e premere il tasto aggiorna.

Tutte le dimensioni sono interpretate sulla base della unità attiva.

Il tasto **Nuovo Lato** serve ad aggiungere un lato e dà accesso al dialogo corrispondente ([Scelta del tipo e del modo in cui dare il nuovo lato](#)<sup>942</sup>).

Il tasto **Rimuovi Lato** serve a cancellare l'ultimo lato introdotto.

Ad ogni lato aggiunto le quantità di calcolo vengono aggiornate. I lati possono anche rappresentare dei fori.

La sezione può essere aperta o chiusa. Una sezione chiusa finisce esattamente nello stesso punto ove è cominciata. Il momento di inerzia torsionale di una sezione chiusa viene calcolato usando la formula di Bredt.

Dopo aver aggiunto tutti i lati è possibile chiedere al programma di calcolare i moduli plastici, ciò si fa selezionando la casella opportuna e premendo successivamente il tasto **Aggiorna**.

Il bottone **EN1993-1-3** rimanda a un [dialogo](#)<sup>948</sup> in cui è possibile far calcolare al programma le caratteristiche efficaci del profilo.

Il bottone **Dettagli** dà accesso ad una finestra successiva in cui sono listate alcune importanti proprietà calcolate in accordo alla appendice C della EN-1993-1-3.

Il contenuto del dialogo successivo può essere copiato e incollato, di seguito si dà un esempio di tale file. La terminologia è identica a quella dell'appendice con la sola differenza che anziché usare gli assi (y, z) si usano gli assi (X, Y).

```
*****
*
*
*
*          Cold Formed Section Computation Data
*
* Castalia srl - www.castaliaweb.com - Copyright (C)
*****
```

```
Section is computed according to EN1993-1-3:2006, Annex C
Curved sides, if any, are divided into straight segments
```

```
Section: *****
```

```
N os:          11 - number of original sides
```

```
N ass:         11 - number of assumed straight sides
```

```
Area:          1.600e-003 - area      m^2
```

```
Sx0:          -1.401e-004      m^3 - first area moment (x,y)
```

```
Sy0:          2.704e-004      m^3 - first area moment (x,y)
```

```
Ix0:          1.608e-005      m^4 - second area moment (x,y)
```

```
Iy0:          6.508e-005      m^4 - second area moment (x,y)
```

```
Ixy0:         -2.368e-005      m^4 - mixed second area moment (x,y)
```

```
xg:           1.690e-001      m - gravity center x coordinate
```

```
yg:          -8.757e-002      m - gravity center y coordinate
```

```
Ix:           3.807e-006      m^4 - second area moment (xg, yg)
```

```
Iy:           1.938e-005      m^4 - second area moment (xg, yg)
```

```
Ixy:         -3.195e-013      m^4 - mixed second area moment (xg, yg)
```

```
Icsi:         1.938e-005      m^4 - second area moment (principal axes)
```

```
Ieta:         3.807e-006      m^4 - second area moment (principal axes)
```

```
alpha:        4.759e-306 (deg) - rotation angle of principal axes
```

omega,mean:	1.952e-002	m^2 - omega mean
Ixom0:	8.987e-006	m^5 - sectorial constant
Iyom0:	-2.092e-006	m^5 - sectorial constant
Iomom0:	1.445e-009	m^6 - sectorial constant
Ixom:	3.708e-006	m^5 - sectorial constant (xg, yg)
Iyom:	6.433e-007	m^5 - sectorial constant (xg, yg)
Iomom:	8.353e-007	m^6 - sectorial constant (xg, yg)
Iw:	1.701e-008	m^6 - warping constant
It:	4.801e-009	m^4 - torsional constant
xct:	1.690e-001	m - shear center x coordinate
yct:	-1.914e-001	m - shear center y coordinate
xs:	1.038e-009	m - = xct - xg
ys:	-1.038e-001	m - = yct - yg
xj:	-1.882e-009	m - non symmetry factor
yj:	-1.897e-001	m - non symmetry factor

### SCELTA DEL TIPO E DEL MODO IN CUI DARE IL NUOVO LATO (DIALOGO)



Questo dialogo fa scegliere che tipo di lato si vuole fornire, e con quale criterio numerico. Ad ogni bottone immagine corrisponde una scelta differente, secondo la seguente codifica:



Fa aggiungere un lato rettilineo tangente all'ultimo lato introdotto. Occorre fornire solo la lunghezza del nuovo lato (con un [dialogo](#)<sup>943</sup> opportuno).



Fa aggiungere un lato rettilineo. Occorre fornire le coordinate assolute del nuovo punto (con un [dialogo](#)<sup>944</sup> opportuno).



Fa aggiungere un lato rettilineo. Occorre fornire le coordinate del nuovo punto relativamente all'ultimo (con un [dialogo](#)<sup>945</sup> opportuno).

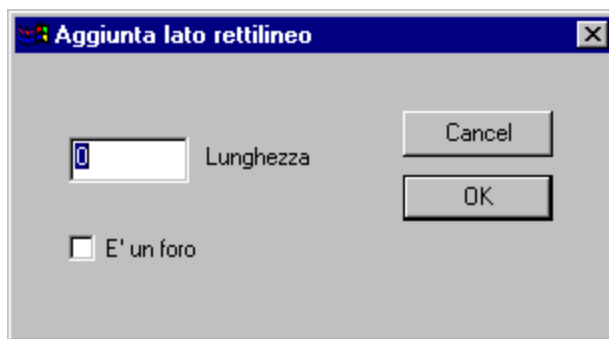


Fa aggiungere un lato circolare. Occorre fornire le coordinate del centro e l'angolo di apertura in gradi (con un [dialogo](#)<sup>945</sup> opportuno).



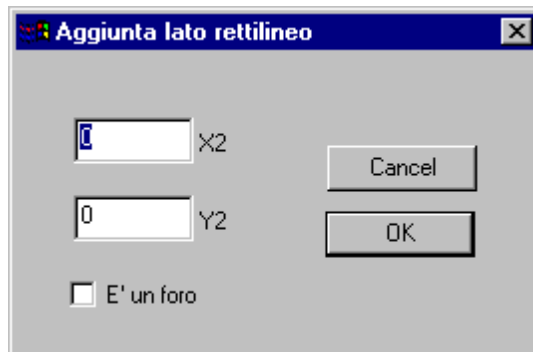
Fa aggiungere un lato circolare. Occorre fornire il raggio medio e l'angolo di apertura del nuovo lato (con un [dialogo](#)<sup>946</sup> opportuno).

## AGGIUNTA LATO RETTILINEO (DIALOGO)



Questo dialogo chiede la lunghezza del nuovo lato nella unità attiva e chiede altresì se il lato da aggiungere rappresenta un foro o meno. Il lato verrà aggiunto in modo da essere tangente all'ultimo lato introdotto. Se non è ancora stato aggiunto alcun lato il bottone che dà accesso a questo dialogo appare inattivo.

#### AGGIUNTA LATO RETTILINEO (DIALOGO)

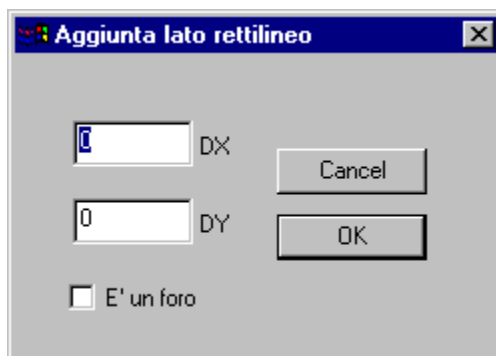


Questo dialogo chiede le coordinate del secondo estremo del nuovo lato nella unità attiva, e chiede altresì se il lato da aggiungere rappresenta un foro o meno. Il primo estremo del nuovo lato coincide con il secondo estremo dell'ultimo lato introdotto. Se non è stato introdotto alcun lato vengono chieste le coordinate del punto iniziale (dialogo [Coordinate del punto iniziale](#)<sup>947</sup>).

Nel caso in cui il nuovo lato formi una cuspide con il precedente il programma non può accettare il lato, tuttavia può aggiungere automaticamente un raccordo curvilineo atto a generare una transizione continua tra il nuovo lato ed il vecchio, eliminando automaticamente la

cuspidi senza che l'utente debba preoccuparsi del problema (in tal caso viene chiesto il raggio interno del raccordo da introdurre [Raggio di curvatura interno](#)<sup>[947]</sup>).

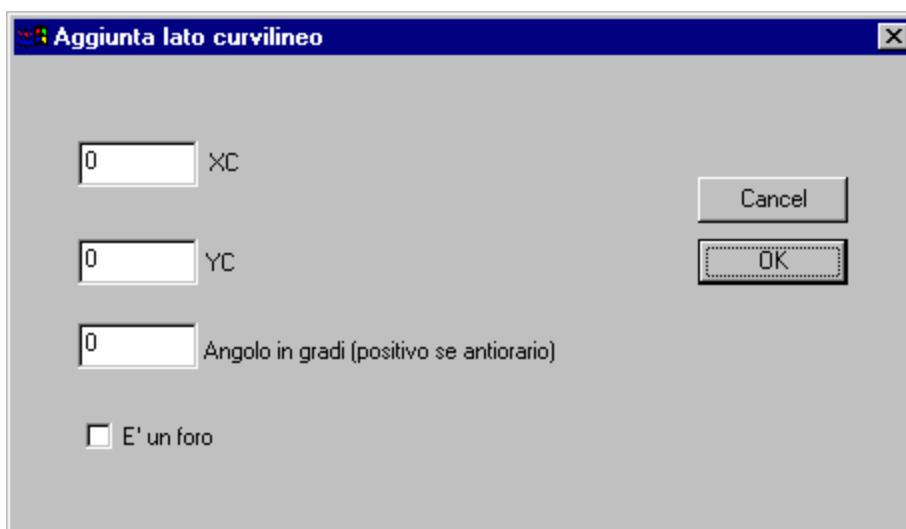
### AGGIUNTA LATO RETTILINEO (DIALOGO)



Questo dialogo chiede le coordinate del secondo estremo del nuovo lato, relativamente all'ultimo estremo introdotto, nella unità attiva, e chiede altresì se il lato da aggiungere rappresenta un foro o meno. Il primo estremo del nuovo lato coincide con il secondo estremo dell'ultimo lato introdotto. Se non è stato introdotto alcun lato vengono chieste le coordinate del punto iniziale (dialogo [Coordinate del punto iniziale](#)<sup>[947]</sup>).

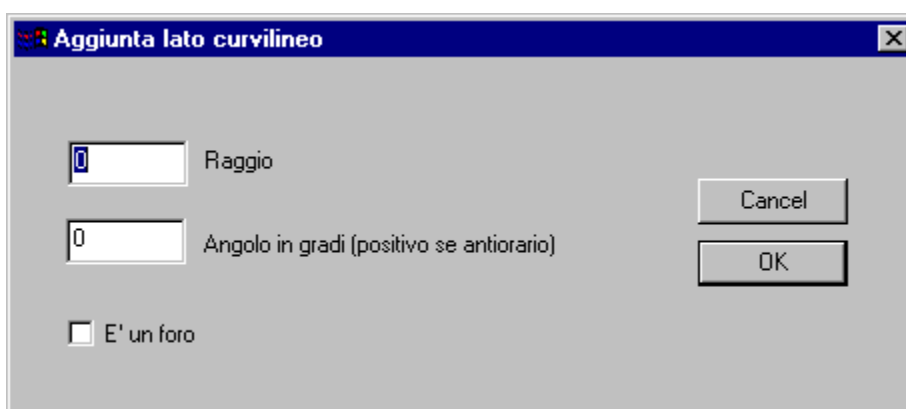
Nel caso in cui il nuovo lato formi una cuspidi con il precedente il programma non può accettare il lato, tuttavia può aggiungere automaticamente un raccordo curvilineo atto a generare una transizione continua tra il nuovo lato ed il vecchio, eliminando automaticamente la cuspidi senza che l'utente debba preoccuparsi del problema (in tal caso viene chiesto il raggio interno del raccordo da introdurre [Raggio di curvatura interno](#)<sup>[947]</sup>).

### AGGIUNTA LATO CURVILINEO (DIALOGO)



Questo dialogo chiede le coordinate del centro della circonferenza a cui appartiene il nuovo lato, l'angolo di apertura del nuovo lato, e chiede inoltre se il lato da aggiungere rappresenti un foro o meno. L'angolo di apertura è da fornire in gradi ed è positivo se antiorario. Per costruzione il lato sarà tangente al lato precedentemente introdotto. Se non è stato introdotto alcun lato il programma chiede le coordinate del punto iniziale ([Coordinate del punto iniziale](#)<sup>[947]</sup>) ed assume che la tangente iniziale sia orizzontale. Le coordinate del centro sono lette usando la unità di misura corrente.

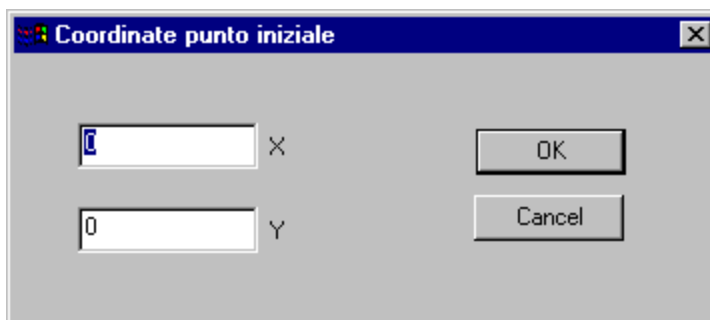
### AGGIUNTA LATO CURVILINEO (DIALOGO)





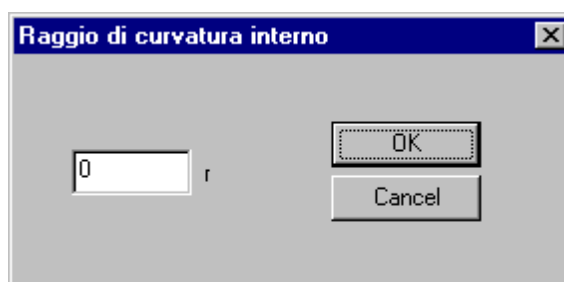
Questo dialogo chiede il raggio della circonferenza a cui appartiene il nuovo lato, l'angolo di apertura del nuovo lato, e chiede inoltre se il lato da aggiungere rappresenti un foro o meno. L'angolo di apertura è da fornire in gradi ed è positivo se antiorario. Per costruzione il lato sarà tangente al lato precedentemente introdotto. Se non è stato introdotto alcun lato il programma chiede le coordinate del punto iniziale (dialogo [Coordinate del punto iniziale](#)<sup>947</sup>) ed assume che la tangente iniziale sia orizzontale. Le coordinate del centro sono lette usando la unità di misura corrente.

### COORDINATE DEL PUNTO INIZIALE (DIALOGO)



Quando viene aggiunto il primo lato di una sezione formata a freddo il programma chiede le coordinate del punto iniziale, ovvero del primo estremo del lato che sta per essere introdotto. Questo dialogo serve a fornire le coordinate del punto iniziale, usando le unità di misura attive.

### RAGGIO DI CURVATURA INTERNO (DIALOGO)



Quando viene aggiunto un lato rettilineo che forma una cuspide con il lato precedente SAMBA chiede se aggiungere o meno un raccordo circolare in grado di ripristinare la continuità. In caso affermativo il programma chiede il raggio interno del raccordo da aggiungere mediante questo dialogo. I dati vanno forniti nella unità corrente.

### **CALCOLO DELLE SEZIONI EFFICACI (DIALOGO)**

Nota: per una descrizione più approfondita del calcolo delle caratteristiche efficaci di profili in classe 4, si rimanda alla guida del programma CLASS4 di Castalia srl. In Samba, infatti, sono state riversate delle funzionalità del suddetto programma (con alcune limitazioni riguardanti ulteriori profili presenti in CLASS4) relative al calcolo dei profili in classe 4. La guida di questo programma contiene spiegazioni di base, note sull'implementazione degli algoritmi, discussione delle problematiche, validazione dei risultati e altri contenuti. La guida di CLASS4 è consultabile liberamente all'indirizzo <http://www.castaliaweb.com/ita/P/CL4/HTML/index.html>.

Questo dialogo permette di calcolare le caratteristiche efficaci del profilo secondo EN1993-1-3 ed EN1993-1-5. Il suo aspetto presenta delle differenze a seconda che si tratti di un profilo formato a freddo o di un altro tipo di sezione, ma la struttura è sempre la stessa.

EN 1993-1-3 ed EN 1993-1-5 Calcolo sezioni efficaci

Dati di calcolo

235  $F_y$  (MPa) 360  $F_u$  (MPa)

1.05 Gamma,  $M_0$

Selezionare i lati appartenenti a irrigidimenti

☒ STRAIGHT Len= 12.000 mm t= 1.500 mm

☒ CIRCULAR Len= 3.534 mm t= 1.500 mm beta(deg) =

☐ STRAIGHT Len= 19.000 mm t= 1.500 mm

☐ CIRCULAR Len= 3.534 mm t= 1.500 mm beta(deg) =

☐ STRAIGHT Len= 34.000 mm t= 1.500 mm

☐ CIRCULAR Len= 3.534 mm t= 1.500 mm beta(deg) =

☐ STRAIGHT Len= 19.000 mm t= 1.500 mm

Modalità di calcolo

☒ Elimina i raccordi curvilinei (EN1993-1-3 § 5.1)

☐ Usa il livello effettivo delle tensioni

☒ Determina tensione di snervamento modificata per le pieghe

☒ Itera sugli irrigidimenti (opzionale secondo 5.5.3.2.(3))

1  $K_{gr}$  (verranno tolte parti di lunghezza  $K_{gr} * gr$ )

c: Cartella di output

Calcola!

Dati di output (mm, mm<sup>2</sup>, mm<sup>3</sup>)

0  $A_{eff}$  0  $e_{N2}$  0  $e_{N3}$

0  $W_{2eff,+}$  0  $W_{2,eff,-}$

0  $W_{3eff,+}$  0  $W_{3,eff,-}$

Disegno sezioni originaria, di calcolo ed efficaci

Profilo N Sezione calcolo

M2m M2p

M3m M3p

OK Cancel

Omega cf

Esempio: profilo formato a freddo

EN 1993-1-3 ed EN 1993-1-5 Calcolo sezioni efficaci

Dati di calcolo

235 Fy (MPa) 360 Fu (MPa)

1.05 Gamma, M0

Modalità di calcolo

☐ Usa il livello effettivo delle tensioni

1 K<sub>gr</sub> (verranno tolte parti di lunghezza K<sub>gr</sub> \* gr)

c: Cartella di output

Calcola!

Dati di output (mm, mm<sup>2</sup>, mm<sup>3</sup>)

0 Aeff 0 eN2 0 eN3

0 W2eff,+ 0 W2,eff,-

0 W3eff,+ 0 W3,eff,-

Disegno sezioni originaria, di calcolo ed efficaci

Profilo N Sezione calcolo

M2m M2p

M3m M3p

T saldato

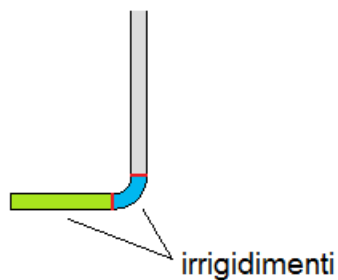
Copia Stampa

OK Cancel

**Esempio: profilo non formato a freddo**

## Dati di calcolo

In questa sezione vanno indicate le proprietà del materiale (Fy, Fu e Gamma,M0). Nella lista dei lati del profilo, *presente solo nel caso dei formati a freddo*, vanno spuntati i lati che costituiscono irrigidimenti per altri lati: devono essere spuntati sia i lati rettilinei che costituiscono irrigidimenti che i tratti curvilinei a essi adiacenti.

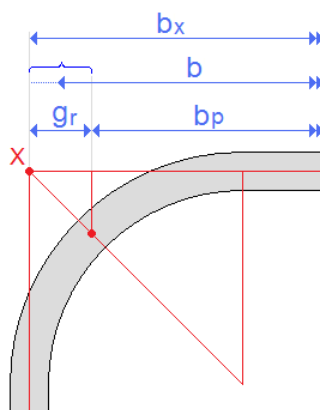


## Modalità di calcolo

In questa sezione, *per i soli formati a freddo* si sceglie se rettificare la forma sezionale (in accordo al paragrafo 5.1 della norma europea). *Per tutti i profili* va indicato se si vuole usare il livello effettivo delle tensioni (se si spunta questa opzione, un lato che ad esempio è compresso, ma con un valore di compressione  $\sigma_l$  minore di  $f_y$ , non viene calcolato usando  $\lambda_p$ , ma  $\lambda_{p,red}$ ). *Per i soli formati a freddo*, si può richiedere che venga determinata una tensione modificata per le pieghe (incrudimento); si stabilisce inoltre se si vuole che quando un irrigidimento si instabilizza vengano eseguite delle iterazioni per ricalcolare la porzione efficace oppure si vuole che ci si arresti, in accordo al paragrafo 5.5.3.2(3) dell'EN1993-1-3; infine si determina il valore di  $k_{gr}$ , di default pari a 1: questo parametro serve a determinare la lunghezza dei lati nel caso si sia scelto di adottare un'area di calcolo rettificata, eliminando i raccordi; la lunghezza  $b_p$  del lato è pari a  $b_x - g_r$ , dove  $b_x$  è la lunghezza del lato ottenuto allungando ciascun asse fino alle intersezioni con i due lati adiacenti, dopo la rimozione dei lati curvilinei. Si ha:


$$b_p = b_x - g_{r,1} - g_{r,2}$$

$$b = b_p + (1 - k_{gr})g_{r,1} + (1 - k_{gr})g_{r,2}$$



Si può cambiare la cartella di destinazione del tabulato creato dal programma (cartella di output). Di default è proposta la cartella *c*:

**Calcola!**

Cliccando il bottone *Calcola!* viene eseguito il calcolo delle caratteristiche efficaci secondo normativa. Se vi sono requisiti di normativa non soddisfatti (ad esempio un irrigidimento troppo lungo) si viene informati di ciò tramite un messaggio. Al termine del calcolo viene chiesto se aprire automaticamente il [tabulato](#)

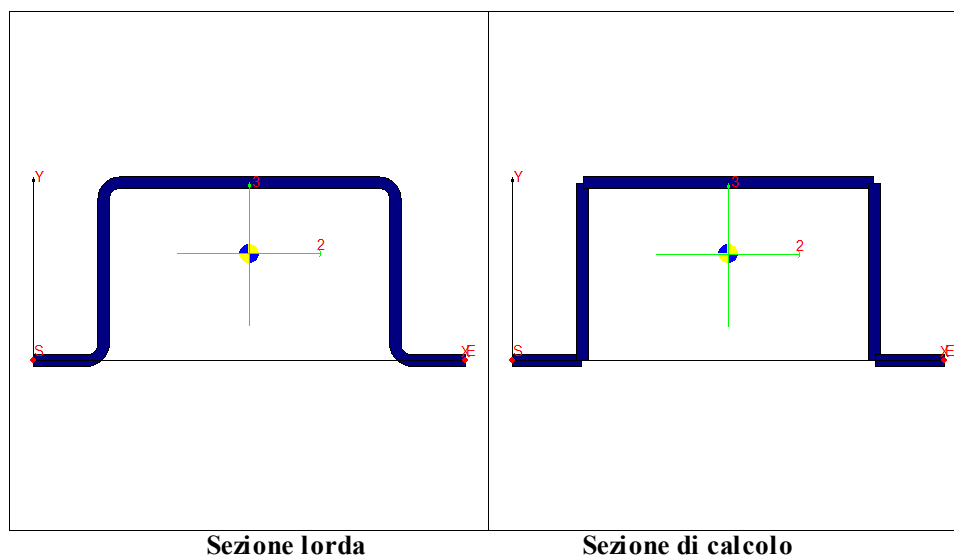
### Dati di output e immagine

Dopo aver eseguito il calcolo, cliccando i bottoni in **Disegno sezione..** è possibile visualizzare le seguenti immagini:

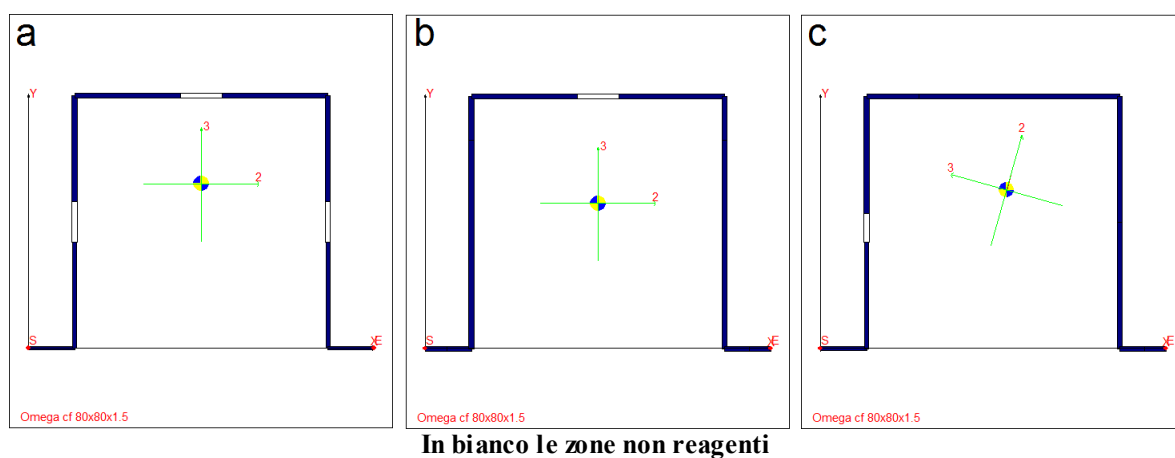
- *Profilo*: viene mostrato il profilo lordo (default, non è necessario aver eseguito il calcolo).
- *Sezione calcolo*: la sezione utilizzata per il calcolo, che può coincidere o meno con quella lorda.
- *N, M2p, M2m, M3p, M3m*: rispettivamente, le sezioni efficaci per azione assiale, per momento flettente attorno all'asse due positivo e negativo, per momento flettente attorno all'asse 3 positivo e negativo.

L'immagine corrente può essere stampata o copiata negli appunti e incollata in relazioni, documenti, ecc.

Nella figura seguente vengono mostrati un profilo lordo (formato a freddo) e la sezione di calcolo con i lati rettificati.



Di seguito sono riportate tre immagini che mostrano le sezioni efficaci calcolate da CLASS4 in un profilo formato a freddo per le condizioni di azione assiale (a), momento flettente  $M2$  positivo (b) e momento flettente  $M3$  negativo (c).



**Note:**

- Per i profili rettangolari cavi laminati (RHS) i raccordi curvilinei non sono mai rettificati.
- Per i profili laminati ad H e a T i raccordi curvilinei sono sostituiti nella sezione di calcolo da tratti rettangolari.

- Se per una determinata azione la sezione di calcolo con raccordi curvilinei rettificati reagisce completamente, viene utilizzato il corrispondente valore lordo della sezione originaria, non di quella di calcolo.

## IL TABULATO DEL CALCOLO DELLE CARATTERISTICHE EFFICACI

Il tabulato è in inglese e contiene informazioni sulla sezione lorda, sulla sezione di calcolo, sulle impostazioni e sui risultati.

Il tabulato si trova nella [cartella](#)<sup>[951]</sup> indicata dall'utente. Il nome del file ha questa struttura: "*nomesezione -fy=??? - gm=??? .txt*", dove ??? sono i valori definiti per la tensione di snervamento e per il coefficiente di sicurezza.

L'esempio di tabulato qui riportato è corredato da commenti e spiegazioni alle varie sezioni; vengono inoltre forniti i significati dei simboli presenti e le traduzioni delle voci in inglese. Per maggior chiarezza, le parti appartenenti al tabulato sono su sfondo grigio.

```
*****
*
* Effective data computation
*
* EN 1993-1-3 and EN1993-1-5
*
* Castalia srl - Italy - www.castaliaweb.com
*****
```

Dopo l'intestazione, la prima parte del tabulato contiene una descrizione della **sezione lorda** e dei suoi lati. Sono riportati il nome della sezione, il numero di lati, le coordinate  $x_g$  e  $y_g$  del baricentro rispetto all'origine del sistema di riferimento, l'area totale, i momenti d'inerzia rispetto agli assi principali  $J_2$  e  $J_3$  (gli assi 2 e 3 sono rispettivamente gli assi  $y$  e  $z$ ), i moduli di resistenza a flessione  $W_2$  e  $W_3$  e l'angolo di rotazione degli assi principali, espresso in gradi.

Per ogni lato (*element*) sono riportati i seguenti dati: numero identificativo, tipo (*straight* = rettilineo, *circular* = curvilineo), lo spessore (*thickness*), le coordinate del primo e



del secondo estremo rispetto all'origine del sistema di riferimento ( $x1, y1$  e  $x2, y2$ ), i segmenti che devono essere sottratti al lato rettificato ai due estremi ( $gr1$  e  $gr2$ ), la lunghezza del lato ( $Len$ ), la lunghezza  $b_p$ .

Infine sono riportati i dati relativi al materiale: la tensione di snervamento  $f_{yb}$ , la tensione ultima  $f_u$ , il fattore di sicurezza  $\gamma_{M0}$  (*gamma*), il valore  $f_d$  pari a  $f_{yb}/\gamma_{M0}$  e il valore  $f_{ya}$  in accordo al paragrafo 3.2.2(3) dell'EN1993-1-3:2006.

Dato che il primo blocco di informazioni si riferisce alla sezione originaria lorda (**Gross cross-section**), senza eliminazione dei raccordi curvilinei, i  $gr$  sono sempre nulli, e la lunghezza  $b_p$  coincide con quella del lato rettilineo originario.

Mentre  $b_p$  è la lunghezza da assumere ai fini del calcolo dei  $b/t$ , "b" è la lunghezza  $b_p$  con sommate le parti  $gr$  eventualmente riaggiate, ovvero:

$$b = b_p + (1 - K_{gr})g_{r,1} + (1 - K_{gr})g_{r,2}$$

-----									
- Gross cross-section description -									
-----									
Cross-section name: Omega cf									
Number of sides : 9									
xg= 53.500 mm yg= 46.794 mm Area= 3.902e+002 mm <sup>2</sup>									
J2= 3.370e+005 mm <sup>4</sup> J3= 5.071e+005 mm <sup>4</sup> W2= 7.088e+003 mm <sup>3</sup> W3= 9.478e+003 mm <sup>3</sup> Angle									
principal axes (deg)= 0.000									
Cross-section side description									
Element # 1 - Straight element - Thickness= 1.500 mm									
x1 = 0.000 mm y1 = 0.000 mm									
x2 = 12.000 mm y2 = 0.000 mm									
gr1= 0.000 mm gr2= 0.000 mm									
b= 12.000 mm bP = 12.000 mm									
Element # 2 - Circular element - Length= 3.534 mm - Thickness= 1.500 mm									
xs = 12.000 mm ys = 0.000 mm									
xe = 14.250 mm ye = 2.250 mm									
xc = 12.000 mm yc = 2.250 mm bet(deg)= 90.000									
Element # 3 - Straight element - Thickness= 1.500 mm									
x1 = 14.250 mm y1 = 2.250 mm									
x2 = 14.250 mm y2 = 76.250 mm									
gr1= 0.000 mm gr2= 0.000 mm									
b= 74.000 mm bP = 74.000 mm									
Element # 4 - Circular element - Length= 3.534 mm - Thickness= 1.500 mm									
xs = 14.250 mm ys = 76.250 mm									
xe = 16.500 mm ye = 78.500 mm									
xc = 16.500 mm yc = 76.250 mm bet(deg)= -90.000									

Element #	5	- Straight element - Thickness=	1.500 mm
x1 =	16.500 mm	y1 =	78.500 mm
x2 =	90.500 mm	y2 =	78.500 mm
gr1=	0.000 mm	gr2=	0.000 mm
b=	74.000 mm	bP =	74.000 mm
Element #	6	- Circular element - Length=	3.534 mm - Thickness= 1.500 mm
xs =	90.500 mm	ys =	78.500 mm
xe =	92.750 mm	ye =	76.250 mm
xc =	90.500 mm	yc =	76.250 mm bet(deg)= -90.000
Element #	7	- Straight element - Thickness=	1.500 mm
x1 =	92.750 mm	y1 =	76.250 mm
x2 =	92.750 mm	y2 =	2.250 mm
gr1=	0.000 mm	gr2=	0.000 mm
b=	74.000 mm	bP =	74.000 mm
Element #	8	- Circular element - Length=	3.534 mm - Thickness= 1.500 mm
xs =	92.750 mm	ys =	2.250 mm
xe =	95.000 mm	ye =	0.000 mm
xc =	95.000 mm	yc =	2.250 mm bet(deg)= 90.000
Element #	9	- Straight element - Thickness=	1.500 mm
x1 =	95.000 mm	y1 =	0.000 mm
x2 =	107.000 mm	y2 =	0.000 mm
gr1=	0.000 mm	gr2=	0.000 mm
b=	12.000 mm	bP =	12.000 mm
fyb =	235.00 MPa	fu=	360.00 MPa gamma= 1.050 fd= 223.81 MPa
fya =	249.42 MPa		

Seguono le impostazioni dell'utente:

- è indicato se è stato richiesto di eliminare i lati curvilinei con la conseguente modifica dei lati rettilinei (*circular elements will be deleted...*) oppure di considerarli (*circular elements will be considered as fully effective*);
- è indicato anche se si è richiesto di considerare le tensioni effettive (*real compression stress levels on side will be considered*) o di considerare i valori massimi (*maximum compression stress levels...*);
- è indicato se devono essere eseguite iterazioni sugli irrigidimenti (*perform modification ("iteration") for stiffeners*) oppure se ci si deve arrestare (*stop at first step when dealing with stiffeners (5.5.3.2.(3))*) in accordo al paragrafo citato dell'EN1993-1-3.
- è riportato il valore *kgr* definito dall'utente; se tale valore è uguale a 1 i segmenti gr non vengono riaggiunti, se è uguale a 0 sì; sono possibili anche valori intermedi.

```

User's choice: circular elements will be deleted modifying straight element
size

User's choice: maximum compression stress levels on side will be considered

User's choice: perform modification ("iteration") for stiffeners

User's choice: gr addition modification factor (kgr=1-> gr are removed,
kgr=0-> gr are kept) kgr =      1.00

```

Analogamente alla parte di tabulato in cui è stata descritta la sezione lorda, nella parte seguente viene descritta la **sezione di calcolo**, con la stessa struttura di dati. Se sono stati eliminati i lati curvilinei, il numero di lati è inferiore rispetto alla sezione lorda iniziale e la loro lunghezza risulta maggiore per via della modifica dei lati stessi legata alla rimozione dei lati curvilinei (di conseguenza risultano diverse anche le coordinate degli estremi dei lati). Inoltre i gr saranno in generale diversi da zero e, in generale, b sarà diverso da  $b_p$  (a meno che sia stato assunto  $K_{gr}=1$ ).

```

-----
-   Computing section data (circular sides removed) -
-----

Cross-section name:  Omega cf
Number of sides :  5
xg=    53.500 mm  yg=    46.835 mm  Area=   3.881e+002 mm^2
J2=   3.338e+005 mm^4  J3=   5.038e+005 mm^4  W2=   7.015e+003 mm^3  W3=   9.417e+003 mm^3  Angle
principal axes (deg)=    0.000

Cross-section side description

Element #    1 - Straight element - Thickness=    1.500 mm
      x1 =    0.000 mm  y1 =    0.000 mm
      x2 =   13.591 mm  y2 =    0.000 mm
      gr1=    0.000 mm  gr2=    0.659 mm
      b=   13.591 mm  bP =   13.591 mm
Element #    2 - Straight element - Thickness=    1.500 mm
      x1 =   14.250 mm  y1 =    0.659 mm
      x2 =   14.250 mm  y2 =   77.841 mm
      gr1=    0.659 mm  gr2=    0.659 mm
      b=   77.182 mm  bP =   77.182 mm
Element #    3 - Straight element - Thickness=    1.500 mm
      x1 =   14.909 mm  y1 =   78.500 mm
      x2 =   92.091 mm  y2 =   78.500 mm
      gr1=    0.659 mm  gr2=    0.659 mm
      b=   77.182 mm  bP =   77.182 mm

```

Element #	4 - Straight element - Thickness=	1.500 mm
x1 =	92.750 mm	y1 = 77.841 mm
x2 =	92.750 mm	y2 = 0.659 mm
gr1=	0.659 mm	gr2= 0.659 mm
b=	77.182 mm	bP = 77.182 mm
Element #	5 - Straight element - Thickness=	1.500 mm
x1 =	93.409 mm	y1 = 0.000 mm
x2 =	107.000 mm	y2 = 0.000 mm
gr1=	0.659 mm	gr2= 0.000 mm
b=	13.591 mm	bP = 13.591 mm

Nella sezione seguente sono riportate alcune importanti proprietà calcolate in accordo all'annesso C della EN-1993-1-3. La terminologia è la stessa dell'annesso, con la differenza che qui gli assi sono x e y invece di y e z.

- la sezione è calcolata in accordo all'EN1993-1-3:2006, Annesso C
- i lati curvilinei, se presenti, sono divisi in segmenti rettilinei
- nome della sezione
- numero dei lati originali (*number of original sides*) e di quelli assunti come rettilinei (*assumed straight sides*)
- Area della sezione
- momenti statici  $S_{x0}$  e  $S_{y0}$  rispetto agli assi x e y
- momenti d'inerzia  $I_{x0}$ ,  $I_{y0}$  e  $I_{xy0}$  rispetto agli assi x e y
- coordinate del baricentro  $x_g$ ,  $y_g$
- momenti d'inerzia rispetto al baricentro  $I_x$ ,  $I_y$  e  $I_{xy}$
- momenti d'inerzia rispetto agli assi principali  $I_{csi}$  e  $I_{eta}$
- l'angolo di rotazione  $\alpha$  degli assi principali
- il valor medio di  $\omega$ , *omega*, *mean*
- le costanti settoriali  $I_{xom0}$ ,  $I_{yom0}$ ,  $I_{omom0}$
- le costanti settoriali  $I_{xom}$ ,  $I_{yom}$ ,  $I_{omom}$
- la costante di ingobbamento  $I_w$  e la costante torsionale  $I_t$
- le coordinate del centro di taglio  $x_{ct}$  e  $y_{ct}$
- i valori  $x_s = x_{ct} - x_g$  e  $y_s = y_{ct} - y_g$

- i fattori di non simmetria  $xj$  e  $yj$

```

-----
- General data of computing section -
-----

Section is computed according to EN1993-1-3:2006, Annex C
Curved sides, if any, are divided into straight segments

Section: Omega cf
N os:          5 - number of original sides
N ass:         5 - number of assumed straight sides
Area:          3.881e+002 - area      mm^2

Sx0:           1.818e+004      mm^3 - first area moment (x,y)
Sy0:           2.076e+004      mm^3 - first area moment (x,y)
Ix0:           1.185e+006      mm^4 - second area moment (x,y)
Iy0:           1.615e+006      mm^4 - second area moment (x,y)
Ixy0:          9.724e+005      mm^4 - mixed second area moment (x,y)

xg:            5.350e+001      mm - gravity center x coordinate
yg:            4.684e+001      mm - gravity center y coordinate

Ix:            3.338e+005      mm^4 - second area moment (xg, yg)
Iy:            5.037e+005      mm^4 - second area moment (xg, yg)
Ixy:           1.852e-003      mm^4 - mixed second area moment (xg, yg)

Icsi:          5.037e+005      mm^4 - second area moment (principal axes)
Ieta:          3.338e+005      mm^4 - second area moment (principal axes)
alpha:         6.242e-007 (deg) - rotation angle of principal axes

omega,mean:    -3.595e+003      mm^2 - omega mean
Ixom0:         -1.320e+008      mm^5 - sectorial constant
Iyom0:         -4.769e+007      mm^5 - sectorial constant
Tomom0:        1.276e+010      mm^6 - sectorial constant

Ixom:          -5.735e+007      mm^5 - sectorial constant (xg, yg)
Iyom:          1.766e+007      mm^5 - sectorial constant (xg, yg)
Tomom:         7.744e+009      mm^6 - sectorial constant (xg, yg)

Iw:            2.808e+008      mm^6 - warping constant
It:            2.911e+002      mm^4 - torsional constant
xct:           5.291e+001      mm - shear center x coordinate
yct:           1.138e+002      mm - shear center y coordinate
xs:            -5.889e-001      mm - = xct - xg
ys:            6.700e+001      mm - = yct - yg
xj:            -5.889e-001      mm - non symmetry factor
yj:            7.945e+001      mm - non symmetry factor

```

Sono quindi riportate informazioni sugli irrigidimenti eventualmente presenti agli estremi e nel mezzo del profilo. *There is no starting / end / intermediate stiffener* significa che non ci sono, rispettivamente, irrigidimenti all'inizio del profilo, alla fine o nel mezzo. Se invece sono presenti degli irrigidimenti, viene indicato da quante pieghe sono composti: ad

esempio, *starting stiffener has 1 edge fold* significa che l'irrigidimento iniziale ha una sola piega.

```
-----
-   Stiffeners   -
-----

Starting stiffener has 1 edge fold
End stiffener has 1 edge fold
There is no intermediate stiffener
```

Nella sezione seguente vengono riportati tutti i dati calcolati per ottenere l'area efficace a compressione. Per ciascuno dei lati (*elements*) **della sezione di calcolo** vengono fornite le seguenti informazioni:

- numero identificativo del lato (#);
- se si tratta di un lato interno (*doubly supported element*) o terminale (*outstand element*);
- in quest'ultimo caso viene indicato quale estremo (*end*) è libero (*free*) e quale è collegato a un altro lato (*supported*);
- $b$  è la larghezza del lato come già chiarito ( $b = b_p + (1 - K_{gr})g_{r,1} + (1 - K_{gr})g_{r,2}$ );
- $gr1$ ,  $gr2$  e  $b_p$  sono stati già descritti in precedenza;
- $t$  è lo spessore del piatto;
- $b_p:t$  è il rapporto tra  $b_p$  e  $t$ ;
- le coordinate dei due estremi del lato ( $x1, y1$  e  $x2, y2$ );
- i valori di tensione  $\sigma_1$  e  $\sigma_2$  (*sigma1* e *sigma2*);
- $k_\sigma$  (*Ksigma*) è il coefficiente di instabilità;
- $\Lambda_{p}$  è la snellezza relativa del piatto;
- $\rho$  è il fattore riduttivo dato in EN1993-1-5:2006 par. 4.4(2);
- $\chi$  (*Chi*) è il fattore di riduzione per instabilità del lato;
- $\Lambda_{p,red}$ ;
- viene indicato quindi se il lato è completamente o parzialmente reagente (*Fully / partially effective element*);

- è riportata la sua *area* reagente, che nel primo caso coincide con l'area totale di quel lato e nel secondo caso è inferiore;
- è riportato inoltre il valore *Area,kgr*, cioè la porzione d'area legata ai segmenti *gr* eventualmente riaggiunti;
- $b_{eff}$  è la larghezza efficace ai due estremi (*end 1* ed *end 2*);
- *uneffective width* è la larghezza non efficace.

Sono riportate le seguenti informazioni sugli irrigidimenti:

- *Start / end stiffener is in tension* se l'irrigidimento iniziale/finale è teso;
- *start/end stiffener will be/will not be modified* significa invece che l'irrigidimento iniziale/finale sarà/non sarà modificato: significa che l'irrigidimento in questione è compresso e sarà modificato o meno in base al raggiungimento dell'instabilità;
- sono riportati anche i valori di *As* e *Is*, rispettivamente l'area e il momento d'inerzia dell'irrigidimento che tende a sbandare;
- *K* è il ritegno offerto dalle altre parti, *s,cr* ( $\sigma_{cr}$ ) la tensione elastica critica
- *lam,s* ( $\lambda_s$ ) è la snellezza dell'irrigidimento.

-----									
- Effective area due to compression -									
-----									
Element	#1 : outstand element (stiffener) supported at end 2, free at end 1								
	b=14.25 mm	gr1=0.00 mm	gr2=0.66 mm	bP=13.59 mm	t=1.50 mm	bP:t =	9.06		
	x1=0.00 mm	y1=0.00 mm	x2=13.59 mm	y2=0.00 mm					
	sigma1= -223.81 MPa	sigma2= -223.81 Mpa							
	Ksigma= 0.50	Lambda,p= 0.45	Chi= 0.66	Lambda,p,red= 0.37	rho= 1.000				
	Fully effective element. Area = 2.039e+001 mm <sup>2</sup> (Area,kgr = 0.000e+000 mm <sup>2</sup> )								
Element	#2 : doubly supported element								
	b=78.50 mm	gr1=0.66 mm	gr2=0.66 mm	bP=77.18 mm	t=1.50 mm	bP:t =	51.45		
	x1=14.25 mm	y1=0.66 mm	x2=14.25 mm	y2=77.84 mm					
	sigma1= -223.81 MPa	sigma2= -223.81 Mpa	stress ratio psi=	1.00					
	Ksigma= 4.00	Lambda,p= 0.91	rho= 0.836						
	Partially effective element. Area = 9.676e+001 mm <sup>2</sup> (Area,kgr = 0.000e+000 mm <sup>2</sup> )								
	beff at end 1=32.254 mm -beff at end 2=32.254 mm -uneffective width =12.673 mm								
Element	#3 : doubly supported element								

b=78.50 mm	gr1=0.66 mm	gr2=0.66 mm	bP=77.18 mm	t=1.50 mm	bP:t =	51.45
x1=	14.91 mm	y1=	78.50 mm	x2=	92.09 mm	y2= 78.50 mm
sigma1=	-223.81 MPa	sigma2=	-223.81 Mpa	stress ratio psi=	1.00	
Ksigma=	4.00	Lambda,p=	0.91	rho=	0.836	
Partially effective element. Area = 9.676e+001 mm <sup>2</sup> (Area,kgr = 0.000e+000 mm <sup>2</sup> )						
beff at end 1=32.254 mm -beff at end 2=32.254 mm -uneffective width =12.673 mm						
Element #4 : doubly supported element						
b=78.50 mm	gr1=0.66 mm	gr2=0.66 mm	bP=77.18 mm	t=1.50 mm	bP:t =	51.45
x1=	92.75 mm	y1=	77.84 mm	x2=	92.75 mm	y2= 0.66 mm
sigma1=	-223.81 MPa	sigma2=	-223.81 Mpa	stress ratio psi=	1.00	
Ksigma=	4.00	Lambda,p=	0.91	rho=	0.836	
Partially effective element. Area = 9.676e+001 mm <sup>2</sup> (Area,kgr = 0.000e+000 mm <sup>2</sup> )						
beff at end 1=32.254 mm -beff at end 2=32.254 mm -uneffective width =12.673 mm						
Element #5 : outstand element (stiffener) supported at end 1, free at end 2						
b=14.25 mm	gr1=0.66 mm	gr2=0.00 mm	bP=13.59 mm	t=1.50 mm	bP:t =	9.06
x1=	93.41 mm	y1=	0.00 mm	x2=	107.00 mm	y2= 0.00 mm
sigma1=	-223.81 MPa	sigma2=	-223.81 Mpa			
Ksigma=	0.50	Lambda,p=	0.45	Chi=	0.66	Lambda,p,red= 0.37 rho= 1.000
Fully effective element. Area = 2.039e+001 mm <sup>2</sup> (Area,kgr = 0.000e+000 mm <sup>2</sup> )						
Start stiffener will be modified (distorsional buckling).						
As=75.631 mm <sup>2</sup> Is=1.152e+003 mm <sup>4</sup> K=2.030e-001 N/mm <sup>2</sup> , s,cr= 185.273 MPa lam,s =1.13 Chi=0.66						
End stiffener will be modified (distorsional buckling).						
As=75.631 mm <sup>2</sup> Is=1.152e+003 mm <sup>4</sup> K=2.030e-001 N/mm <sup>2</sup> , s,cr= 185.273 MPa lam,s =1.13 Chi= 0.66						

Con lo stesso schema visto per il calcolo dell'area efficace a compressione, vengono riportati i dati relativi al calcolo del modulo efficace di resistenza a momento flettente M2 positivo.

-----						
- Effective bending modulus due to a positive M2 -						
-----						
Element #1 : outstand element (stiffener) supported at end 2, free at end 1						
b=14.25 mm	gr1=0.00 mm	gr2=0.66 mm	bP=13.59 mm	t=1.50 mm	bP:t =	9.06
x1=	0.00 mm	y1=	0.00 mm	x2=	13.59 mm	y2= 0.00 mm
sigma1=	-223.81 MPa	sigma2=	-223.81 Mpa			
Ksigma=	0.50	Lambda,p=	0.45	Chi=	0.79	Lambda,p,red= 0.40 rho= 1.000
Fully effective element. Area = 2.039e+001 mm <sup>2</sup> (Area,kgr = 0.000e+000 mm <sup>2</sup> )						
Element #2 : doubly supported element						
b=78.50 mm	gr1=0.66 mm	gr2=0.66 mm	bP=77.18 mm	t=1.50 mm	bP:t =	51.45
x1=	14.25 mm	y1=	0.66 mm	x2=	14.25 mm	y2= 77.84 mm
sigma1=	-220.81 MPa	sigma2=	130.30 Mpa	stress ratio psi=	-0.59	
Ksigma=	14.93	Lambda,p=	0.47	rho=	1.000	



```

Fully effective element. Area = 1.158e+002 mm² (Area,kgr = 0.000e+000 mm²)

Element      #3 : doubly supported element
b=78.50 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.66 mm  bP=77.18 mm  t=1.50 mm  bP:t =   51.45
x1=      14.91 mm  y1=      78.50 mm  x2=      92.09 mm  y2=      78.50 mm
sigma1=  133.29 MPa  sigma2=   133.29 Mpa  stress ratio psi=    0.00
Ksigma=  0.00      Lambda,p= 0.00      rho=    1.000
Fully effective element. Area = 1.158e+002 mm² (Area,kgr= 0.000e+000 mm²)

Element      #4 : doubly supported element
b=78.50 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.66 mm  bP=77.18 mm  t=1.50 mm  bP:t =   51.45
x1=      92.75 mm  y1=      77.84 mm  x2=      92.75 mm  y2=      0.66 mm
sigma1=  130.30 MPa  sigma2=  -220.81 Mpa  stress ratio psi=   -0.59
Ksigma=  14.93      Lambda,p= 0.47      rho=    1.000
Fully effective element. Area = 1.158e+002 mm² (Area,kgr = 0.000e+000 mm²)

Element      #5 : outstand element (stiffener) supported at end 1, free at end 2
b=14.25 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.00 mm  bP=13.59 mm  t=1.50 mm  bP:t =9.06
x1=      93.41 mm  y1=      0.00 mm  x2=     107.00 mm  y2=      0.00 mm
sigma1= -223.81 MPa  sigma2=  -223.81 Mpa
Ksigma=  0.50      Lambda,p= 0.45  Chi=    0.79  Lambda,p,red=   0.40  rho=    1.000
Fully effective element. Area = 2.039e+001 mm² (Area,kgr = 0.000e+000 mm²)

Start stiffener will be modified (distorsional buckling).
As=49.510 mm² Is=9.857e+002 mm⁴ K=2.030e-001 N/mm², s,cr= 261.828 MPa lam,s =0.95 Chi=0.79

End stiffener will be modified (distorsional buckling).
As=49.510 mm² Is=9.857e+002 mm⁴ K=2.030e-001 N/mm², s,cr= 261.828 MPa lam,s =0.95 Chi=0.79

```

Lo stesso viene fatto per il momento flettente M2 negativo.

```

-----
- Effective bending modulus due to a negative M2 -
-----

Element      #1 : outstand element supported at end 2, free at end 1
b=14.25 mm  gr1=0.00 mm  gr2=0.66 mm  bP=13.59 mm  t=1.50 mm  bP:t =9.06
x1=      0.00 mm  y1=      0.00 mm  x2=      13.59 mm  y2=      0.00 mm
sigma1=  223.81 MPa  sigma2=   223.81 Mpa  stress ratio psi=    0.00
Ksigma=  0.00      Lambda,p= 0.00      rho=    1.000
Fully effective element. Area = 2.039e+001 mm² (Area,kgr= 0.000e+000 mm²)

Element      #2 : doubly supported element
b=78.50 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.66 mm  bP=77.18 mm  t=1.50 mm  bP:t =   51.45
x1=      14.25 mm  y1=      0.66 mm  x2=      14.25 mm  y2=      77.84 mm
sigma1=  220.55 MPa  sigma2=  -161.59 Mpa  stress ratio psi=   -1.36
Ksigma=  33.44      Lambda,p= 0.31      rho=    1.000
Fully effective element. Area = 1.158e+002 mm² (Area,kgr = 0.000e+000 mm²)

```

```

Element      #3 : doubly supported element
b=78.50 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.66 mm  bP=77.18 mm  t=1.50 mm  bP:t =    51.45
x1=      14.91 mm  y1=      78.50 mm  x2=      92.09 mm  y2=      78.50 mm
sigma1= -164.85 MPa  sigma2= -164.85 Mpa  stress ratio psi=    1.00
Ksigma= 4.00      Lambda,p= 0.91      rho=    0.836
Partially effective element. Area = 9.676e+001 mm² (Area,kgr = 0.000e+000 mm²)
beff at end 1=32.254 mm -beff at end 2=32.254 mm -uneffective width =12.673 mm

```

```

Element      #4 : doubly supported element
b=78.50 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.66 mm  bP=77.18 mm  t=1.50 mm  bP:t =    51.45
x1=      92.75 mm  y1=      77.84 mm  x2=      92.75 mm  y2=      0.66 mm
sigma1= -161.59 MPa  sigma2=  220.55 Mpa  stress ratio psi=   -1.36
Ksigma= 33.44      Lambda,p= 0.31      rho=    1.000
Fully effective element. Area = 1.158e+002 mm² (Area,kgr = 0.000e+000 mm²)

```

```

Element      #5 : outstand element supported at end 1, free at end 2
b=14.25 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.00 mm  bP=13.59 mm  t=1.50 mm  bP:t =9.06
x1=      93.41 mm  y1=      0.00 mm  x2=     107.00 mm  y2=      0.00 mm
sigma1=  223.81 MPa  sigma2=  223.81 Mpa  stress ratio psi=    0.00
Ksigma= 0.00      Lambda,p= 0.00      rho=    1.000
Fully effective element. Area = 2.039e+001 mm² (Area,kgr= 0.000e+000 mm²)

```

Start stiffener is in tension.

End stiffener is in tension.

Quindi per il momento flettente M3 positivo...

```

-----
- Effective bending modulus due to a positive M3 -
-----

```

```

Element      #1 : outstand element supported at end 2, free at end 1
b=14.25 mm  gr1=0.00 mm  gr2=0.66 mm  bP=13.59 mm  t=1.50 mm  bP:t =9.06
x1=      0.00 mm  y1=      0.00 mm  x2=      13.59 mm  y2=      0.00 mm
sigma1=  149.72 MPa  sigma2=  102.27 Mpa  stress ratio psi=    0.00
Ksigma= 0.00      Lambda,p= 0.00      rho=    1.000
Fully effective element. Area = 2.039e+001 mm² (Area,kgr= 0.000e+000 mm²)

```

```

Element      #2 : doubly supported element
b=78.50 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.66 mm  bP=77.18 mm  t=1.50 mm  bP:t =    51.45
x1=      14.25 mm  y1=      0.66 mm  x2=      14.25 mm  y2=      77.84 mm
sigma1=  100.29 MPa  sigma2=  137.63 Mpa  stress ratio psi=    0.00
Ksigma= 0.00      Lambda,p= 0.00      rho=    1.000
Fully effective element. Area = 1.158e+002 mm² (Area,kgr = 0.000e+000 mm²)

```

```

Element      #3 : doubly supported element
b=78.50 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.66 mm  bP=77.18 mm  t=1.50 mm  bP:t =    51.45

```

```

x1=      14.91 mm  y1=      78.50 mm  x2=      92.09 mm  y2=      78.50 mm
sigma1=  135.65 MPa  sigma2=  -133.79 Mpa  stress ratio psi=  -1.01
Ksigma=  24.25      Lambda,p=  0.37      rho=      1.000
Fully effective element. Area = 1.158e+002 mm2 (Area,kgr=  0.000e+000 mm2)

Element      #4 : doubly supported element
b=78.50 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.66 mm  bP=77.18 mm  t=1.50 mm  bP:t =  51.45
x1=      92.75 mm  y1=      77.84 mm  x2=      92.75 mm  y2=      0.66 mm
sigma1=  -136.41 MPa  sigma2=  -173.74 Mpa  stress ratio psi=  0.79
Ksigma=  4.47      Lambda,p=  0.86      rho=      0.883
Partially effective element. Area = 1.023e+002 mm2 (Area,kgr = 0.000e+000 mm2)
beff at end 1=35.827 mm -beff at end 2=32.351 mm -uneffective width = 9.004 mm

Element      #5 : outstand element (stiffener) supported at end 1, free at end 2
b=14.25 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.00 mm  bP=13.59 mm  t=1.50 mm  bP:t =9.06
x1=      93.41 mm  y1=      0.00 mm  x2=     107.00 mm  y2=      0.00 mm
sigma1=  -176.36 MPa  sigma2=  -223.81 Mpa
Ksigma=  0.50      Lambda,p=  0.45      Chi=      0.65      Lambda,p,red=  0.37      rho=      1.000
Fully effective element. Area = 2.039e+001 mm2 (Area,kgr = 0.000e+000 mm2)

Start stiffener is in tension.
End stiffener will be modified (distorsional buckling).
As=75.816 mm2 Is=1.152e+003 mm4 K=2.030e-001 N/mm2, s,cr= 184.883 MPa lam,s =1.13 Chi=0.65

```

E per il momento flettente M3 negativo.

```

-----
- Effective bending modulus due to a negative M3 -
-----

Element      #1 : outstand element (stiffener) supported at end 2, free at end 1
b=14.25 mm  gr1=0.00 mm  gr2=0.66 mm  bP=13.59 mm  t=1.50 mm  bP:t =9.06
x1=      0.00 mm  y1=      0.00 mm  x2=     13.59 mm  y2=      0.00 mm
sigma1=  -223.81 MPa  sigma2=  -176.36 Mpa
Ksigma=  0.50      Lambda,p=  0.45      Chi=      0.65      Lambda,p,red=  0.37      rho=      1.000
Fully effective element. Area = 2.039e+001 mm2 (Area,kgr = 0.000e+000 mm2)

Element      #2 : doubly supported element
b=78.50 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.66 mm  bP=77.18 mm  t=1.50 mm  bP:t =  51.45
x1=      14.25 mm  y1=      0.66 mm  x2=      14.25 mm  y2=      77.84 mm
sigma1=  -173.74 MPa  sigma2=  -136.41 Mpa  stress ratio psi=  0.79
Ksigma=  4.47      Lambda,p=  0.86      rho=      0.883
Partially effective element. Area = 1.023e+002 mm2 (Area,kgr = 0.000e+000 mm2)
beff at end 1=32.351 mm -beff at end 2=35.827 mm -uneffective width = 9.004 mm

Element      #3 : doubly supported element
b=78.50 mm  gr1=0.66 mm  gr2=0.66 mm  bP=77.18 mm  t=1.50 mm  bP:t =  51.45
x1=      14.91 mm  y1=      78.50 mm  x2=      92.09 mm  y2=      78.50 mm

```

sigma1=	-133.79 MPa	sigma2=	135.65 Mpa	stress ratio psi=	-1.01
Ksigma=	24.25	Lambda,p=	0.37	rho=	1.000
Fully effective element. Area = 1.158e+002 mm <sup>2</sup> (Area,kgr= 0.000e+000 mm <sup>2</sup> )					
Element #4 : doubly supported element					
b=	78.50 mm	gr1=	0.66 mm	gr2=	0.66 mm
bP=	77.18 mm	t=	1.50 mm	bP:t =	51.45
x1=	92.75 mm	y1=	77.84 mm	x2=	92.75 mm
y2=	0.66 mm				
sigma1=	137.63 MPa	sigma2=	100.29 Mpa	stress ratio psi=	0.00
Ksigma=	0.00	Lambda,p=	0.00	rho=	1.000
Fully effective element. Area = 1.158e+002 mm <sup>2</sup> (Area,kgr = 0.000e+000 mm <sup>2</sup> )					
Element #5 : outstand element supported at end 1, free at end 2					
b=	14.25 mm	gr1=	0.66 mm	gr2=	0.00 mm
bP=	13.59 mm	t=	1.50 mm	bP:t =	9.06
x1=	93.41 mm	y1=	0.00 mm	x2=	107.00 mm
y2=	0.00 mm				
sigma1=	102.27 MPa	sigma2=	149.72 Mpa	stress ratio psi=	0.00
Ksigma=	0.00	Lambda,p=	0.00	rho=	1.000
Fully effective element. Area = 2.039e+001 mm <sup>2</sup> (Area,kgr= 0.000e+000 mm <sup>2</sup> )					
Start stiffener will be modified (distorsional buckling).					
As=75.816 mm <sup>2</sup> Is=1.152e+003 mm <sup>4</sup> K=2.030e-001 N/mm <sup>2</sup> , s,cr= 184.883 MPa lam,s =1.13 Chi=0.65					
End stiffener is in tension.					

Viene riportata la classe calcolata per la sezione in esame.

The cross-section is in class 4

Infine, vengono riepilogati i valori salienti della sezione: l'area efficace  $A_{eff}$ , gli shift della sezione efficace lungo gli assi principali ( $e_{N2}$ ,  $e_{N3}$ ), i moduli di resistenza positivo e negativo della sezione efficace per flessione attorno all'asse 2 ( $W_{eff2p}$  e  $W_{eff2m}$ ) e i corrispondenti valori rispetto all'asse 3 ( $W_{eff3p}$  e  $W_{eff3m}$ ).

Aeff	: effective area
eN2	: shift of effective section center along axis 2
eN3	: shift of effective section center along axis 3
Weff2p	: effective modulus for positive bending M2
Weff2m	: effective modulus for negative bending M2
Weff3p	: effective modulus for positive bending M3
Weff3m	: effective modulus for negative bending M3
Aeff= 2.927e+002 mm <sup>2</sup> eN2= 0.000e+000 mm - eN3= 4.278e+000 mm	
Weff2p= 6.006e+003 mm <sup>3</sup> - Weff2m= 6.941e+003 mm <sup>3</sup>	
Weff3p= 6.830e+003 mm <sup>3</sup> - Weff3m= 6.830e+003 mm <sup>3</sup>	

## SEZIONI COMPOSTE DA ANGOLARI (DIALOGO)

Questo dialogo è usato per le sezioni composte da angolari. Assume diversi aspetti a seconda del tipo di sezione composta per la quale è usato. Sono possibili tre casi:

**Sezioni composte ad L**

L 30x20x3 L

☐ Lato lungo

1 d

Nessun Nome

38.4 A 0 it

354 J2 49.303621 w2

777.2602 J3 74.024781 w3

12.666 Jt 49.303621 wpl2

3.0362394 i2 74.024781 wpl3

4.4990165 i3 780 U

Nessun Nome Nome OK Aggiorna Cancel

**Due angolari a T**

**Sezioni composte ad L**

L 30x20x3 L

1 d

Nessun Nome

Nessun Nome Nome

OK Aggiorna Cancel

38.4 A 0 it

992.5204 J2 127.60325 w2

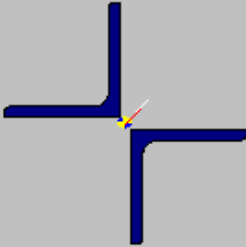
562 J3 79.478804 w3

12.666 Jt 127.60325 wpl2

5.0839832 i2 79.478804 wpl3

3.8256263 i3 780 U

Nessun Nome



Due angolari a croce

**Sezioni composte ad L**

L 30x20x3 L

1 d

Nessun Nome

Nessun Nome Nome

OK Aggiorna Cancel

76.8 A 0 it

1554.5204 J2 148.04956 w2

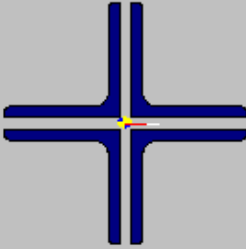
1554.5204 J3 148.04956 w3

25.332 Jt 148.04956 wpl2

4.4990165 i2 148.04956 wpl3

4.4990165 i3 1560 U

Nessun Nome



Quattro angolari a croce

In tutti i casi occorre selezionare dalla lista l'angolare base da usare per comporre la sezione. Il tasto **Aggiorna** aggiorna i dati di conseguenza. La distanza d viene data per stabilire

la distanza interna tra gli spigoli, che nelle sezioni a croce è sempre eguale nelle due direzioni. La distanza  $d$  viene tenuta in conto nel calcolo delle proprietà.

Nel caso della sezione a T occorre specificare se il lato di contatto è quello lungo o quello corto. Questa informazione è ovviamente superflua nel caso di angolari a lati eguali.

Per il significato dei simboli si vedano i [dettagli](#) .

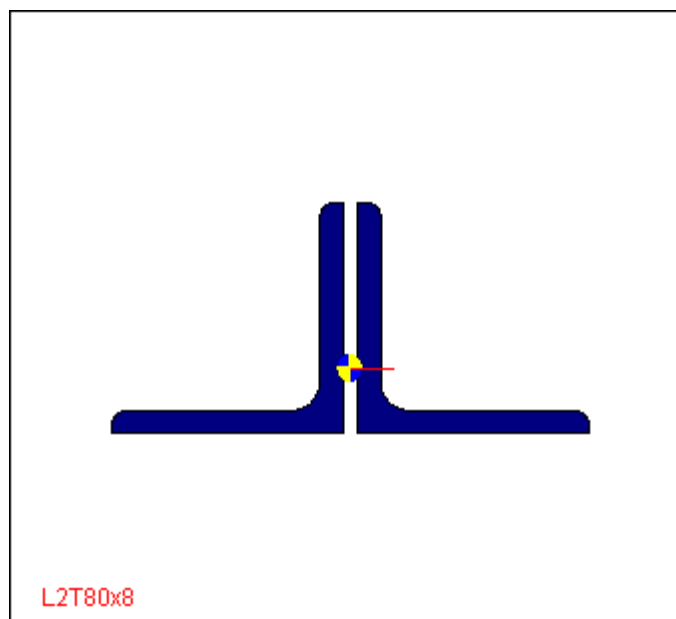
## SEZIONI COMPOSTE DA ANGOLARI (DETTAGLI)

[2 Angolari a T](#) 

[2 Angolari a croce](#) 

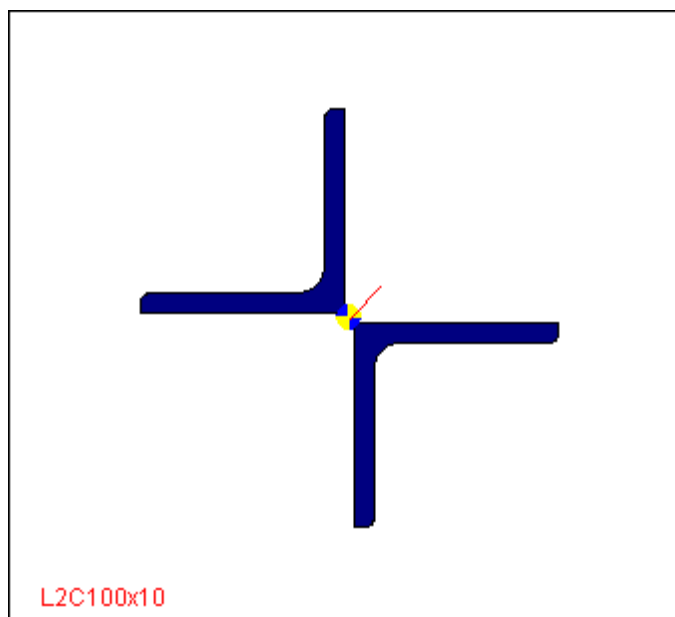
[4 Angolari a croce](#) 

### 2 ANGOLARI COMPOSTI A T



Queste sezioni sono individuate da tre informazioni: il nome del profilo componente, il lato (lungo o corto) sul quale è realizzata l'unione, la distanza interna netta tra i due profili d. La distanza è tenuta in conto nel calcolo delle caratteristiche sezionali.

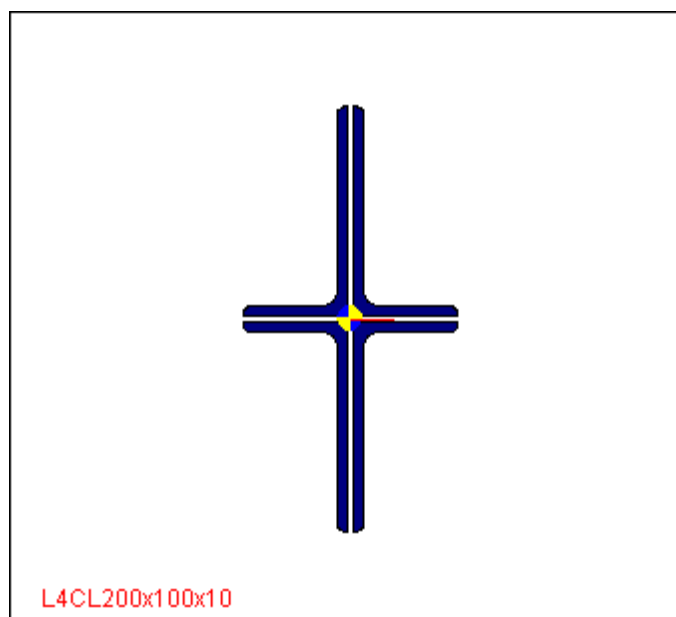
## 2 ANGOLARI COMPOSTI A CROCE



Queste sezioni sono individuate dal nome del profilo componente e dalla distanza netta d tra i profili (si assume che gli spigoli interni dei profili stiano su un quadrato di lato pari a d). La distanza è tenuta in conto nel calcolo delle caratteristiche sezionali.

## 4 ANGOLARI COMPOSTI A CROCE





Queste sezioni sono individuate dal nome del profilo componente e dalla distanza netta  $d$  tra i profili (si assume che gli spigoli interni dei profili stiano su un quadrato di lato pari a  $d$ ). La distanza è tenuta in conto nel calcolo delle caratteristiche sezionali.

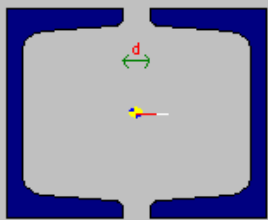
### SEZIONI COMPOSTE DA CANTONALI (DIALOGO)

Questo dialogo è usato per le sezioni composte da angolari. Assume diversi aspetti a seconda del tipo di sezione composta per la quale è usato. Sono possibili due casi:

**Sezioni composte ad U**

d

U



Nessun Nome

2200	A	12.990381	it
2120000	J2	53000	w2
3160550	J3	63211	w3
43200	Jt	53000	wpl2
31.042493	i2	78100	wpl3
37.902687	i3	7800	U

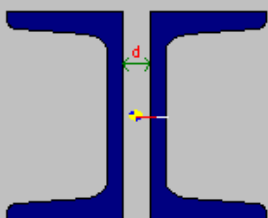
Nome

Due cantonali a ||

**Sezioni composte ad U**

d

U



Nessun Nome

2200	A	12.990381	it
2120000	J2	53000	w2
1224550	J3	24491	w3
43200	Jt	53000	wpl2
31.042493	i2	42900	wpl3
23.592660	i3	7800	U

Nome

Due cantonali a | ]

In tutti i casi occorre selezionare dalla lista il cantonale base da usare per comporre la sezione. Il tasto **Aggiorna** aggiorna i dati di conseguenza. La distanza d viene data per stabilire la distanza interna tra gli spigoli. La distanza d viene tenuta in conto nel calcolo delle proprietà.

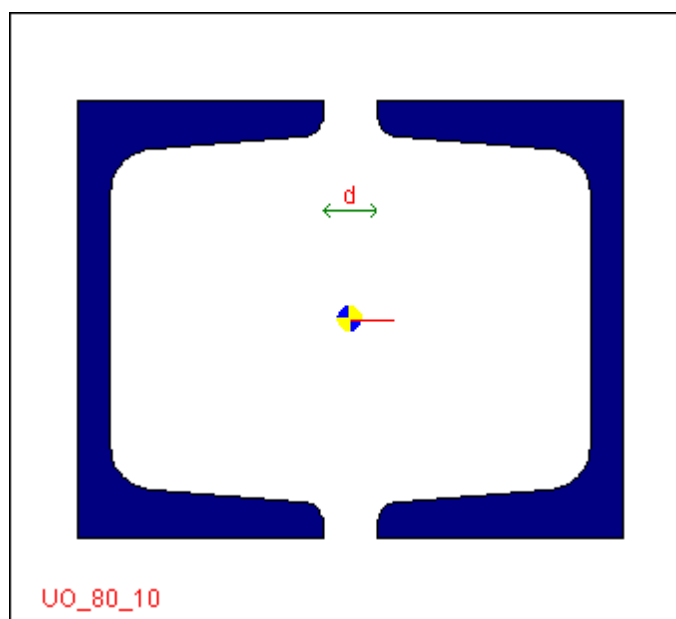
Per il significato dei simboli si vedano i [dettagli](#) <sup>973</sup>.

## SEZIONI COMPOSTE DA CANTONALI (DETTAGLI)

[2 Cantonali a \[ \]](#)  973

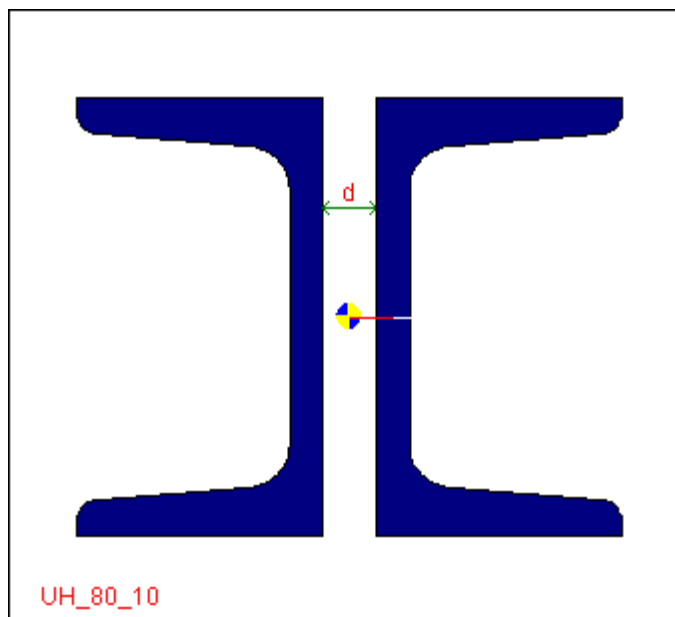
[2 Cantonali a \] \[](#)  973

### 2 CANTONALI A [ ]



Queste sezioni sono individuate dal nome del cantonale usato per comporle e dalla distanza interna  $d$  tra i due profili. La distanza è tenuta in conto nel calcolo delle caratteristiche sezionali.

### 2 CANTONALI A ] [



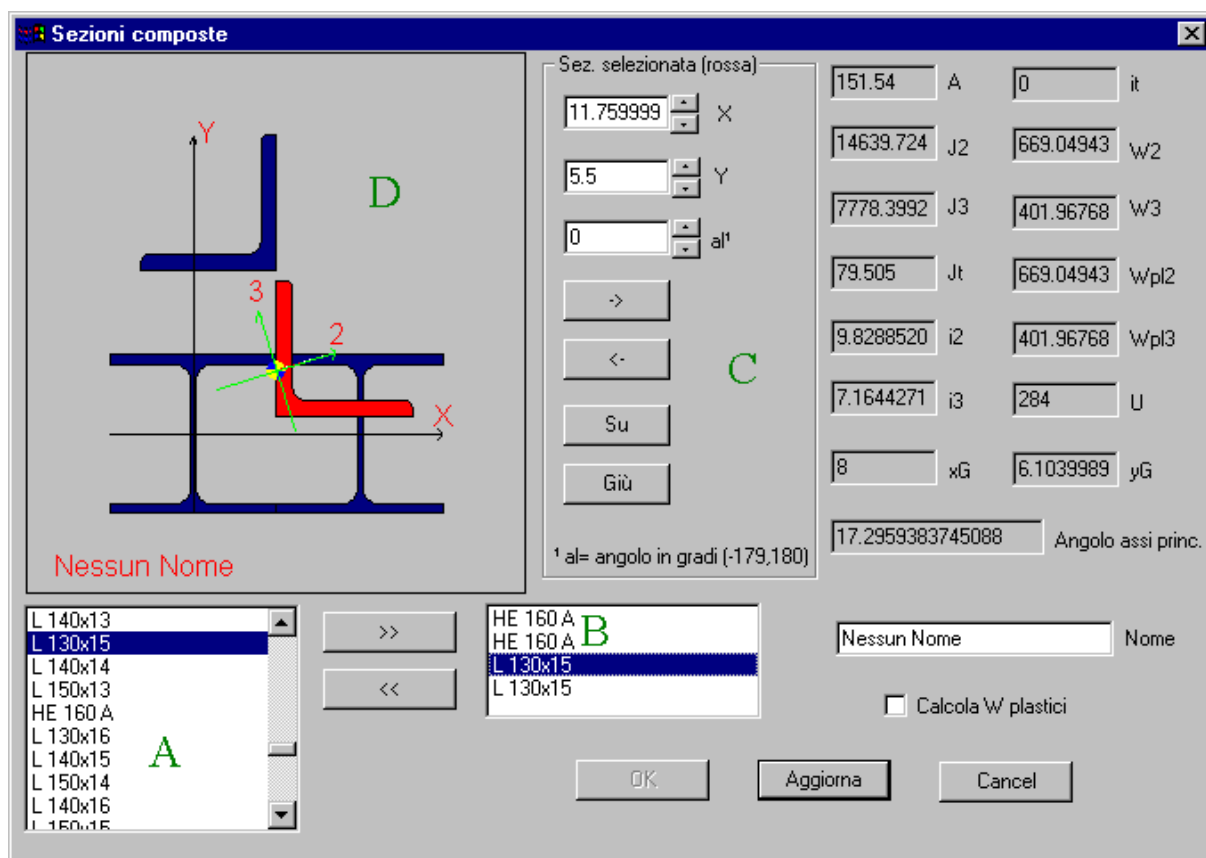
Queste sezioni sono individuate dal nome del cantonale usato per comporle e dalla distanza interna  $d$  tra i due profili. La distanza è tenuta in conto nel calcolo delle caratteristiche sezionali

### SEZIONI COMPOSTE GENERICHE E SEZIONI MISTE (DIALOGO)

Questo importante dialogo è la sede ove vengono introdotti i dati relativi alle sezioni composte ed è quindi un vero e proprio ambiente di lavoro. Il dialogo è usato anche per restituire informazioni sulla sezione.

Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti).

Se il dialogo viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.



### Significato ed uso dei controlli

#### **Controllo A (vedi disegno)**

Qui vengono listate tutte le sezioni disponibili, ovvero tutte le sezioni che possono essere usate per comporre la nuova sezione. Le sezioni disponibili sono quelle che erano state estratte al momento della richiesta di aggiungere una nuova sezione composta generica. Pertanto, prima di richiedere l'aggiunta è necessario estrarre dall'archivio un gruppo di sezioni che contenga quelle che si intendono usare. Tra le sezioni che si possono usare vi sono le sezioni composte e quelle formate a freddo, sicchè è possibile avere sezioni composte da sezioni composte e sezioni composte da formate a freddo (anche miste con laminate e saldate).

#### **Controllo B (vedi disegno)**

Qui vengono elencate le sezioni che compongono la sezione, vale a dire le sezioni scelte sino al momento attuale (o tutte le sezioni, dipende). La sezione selezionata (in blu) è quella che viene colorata di rosso nel disegno della sezione complessiva.

### **Pulsante >>**

Serve ad aggiungere la sezione selezionata nel controllo A alle sezioni componenti (controllo B).

### **Pulsante <<**

Serve ad rimuovere la sezione selezionata nel controllo B, ovvero ad eliminare una delle sezioni componenti.

### **Controlli nella zona C (vedi disegno)**

Questi controlli vengono usati per muovere la sezione selezionata nel controllo B. I controlli “X”, “Y” ed “al” indicano la coordinata X e quella Y del baricentro della sezione selezionata e l’angolo al di rotazione degli assi di riferimento della sezione selezionata rispetto agli assi globali della sezione composta (si veda l’[articolo](#)<sup>1693</sup> che descrive il problema). I pulsanti “->”, “<-“, “Su” e “Giù” servono a traslare la sezione selezionata di una quantità tale da far sì che la sezione sia tangente ad una delle altre sezioni. La direzione dipende dal pulsante. L’uso di questi pulsanti è molto comodo perchè consente di posizionare rapidamente nella posizione corretta le sezioni componenti.

### **Controllo “calcola W plastici”**

Se questo controllo è attivato (segno di spunta presente) il calcolo della situazione corrente includerà il procedimento iterativo per il calcolo dei moduli plastici (si veda l’[articolo](#)<sup>1693</sup> che descrive il problema). Si consiglia di attivare il controllo solo dopo aver completato la descrizione della sezione, altrimenti il movimento delle sezioni risulta rallentato. Dopo aver

fatto il segno di spunta occorre premere il tasto **Aggiorna**. Se il calcolo dei moduli plastici non viene richiesto, questi vengono posti eguali ai moduli elastici.

### **Tasto Aggiorna**

E' usato per aggiornare i dati di calcolo dopo una variazione che non comporti l'aggiornamento automatico. Se ad esempio si modifica manualmente il valore dei dati riportati nei controlli "X", "Y", "al", o si modifica il valore del controllo "calcola W plastici", dopo di ciò occorre aggiornare i dati con il tasto **Aggiorna**.

### **Come si aggiungono le sezioni composte**

Dopo aver scelto l'insieme delle sezioni componenti si sceglie di aggiungere una sezione composta e ci si trova di fronte a questo dialogo.

Le sezioni componenti vengono scelte dal controllo A e inserite nel controllo B usando il tasto ">>". A questo punto si seleziona ciascuna sezione e la si posiziona ove desiderato usando i controlli nella zona C. Particolarmente utili sono i tasti che cercano le condizioni di tangenza, poichè di solito i fili delle varie sezioni sono tra loro allineati. Se si vuole sostituire una sezione aggiunta, prima la si deve rimuovere usando il tasto "<<", poi si aggiunge la sezione desiderata al suo posto.

Se nel corso del lavoro di posizionamento delle sezioni si transita per una situazione fisicamente inammissibile (sezioni sovrapposte o incluse), il tasto "OK" diviene grigio, ad indicare che la sezione non può essere accettata.

Nel muovere le sezioni si tenga presente che le coordinate della sezione corrente sono le coordinate del suo baricentro rispetto agli assi di riferimento globali (si veda l'[articolo](#)<sup>1693</sup> che descrive il problema).

**Se si vogliono avere informazioni di dettaglio su una delle sezioni componenti si può fare doppio click sulla corrispondente sezione (ciò vale sia per il controllo A che per il controllo B).**

Una volta ottenuta la sezione desiderata, si seleziona “Calcola W plastici” e si preme il tasto **Aggiorna**. I valori dei W plastici vengono in tal modo aggiornati e risultano – naturalmente – sempre maggiori dei corrispondenti moduli elastici.

La ricerca dei moduli plastici non è sempre un problema banale. Può capitare che l’algoritmo di calcolo non converga, segnalando il problema. In genere ciò capita quando l’asse neutro plastico capita in una zona ove sono presenti raccordi o curve brusche. In genere su sezioni dotate di un asse di simmetria il problema non compare.

Per il significato dei simboli si vedano i [dettagli](#)<sup>1986</sup>.

### NOTA IMPORTANTE DI AGGIORNAMENTO

**Sezioni composte**

Sez. selezionata (rossa)

0 X  
0 Y  
0 al<sup>1</sup>

-> <-  
Su Giù

Materiale  
Rbk250  
Cambia...

<sup>1</sup> al= angolo in gradi (-179,180)

21322.519 A 0 it  
575509376 J2 856739.56 W2  
558061376 J3 687553.43 W3  
20489040 Jt 856739.56 Wpl2  
164.28842 i2 687553.43 Wpl3  
161.77883 i3 3900 U  
0 xG -156.90360 yG  
0 X2 0 X3  
0 Angolo assi princ.

Nessun Nome Nome

☐ Calcola W plastici

Sezioni Miste  
E' mista se è premuto

Materiale di riferimento  
Fe360  
Cambia...

IPE 270  
IPE 300  
IPE 330  
**IPE 360**  
IPE 400  
IPE 450  
IPE 500  
IPE 550  
IPE 600  
SOLETTA 500x10  
RECT90x74

>>  
<<

OK  
Cancel

SOLETTA 500x10  
IPE 360  
IPE 360

Aggiorna



A partire dal novembre 2004 queste sezioni sono state ulteriormente ampliate per comprendere anche le sezioni miste. In sostanza le sezioni che compongono il profilo composto possono opzionalmente ricevere anche un materiale, e ciascuna, in generale, un materiale diverso.

Occorre poi scegliere un materiale di riferimento per la sezione composta finale, materiale rispetto al quale verranno omogeneizzate tutte le quantità di calcolo.

Per il calcolo dell'area, del baricentro, dei momenti di inerzia si usa il coefficiente di omogeneizzazione dato da  $K_{el}=E/E_r$ , dove  $E_r$  è il modulo di Young del materiale di riferimento.

Per il calcolo dei moduli di resistenza elastici, il calcolo è fatto in modo tale che moltiplicando **W per la tensione di snervamento del materiale di riferimento  $f_{yr}$** , si ottenga il momento di prima plasticizzazione della sezione, ovvero il momento al limite elastico (nel primo punto che arriva allo snervamento, qualsiasi sia il suo materiale).

$$M_{el} = W * f_{yr}$$

In pratica

$$W = \text{Min}\{ (J_{om} * K_{pl}) / (d K_{el}) \}$$

Dove:

- $J_{om}$  è il momento di inerzia omogeneizzato rispetto all'asse principale considerato;
- $K_{pl}$  è il rapporto tra la tensione di snervamento del materiale del punto considerato e la tensione di snervamento del materiale di riferimento;
- $K_{el}$  è il rapporto tra il modulo di Young del materiale del punto considerato ed il modulo di Young del materiale di riferimento;
- $d$  è la distanza del punto considerato dall'asse principale considerato.

Per il calcolo dei moduli di resistenza plastici, si fa in pratica il calcolo dei  $W$  plastici omogeneizzando le aree con il fattore  $K_{pl}$ , in modo che, moltiplicando il  **$W_{pl}$  per la tensione di snervamento del materiale di riferimento** si ottenga il momento di piena plasticizzazione della sezione.

$$M_{pl} = f_{yr} * W$$

E' da notare che non è necessario che alcuna delle sezioni abbia il materiale di riferimento, e quindi si può omogeneizzare rispetto a qualsiasi materiale.

I dati di moduli di elasticità e di tensione di snervamento sono quelli che figurano nell'archivio, senza l'applicazione di alcun coefficiente moltiplicativo.

### **Inquadramento "teorico"**

Il tipo sezionale "composte generiche" consente ora di definire sezioni miste, ovvero sezioni composte da diverse sezioni ciascuna delle quali di un materiale differente, tutte ricadenti nell'ipotesi di piena aderenza e di mantenimento delle sezioni piane.

Si possono così descrivere sezioni miste acciaio calcestruzzo, acciaio legno, con vari tipi di calcestruzzo o quel che si vuole.

Tutte le caratteristiche della sezione verranno riportate ad un materiale equivalente, rispetto al quale verranno omogeneizzate le varie parti componenti. Non è necessario che una sezione tra le componenti debba essere costituita del materiale di riferimento.

I materiali delle sezioni componenti vengono presi dall'archivio, che quindi deve contenerli. Detti:

$n$  il numero di sezioni presenti

$E_r$  il modulo di elasticità normale del materiale di riferimento

$E_i$  il modulo di elasticità normale del materiale generico del generico punto  $i$

$\sigma_{yr}$  la tensione di snervamento del materiale di riferimento

$\sigma_{yi}$  la tensione di snervamento del materiale generico del generico punto  $i$  di riferimento

$K_{eli} = E_i / E_r$

$K_{pli} = \sigma_{yi} / \sigma_{yr}$

Si ha

$$A = \sum_i^n \int_{A_i} K_{eli} dA$$

$$S_x = \sum_i^n \int_{A_i} y K_{pli} dA$$

$$S_y = \sum_i^n \int_{A_i} x K_{sli} dA$$

$$x_g = S_y / A$$

$$y_g = S_x / A$$

$$I_x = \sum_i^n \int_{A_i} y^2 K_{sli} dA$$

$$I_y = \sum_i^n \int_{A_i} x^2 K_{sli} dA$$

$$I_{xy} = \sum_i^n \int_{A_i} xy K_{sli} dA$$

Dopo di che per le vie normali si trovano gli assi principali ed i momenti di inerzia J2 e J3 rispetto agli assi principali.

Relativamente ai moduli di resistenza W, questi sono definiti in modo tale che essi, moltiplicati per la tensione di snervamento del materiale di riferimento, portino la sezione, in qualche suo punto, di qualche materiale, al primo snervamento.

In pratica, dato il punto Pi, avente materiale i, e detta d la distanza dall'asse principale considerato, si ha

Tensione nel punto come se fosse del materiale di riferimento:

$$\sigma_r = Md/J$$

Tensione omogeneizzata (la vera tensione del materiale reale in quel punto):

$$\sigma_i = MK_{elid}/J$$

La condizione limite si ha quando tale tensione è eguale allo snervamento del materiale "i", e quindi:

$$MK_{elid}/J = K_{pli} \sigma_{yr}$$

Il momento che attinge tale valore è dato da

$$M = (K_{pli} J / d K_{eli}) \sigma_{yr}$$

Quindi il modulo di resistenza della sezione mista è dato, al variare dei punti  $i$ , dal minimo valore di

$$W = \min\{K_{pli}J/dK_{eli}\}$$

Con tale assunzione, il momento al limite elastico della sezione si ottiene nel solito modo,  $M = W\sigma_{yr}$ .

Per quanto riguarda i moduli plastici, questi sono ottenuti omogeneizzando le aree con  $K_{pl}$  anziché con  $K_{el}$ , e vale la seguente formula:

$$M_{pl} = W_{pl}\sigma_{yr}$$

Cioè, il momento di piena plasticizzazione della sezione si ottiene moltiplicando  $W_{pl}$  per la tensione di snervamento del materiale di riferimento.

Vale ora la pena di dire alcune cose sull'uso di questi dati.

Con le sezioni miste occorre regolarsi in questo modo. Le sezioni vanno attribuite agli elementi nel modo consueto, ma per avere senso l'uso di queste sezioni deve essere fatto assegnando come materiale a queste sezioni solo ed unicamente il materiale di riferimento, vale a dire il materiale rispetto al quale le caratteristiche sezionali sono state omogeneizzate.

Con questa avvertenza, le sezioni miste possono essere usate al pari delle altre, ed il comportamento elastico delle travi miste può essere correttamente modellato, in modo da giungere a sollecitazioni e spostamenti coerenti con la teoria.

Per quanto riguarda i risultati ottenibili successivamente, occorre osservare quanto segue.

I valori di tensione ( $N/A$ ), ( $M/W$ ) e ( $N/A + M/W$ ) non hanno alcun senso, in quanto la tensione ottenuta è una tensione ideale omogeneizzata, vale a dire che è la tensione che si avrebbe nel punto di prima plasticizzazione se questo fosse costituito dal materiale di riferimento, cosa che in generale non è vera.

Una stima indiretta del grado di sfruttamento della sezione in campo elastico è data dalla seguente quantità adimensionale:

$$sfr = \left| \frac{N}{N_{\epsilon i}} \right| + \left| \frac{M_2}{M_{2\epsilon i}} \right| + \left| \frac{M_3}{M_{3\epsilon i}} \right| = \left| \frac{N}{A_{\epsilon i} \sigma_{yr}} \right| + \left| \frac{M_2}{W_{2\epsilon i} \sigma_{yr}} \right| + \left| \frac{M_3}{W_{3\epsilon i} \sigma_{yr}} \right|$$

nella quale i W sono i W calcolati dal programma e già descritti precedentemente come W elastici, mentre  $A_{\epsilon i}$  è un'area omogeneizzata definita in modo tale da ottenere l'azione assiale di prima plasticizzazione quando moltiplicata per  $\sigma_{yr}$ .

Posto

$$N = \sum_{i=1}^n \int_{A_i} (\epsilon E_i) dA = \epsilon \left( \sum_{i=1}^n \int_{A_i} E_i dA \right) = \epsilon E_r \left( \sum_{i=1}^n \int_{A_i} K_{\epsilon i i} dA \right) = \epsilon E_r A$$

dove A è l'area omogeneizzata calcolata dal programma, l'azione assiale di prima plasticizzazione si ottiene imponendo che la tensione normale nel generico punto sia eguale a quella di snervamento, e prendendo l'azione assiale minima:

$$\epsilon = \frac{N}{E_r A}$$

$$\sigma_i = E_i \frac{N}{E_r A} = \sigma_{yi}$$

dalla precedente si ottiene nel generico punto

$$N = A \frac{K_{pli}}{K_{\epsilon i i}} \sigma_{yr}$$

e quindi

$$A_{\epsilon i} = A \min \left\{ \frac{K_{pli}}{K_{\epsilon i i}} \right\}$$

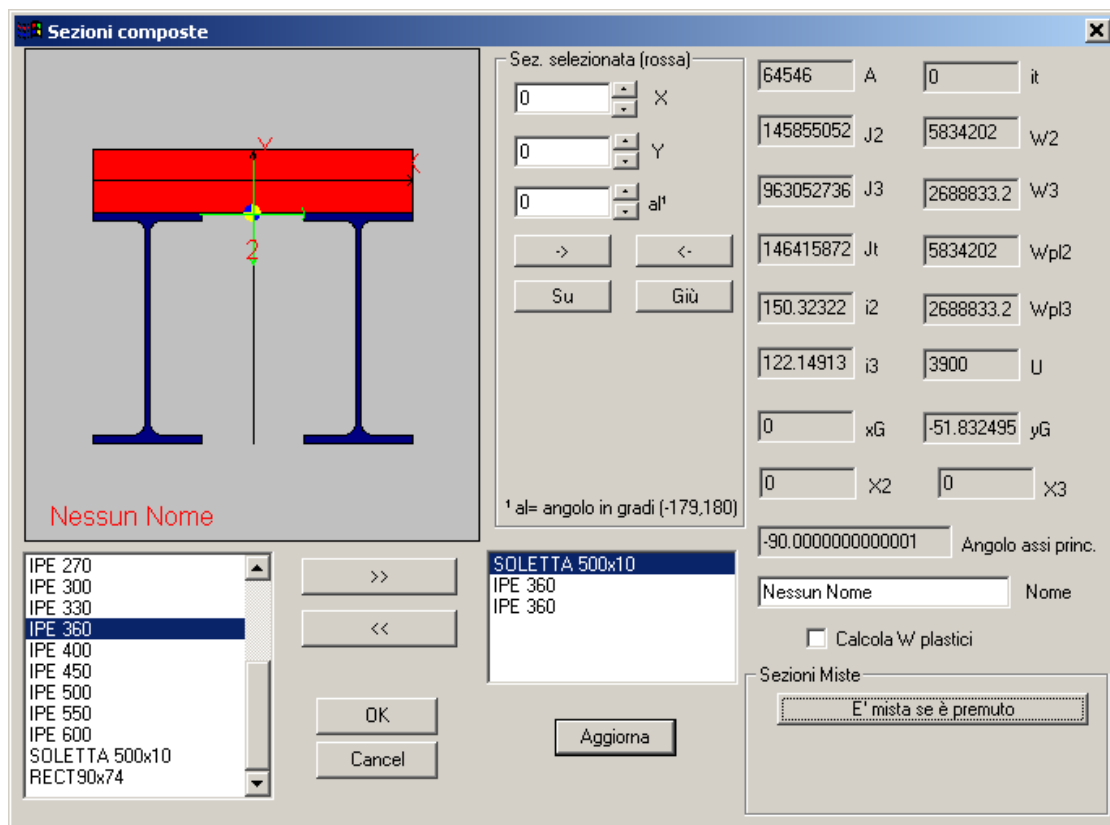
L'azione assiale di piena plasticizzazione, si ottiene invece dalla seguente relazione

$$A_{pl} = \sum_i^n \int_{A_i} K_{pi} dA$$

Con questi risultati possiamo ora scrivere un coefficiente di sfruttamento plastico nel seguente modo:

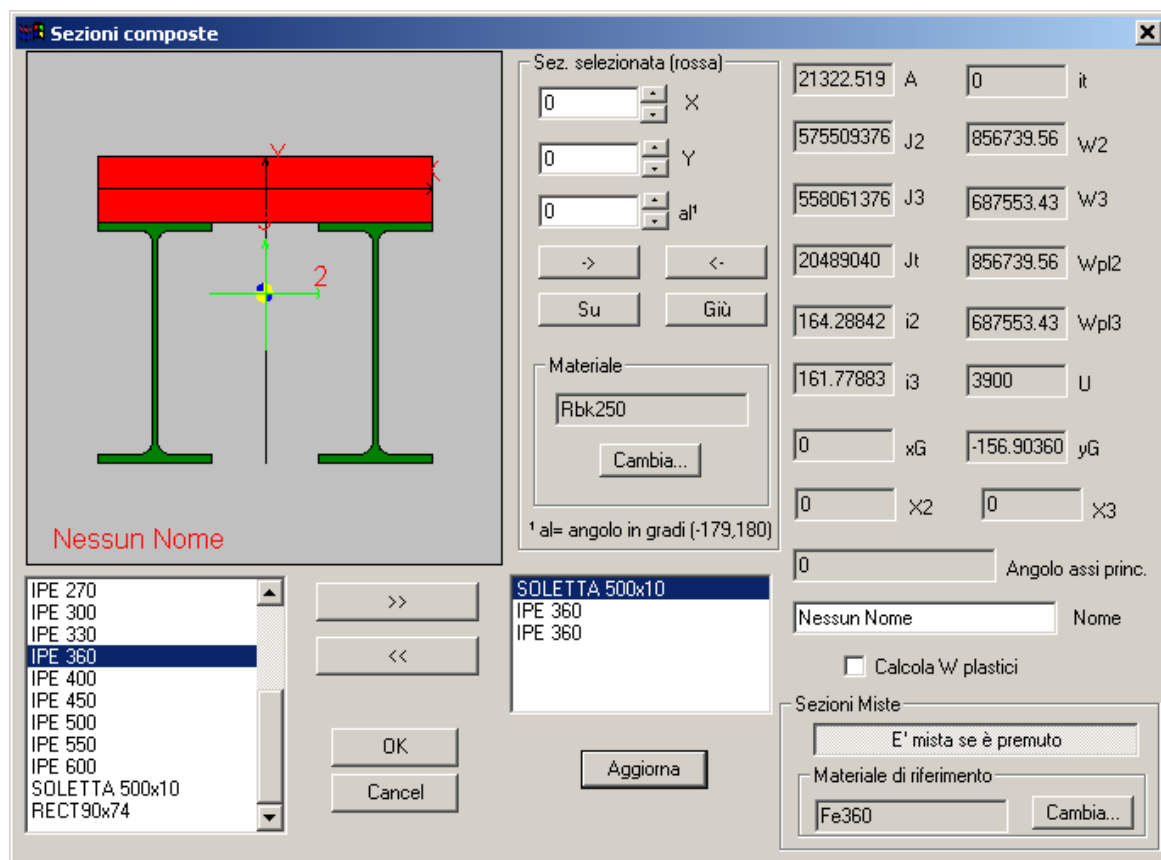
$$sfr = \left| \frac{N}{N_{pl}} \right| + \left| \frac{M_2}{M_{2pl}} \right| + \left| \frac{M_3}{M_{3pl}} \right| = \left| \frac{N}{A_{pl} \sigma_{yr}} \right| + \left| \frac{M_2}{W_{2pl} \sigma_{yr}} \right| + \left| \frac{M_3}{W_{3pl} \sigma_{yr}} \right|$$

### SEZIONI MISTE NOTE OPERATIVE

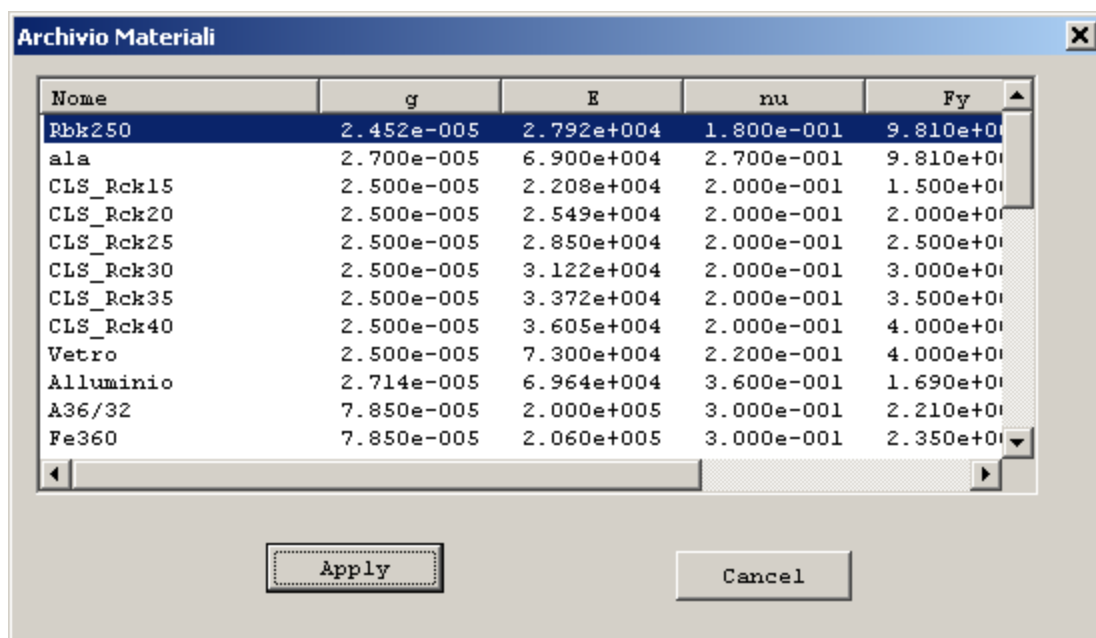


In pratica i controlli sono stati riposizionati per far posto ad un primo bottone, che è il bottone “E’ mista se è premuto”. Il bottone inizialmente si presenta non premuto, ed il dialogo appare come nella figura precedente. Alla pressione del bottone il dialogo appare come nella figura seguente, e vengono svelati i controlli necessari a definire:

- Il materiale di riferimento per la sezione complessiva (bottone **Cambia** nel riquadro in basso).
- Il materiale di cui è costituita la generica sezione in rosso, quella selezionata (bottone **Cambia** nel riquadro che contiene i controlli di traslazione e rotazione).



Bisognerà definire il materiale di riferimento ed il materiale di ogni singola sezione che compone la sezione complessiva pescando nel modo consueto, mediante il dialogo mostrato successivamente, dalla lista dei materiali presenti in archivio.



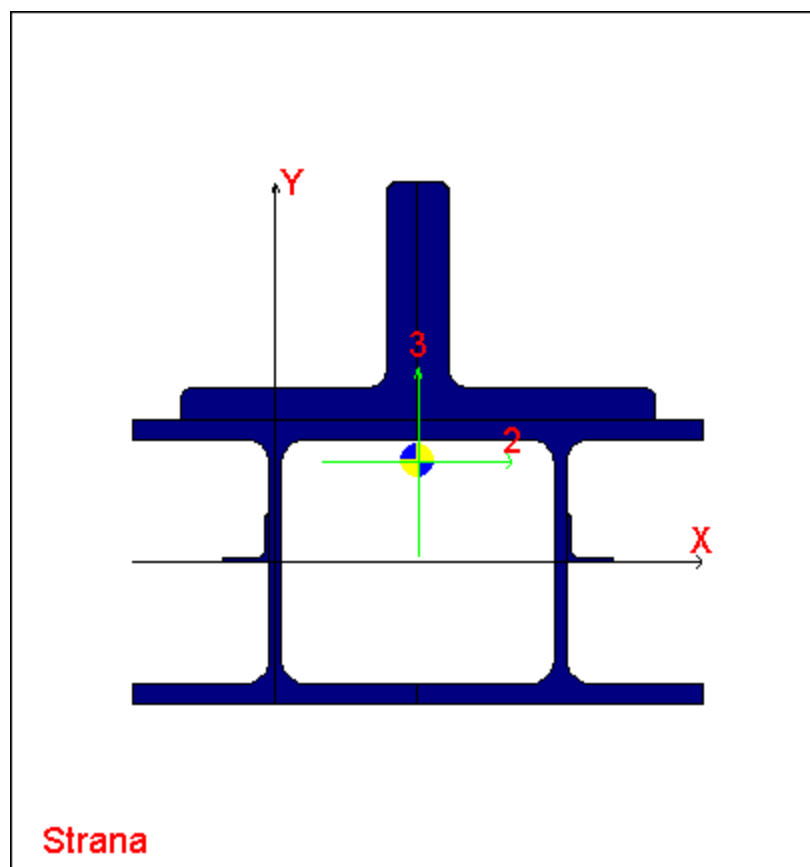
Nome	g	E	nu	Fy
Rbk250	2.452e-005	2.792e+004	1.800e-001	9.810e+00
ala	2.700e-005	6.900e+004	2.700e-001	9.810e+00
CLS_Rck15	2.500e-005	2.208e+004	2.000e-001	1.500e+00
CLS_Rck20	2.500e-005	2.549e+004	2.000e-001	2.000e+00
CLS_Rck25	2.500e-005	2.850e+004	2.000e-001	2.500e+00
CLS_Rck30	2.500e-005	3.122e+004	2.000e-001	3.000e+00
CLS_Rck35	2.500e-005	3.372e+004	2.000e-001	3.500e+00
CLS_Rck40	2.500e-005	3.605e+004	2.000e-001	4.000e+00
Vetro	2.500e-005	7.300e+004	2.200e-001	4.000e+00
Alluminio	2.714e-005	6.964e+004	3.600e-001	1.690e+00
A36/32	7.850e-005	2.000e+005	3.000e-001	2.210e+00
Fe360	7.850e-005	2.060e+005	3.000e-001	2.350e+00

*Sia le sezioni componenti che i materiali componenti devono già essere in archivio prima della esecuzione del comando.*

Per il calcolo dei moduli plastici occorrerà selezionare la casellina di spunta corrispondente e premere il tasto aggiorna.

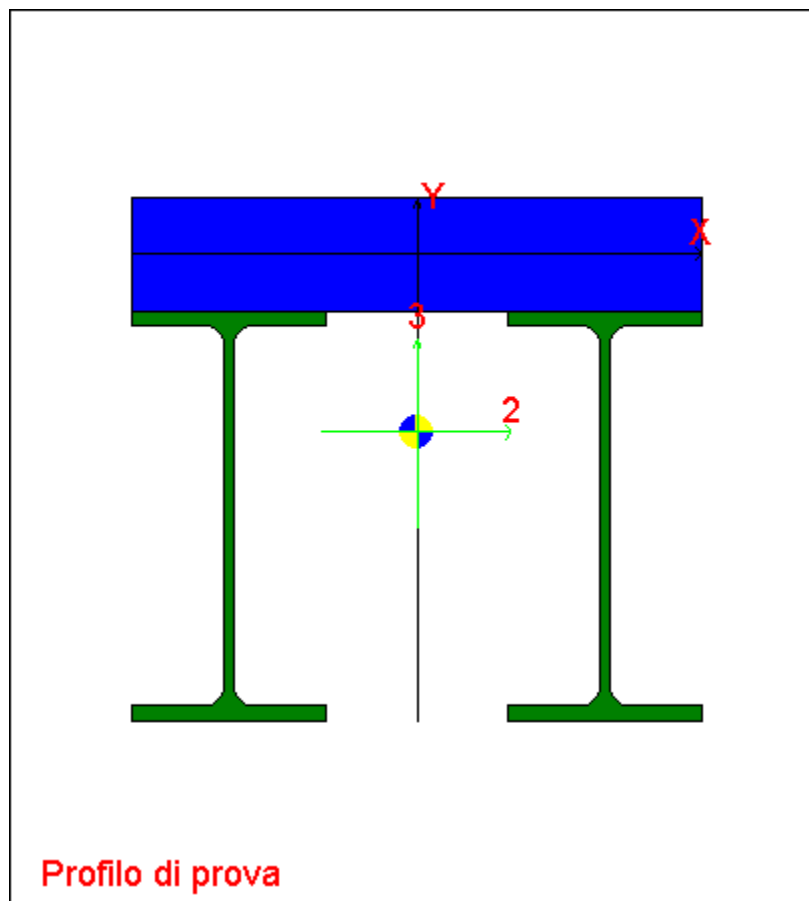
## SEZIONI COMPOSTE GENERICHE (DETTAGLI)





SAMBA consente di descrivere sezioni composte generiche. Ciò vuol dire che è possibile descrivere sezioni ottenute riunendo un numero arbitrario di sezioni elementari, definendone la posizione nel piano.

E' anche possibile definire sezioni composte di sezioni composte.



A partire dal Novembre 2004 Samba gestisce le sezioni miste (con numero arbitrario di materiali) come particolari sezioni composte generiche.

### SEZIONI COMPOSTE DA POLIGONALI (DIALOGO)

Questo importante dialogo è la sede ove vengono introdotti i dati relativi alle sezioni ottenute per riunione di poligoni generiche ed è quindi un vero e proprio ambiente di lavoro. Il dialogo è usato anche per restituire informazioni sulla sezione.

Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti).

Se il dialogo viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.

**Acquisizione di sezione composta da poligoni**

86932.757 A 0 it

131081856 J2 4057016.5 w2

905542144 J3 2757364 w3

0 Jt 4057016.5 wpl2

122.79468 i2 2757364 wpl3

102.06165 i3 0 U

26.777982 xG 9.0881462 yG

0 x2 0 x3

86.0936329030403 Angolo assi princ.

☐ Calcola w plastici

OK Aggiorna Cancel

Nessun Nome

Nessun Nome Nome

Gestione poligoni

Aggiungi poligonale...

Modifica poligonale... >>

Rimuovi poligonale! <<

Trasla poligonale...

L'aggiunta di una poligonale viene fatta premendo il pulsante “**Aggiungi poligonale**”, il quale pulsante porta ad un successivo [dialogo](#) che consente di definire una poligonale. Al termine del dialogo si viene richiesti di specificare se la poligonale rappresenta un pieno o un vuoto.

I pulsanti “>>” e “<<” selezionano una delle poligonali che compongono la sezione, consentendo di passare da una all'altra. La poligonale correntemente selezionata è disegnata con il suo interno in rosso.

Il pulsante “**Modifica Poligonale...**” consente di rieditare la poligonale correntemente selezionata, riaffluendo al dialogo che descrive una singola poligonale.

Il pulsante **“Rimuovi Poligonale!”** cancella la poligonale correntemente selezionata.

Il pulsante **“Trasla Poligonale...”** consente di specificare un vettore traslazione da applicare alla poligonale correntemente selezionata.

Se si desidera calcolare anche i W plastici, occorre apporre il segno di spunta sulla casella **“Calcola W Plastici”** eppoi premere il tasto **Aggiorna**.

Si deve scegliere per la sezione un nome non duplicato rispetto a quello delle altre sezioni presenti in Archivio.

Le quote vengono fornite nella unità di misura attiva.

**Il momento di inerzia torsionale non può essere calcolato automaticamente dal programma stante la generalità del problema (occorrerebbe risolvere una equazione differenziale alle derivate parziali sul dominio e comunque si disporrebbe della sola torsione primaria). E' dunque compito dell'utente assegnare un ragionevole valore per il momento di inerzia torsionale e per il raggio di inerzia torsionale.**

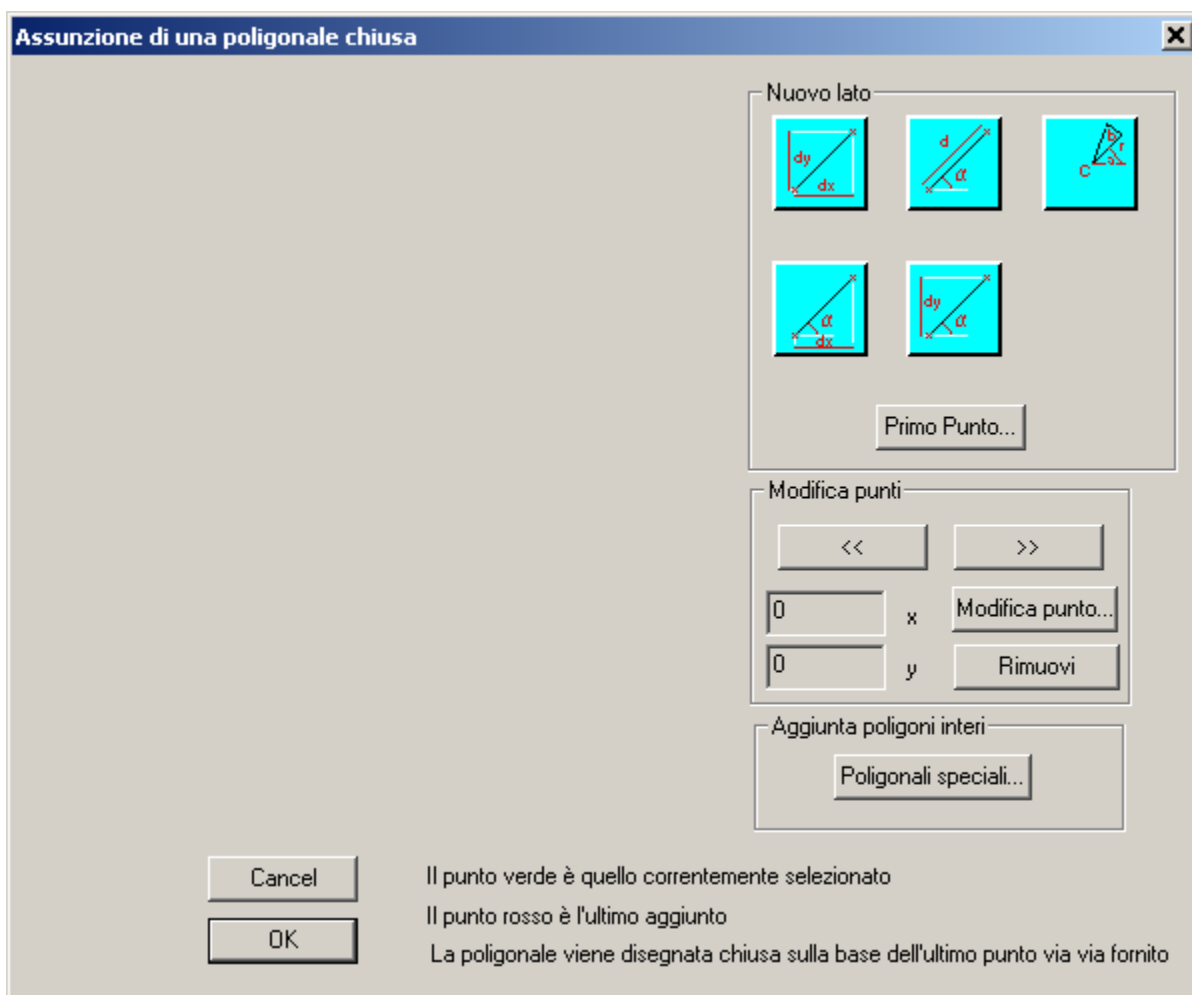
Il calcolo dei moduli di resistenza plastici è invece eseguito automaticamente dal programma, pur di attivare la corrispondente casella di spunta. Si innesca un procedimento iterativo che consente di valutare i moduli di resistenza plastici.

## **ASSUNZIONE DI UNA POLIGONALE CHIUSA (DIALOGO)**

Questo dialogo è un ambiente di lavoro per la definizione di poligoni chiusi.

Il principio di base è che si aggiungono punti via via in modo da fornire una poligonale. Il primo e l'ultimo punto vengono congiunti in modo automatico in modo da chiudere la poligonale.

Al principio la finestra si presenta come segue:

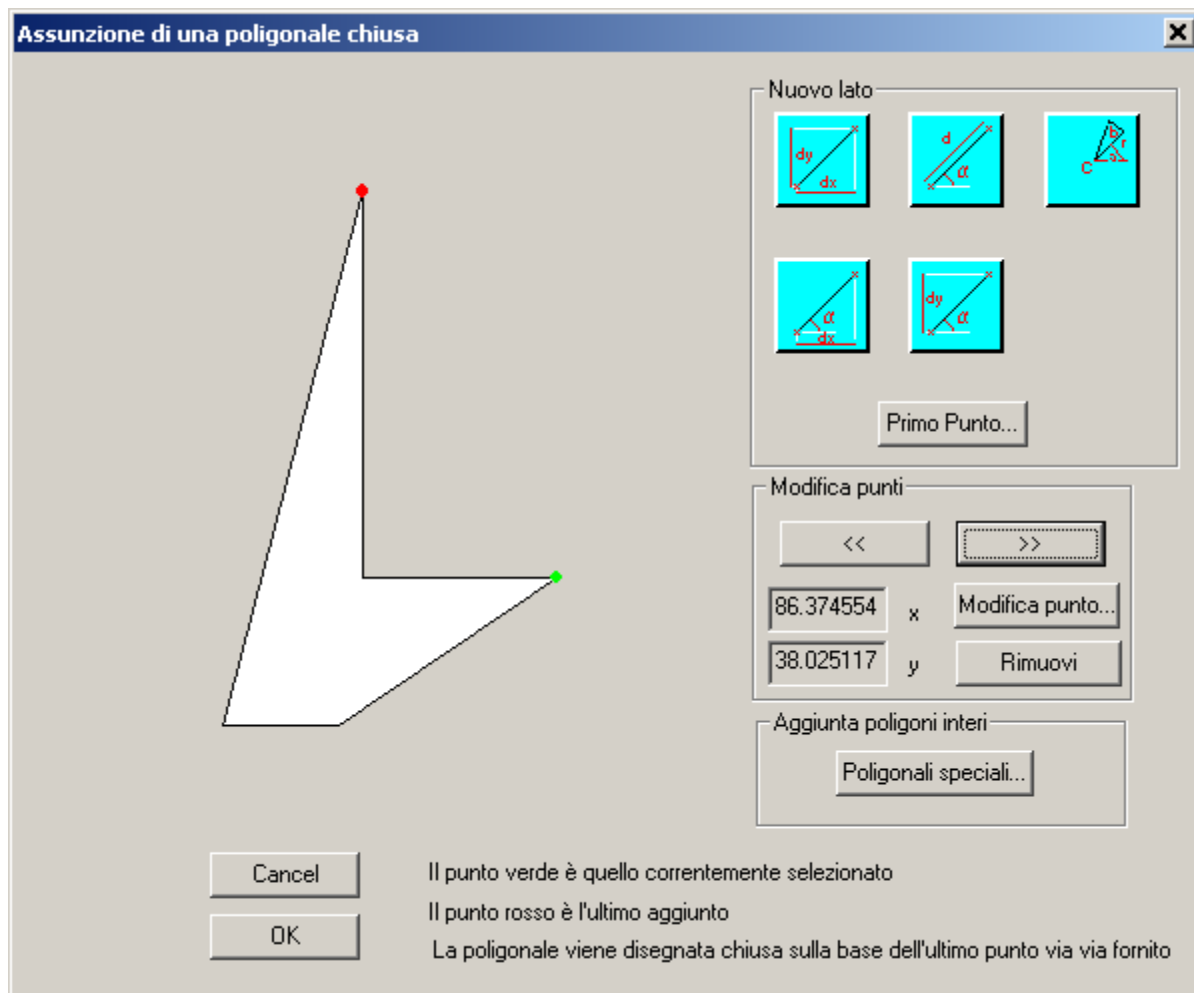


Se la poligonale che si intende aggiungere appartiene ad una delle tipologie previste come standard, allora premere il pulsante **Poligoni Speciali** per raggiungere il [dialogo specifico](#)<sup>993</sup> per le poligonali speciali. Le poligonali speciali consentono di definire rapidamente cerchi, rettangoli, semicerchi orientati o poligoni regolari orientati.

Se invece la poligonale è generica, allora si faranno le seguenti operazioni.

1. Si daranno le coordinate del primo punto (nella unità di misura attiva).
2. Si daranno i successivi punti premendo i bottoni con sfondo azzurro. Questi bottoni consentono di dare i punti in diversi modi. Le prime due colonne di bottoni consentono di dare le coordinate del punto successivo all'ultimo aggiunto per mezzo delle coordinate relative all'ultimo punto. Tali coordinate possono essere cartesiane ( $dx$ ,  $dy$ ), polari ( $d$ ,  $\alpha$ ) o miste ( $\alpha$ ,

dx) ( $\alpha$ , dy). L'angolo  $\alpha$  è in gradi, positivo se antiorario e con 0 corrispondente ad un segmento orizzontale. L'ultima colonna consente di introdurre un arco, mediante le coordinate del centro, il raggio, l'angolo di apertura iniziale e finale ed il numero di suddivisioni. All'aggiunta di un arco corrisponde l'aggiunta di tutti i punti che stanno sull'arco ai punti già correntemente presenti nella poligonale.



Dati i punti è possibile muoversi da un punto all'altro usando il bottone "<<" o il bottone ">>". **L'ultimo punto aggiunto ha un pallino rosso. Il punto correntemente selezionato ha un pallino verde.** Le coordinate del punto correntemente selezionato sono mostrate nelle caselle x ed y.

Se si vogliono modificare le coordinate di un punto selezionato, occorre premere il pulsante **"Modifica punto..."**.

Per rimuovere un punto selezionato (in verde) occorre premere il pulsante “**Rimuovi**”.

L’aggiunta dei poligoni speciali può essere fatta anche nel mezzo dell’inserimento di una poligonale generica. Si tenga presente che i punti della poligonale speciale verranno aggiunti all’ultimo punto della poligonale corrente. Se ad esempio la poligonale generica era fatta così (P1, P2, P3) e la poligonale speciale è fatta così (Q1, Q2, Q3, Q4), al termine la poligonale sarà (P1, P2, P3, Q1, Q2, Q3, Q4).

### ASSUNZIONE DI UNA POLIGONALE TIPICA (DIALOGO)

**Acquisizione di poligoni speciali**

Rettangolo con centro in (A,B), base C altezza D

Cerchio con centro in (A,B), raggio C, numero di suddivisioni pari a D

Semicerchio con centro in (A,B), raggio C, numero di suddivisioni pari a D angolo del diametro sull'orizzontale pari a E (in gradi)

Poligono regolare con centro in (A,B), raggio pari a C, numero di lati pari a D, angolo sull'orizzontale in gradi del primo vertice pari a E

Dati

0 A

0 B

0 C

0 D

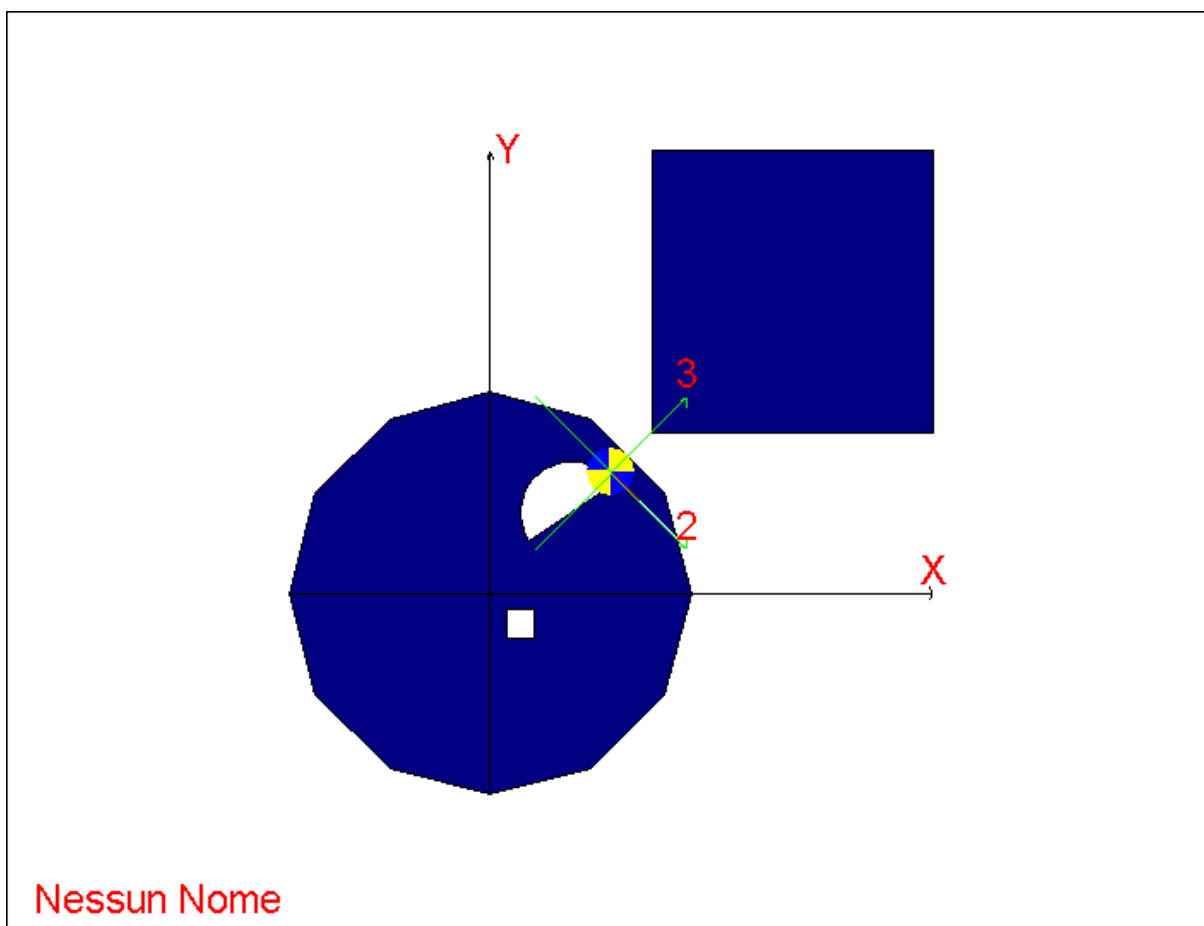
0 E

Cancel

Questo dialogo è un ambiente di lavoro per la definizione di poligoni chiusi di tipo speciale. In pratica occorre compilare i dati sulla base del significato. Il significato dipende dalla scelta che si farà. Compilati i dati si preme uno dei bottoni corrispondenti alle possibili scelte e la poligonale verrà automaticamente aggiunta.

Gli angoli sono sempre in gradi, positivi se antiorari. Lo 0 corrisponde ad un segmento orizzontale orientato verso destra.

### SEZIONI POLI ottenute da una riunione di poligoni generiche (DETTAGLI)



Queste sezioni sono individuate da una serie di poligoni ciascuna delle quali può rappresentare un pieno o un vuoto. La classe di sezioni generabile con questo modello è vastissima.

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- \* l'area complessiva deve essere maggiore di zero.



- \* Nessuna poligonale deve risultare tangente o intersecare un'altra poligonale.
- \* Nessun vuoto può contenere un pieno
- \* Nessun pieno può essere contenuto all'interno di un pieno
- \* Nessun vuoto può essere contenuto all'interno di un vuoto

**Il momento di inerzia torsionale non può essere calcolato automaticamente dal programma stante la generalità del problema (occorrerebbe risolvere una equazione differenziale alle derivate parziali sul dominio e comunque si disporrebbe della sola torsione primaria). E' dunque compito dell'utente assegnare un ragionevole valore per il momento di inerzia torsionale.**

Il calcolo dei moduli di resistenza plastici è invece eseguito automaticamente dal programma, pur di attivare la corrispondente casella di spunta. Si innesca un procedimento iterativo che consente di valutare i moduli di resistenza plastici.

### SEZIONI GENERICHE (DIALOGO)

**Sezioni generiche**

<input type="text" value="0"/>	A	<input type="text" value="0"/>	it
<input type="text" value="0"/>	J2	<input type="text" value="0"/>	w2
<input type="text" value="0"/>	J3	<input type="text" value="0"/>	w3
<input type="text" value="0"/>	Jt	<input type="text" value="0"/>	wpl2
<input type="text" value="0"/>	i2	<input type="text" value="0"/>	wpl3
<input type="text" value="0"/>	i3	<input type="text" value="0"/>	U

**Nessun Nome**

Nessun Nome Nome

OK Aggiorna Cancel

Questo dialogo consente sia di avere informazioni di dettaglio su una sezione totalmente generica, sia di aggiungerla all'archivio, sia di studiarne le proprietà.

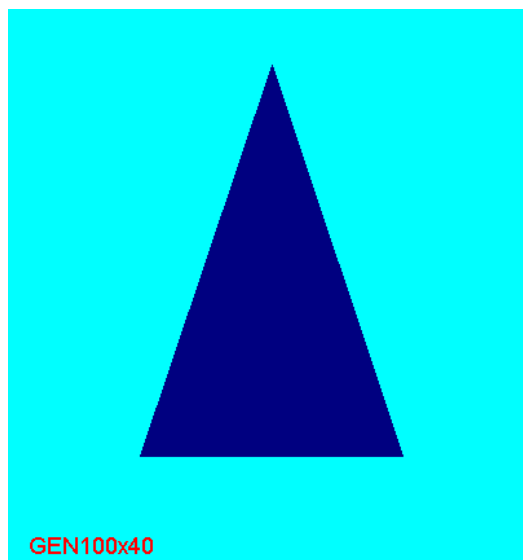
Per *sezione totalmente generica* si intende qui una sezione della quale siano note esclusivamente le proprietà statiche, senza alcun dettaglio sulla reale conformazione della sezione stessa.

Quando il campo relativo ad una certa quantità ha lo sfondo bianco questo vuol dire che quella quantità può essere modificata, quando lo sfondo è grigio ciò indica che la quantità non può essere modificata (perchè deriva dalle precedenti).

Se il dialogo viene attivato solo per avere informazioni tutte le quantità hanno lo sfondo grigio e non possono essere modificate.

Per il significato dei simboli si vedano i [dettagli](#)<sup>996</sup>.

## SEZIONI GENERICHE (DETTAGLI)



Queste sezioni sono individuate direttamente dai loro valori di area e dai loro momenti di inerzia. Sono sezioni che non sono riducibili a nessuno dei tipi previsti dal programma. I

parametri da introdurre coincidono con i parametri calcolati per tutte le altre sezioni, precisamente essi sono:

F	area
J2	momento di inerzia rispetto all'asse principale 2
J3	momento di inerzia rispetto all'asse principale 3
Jt	momento di inerzia torsionale
i2	raggio di inerzia intorno all'asse principale 2
i3	raggio di inerzia intorno all'asse principale 3
U	superficie di verniciatura
Cm	costante di ingobbamento (=Iw)
W2	modulo elastico di resistenza per flessioni intorno all'asse 2
W3	modulo elastico di resistenza per flessioni intorno all'asse 3
Wpl2	modulo plastico di resistenza per flessioni intorno all'asse 2
Wpl3	modulo plastico di flessione per flessioni intorno all'asse 3

Valgono le seguenti necessarie asserzioni:

- \* tutti i parametri devono essere maggiori di zero.;

#### 3.8.6.1.2 Archivio sezioni (Dialogo)

### ARCHIVIO SEZIONI (DIALOGO)

Questo dialogo è usato per scorrere le sezioni estratte dall'archivio, sceglierne una ed applicarla agli elementi (travi e bielle) correntemente selezionati. Per applicare il profilo scegliere **Applica**.

Se la attuale posizione dell'asse 2 non è quella desiderata è possibile ruotare la terna locale di un angolo, che deve essere fornito in gradi e che viene interpretato come rotazione da dare alla coppia di assi 2-3, rispetto all'asse 1, pensando la rotazione positiva se antioraria (regola della mano destra).

Se viene specificato un angolo non nullo, verrà calcolato automaticamente il vettore che definisce l'asse 2 ed impostato tale vettore nella orientazione dell'elemento. Il codice di orientazione viene fissato in coerenza con l'uso del vettore (non si usa più il terzo nodo se questo era in precedenza impiegato).

### 3.8.6.2 Modifica sezione...

#### COMANDO: Edit-Proprietà-Modifica Sezione...

[Ribbon-Pre]

Questo comando consente di accedere all' archivio delle sezioni presenti nel modello, di scegliere una sezione e di modificarla direttamente senza passare dall'archivio.

Appena eseguito il comando compare una finestra di dialogo ([Archivio sezioni](#)<sup>[999]</sup>) che lista i profili presenti nel modello. Scelto un profilo con il bottone Applica o facendo doppio click sulla riga corrispondente, si apre una finestra (diversa a seconda del tipo prescelto) che consente di modificare il nome o le quote del profilo.

Due fondamentali osservazioni aiuteranno ad impiegare questo utile comando:

1. La sezione modificata non è mai quella dell'archivio generale ma solo la sua copia presente nel modello sul quale si sta lavorando;
2. E' necessario prestare la massima attenzione nella modifica di profili standard. Il programma non può controllare questi profili e quindi spetta all'utente evitare di modificare profili normati (ad esempio IPE300). In generale se si modifica un profilo normato **si raccomanda di modificarne anche il nome** onde evitare spiacevoli qui pro quo o pericolosi fraintendimenti.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

## 3.8.6.2.1 Archivio sezioni (Dialogo)

**ARCHIVIO SEZIONI (DIALOGO)**

Questo dialogo è usato per scorrere le sezioni estratte dall'archivio, sceglierne una ed applicarla agli elementi (travi e bielle) correntemente selezionati. Per applicare il profilo scegliere **Applica**.


Se la attuale posizione dell'asse 2 non è quella desiderata è possibile ruotare la terna locale di un angolo, che deve essere fornito in gradi e che viene interpretato come rotazione da dare alla coppia di assi 2-3, rispetto all'asse 1, pensando la rotazione positiva se antioraria (regola della mano destra).

Se viene specificato un angolo non nullo, verrà calcolato automaticamente il vettore che definisce l'asse 2 ed impostato tale vettore nella orientazione dell'elemento. Il codice di orientazione viene fissato in coerenza con l'uso del vettore (non si usa più il terzo nodo se questo era in precedenza impiegato).

**3.8.6.3 Materiali...****COMANDO: Edit-Proprietà-Materiali...****[Ribbon-Pre]****Fe**

Questo comando consente, premendo *Sì* nel dialogo che compare, di accedere ad un archivio di materiali, di scegliere un materiale e di applicarlo agli elementi selezionati. In alternativa, premendo *No*, si può definire un nuovo materiale indicandone i vari parametri.

Se si sceglie di scorrere gli archivi, compare una finestra di dialogo ([Accesso archivio materiali](#)<sup>[1001]</sup>) che dà accesso ad un archivio di materiali. Due sono gli archivi disponibili: l'archivio generale e l'archivio del modello. Una volta scelto l'archivio che si vuole scorrere, e fissati dei filtri che i materiali debbono soddisfare, Sargon consente di scegliere un materiale e di applicarlo agli elementi correntemente selezionati. Ciò viene fatto con il dialogo [Archivio materiali](#)<sup>[1002]</sup>.

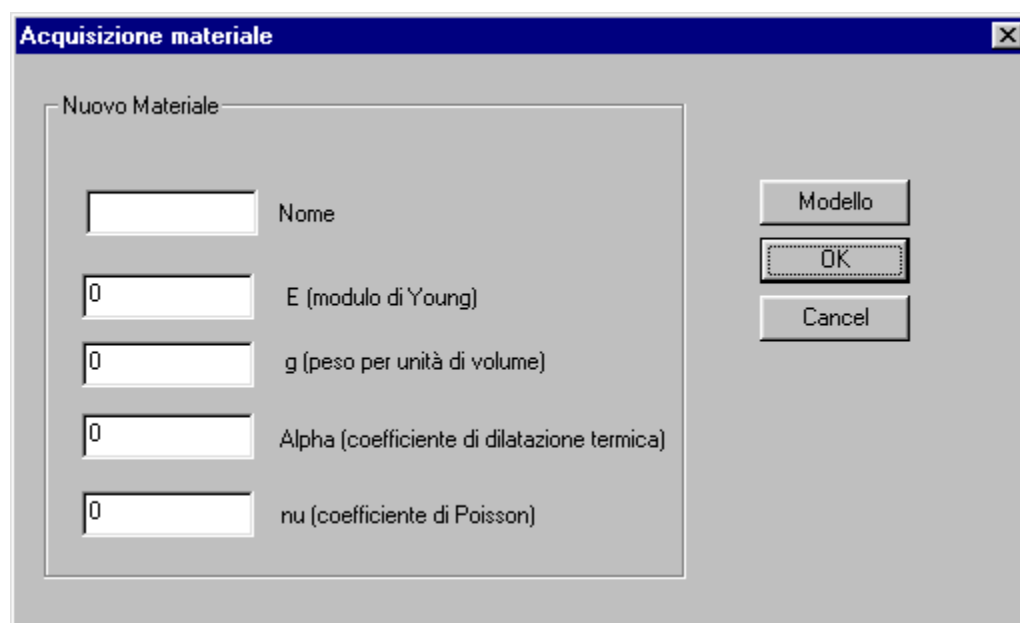
Se si sceglie di definire un nuovo materiale, si accede al dialogo [Dati di un Materiale](#) .

**Tipo:** modale

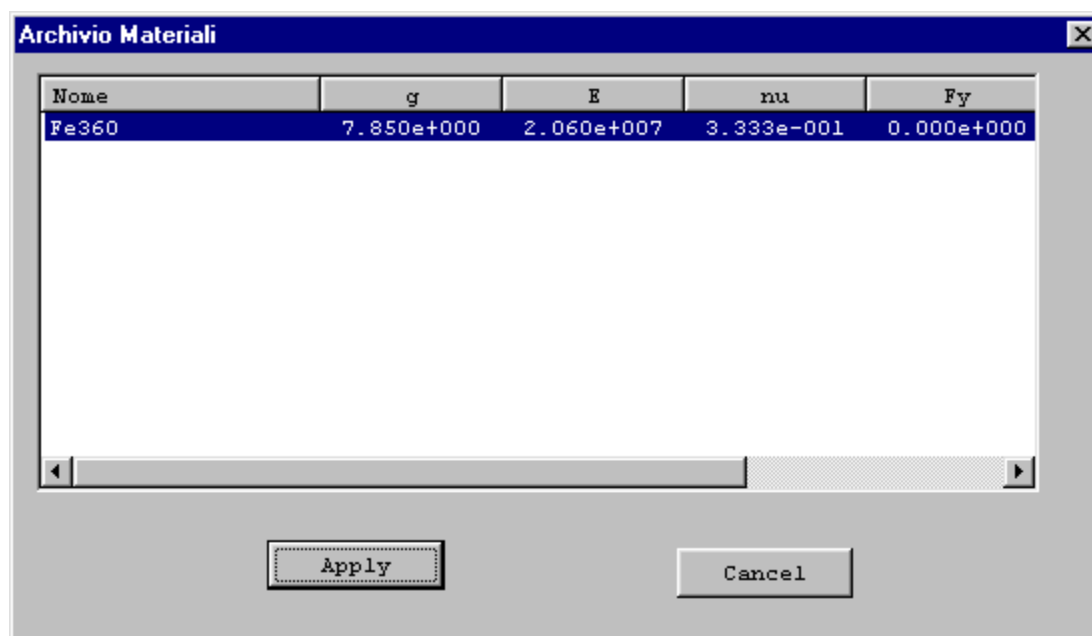
**Destinazione:** documento

### **COMANDO: Edit-proprietà-Materiali... (POLISAR)**

Questo comando consente di assegnare un materiale in POLISAR. Alla esecuzione del comando compare il dialogo seguente:

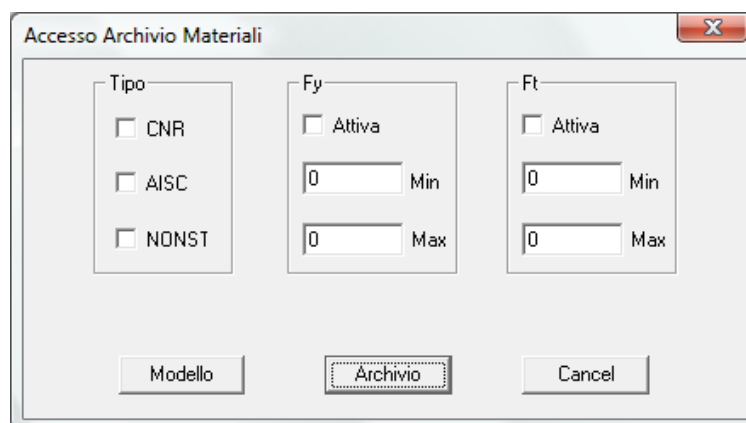


Se il materiale da assegnare non è mai stato attribuito allora occorre fornire tutti i dati richiesti usando le unità di misura correnti. Se invece il materiale è già stato assegnato allora basta premere il pulsante “Modello” e sceglierlo mediante il dialogo seguente:



#### 3.8.6.3.1 Accesso archivio materiali (Dialogo)

### ACCESSO ARCHIVIO MATERIALI (DIALOGO)



Questo dialogo consente di scorrere un opportuno archivio di materiali. L'archivio può essere quello generale ([Archivio](#)<sup>1002</sup>) o, per l'uso in cui SAMBA è un componente di Sargon quello del modello corrente ([Modello](#)<sup>1002</sup>).

L'accesso all'archivio avviene con i filtri di **Tipo**, **Fy** ed **Ft** specificati.

**Tipo:** nazionalità della norma che fa riferimento al materiale

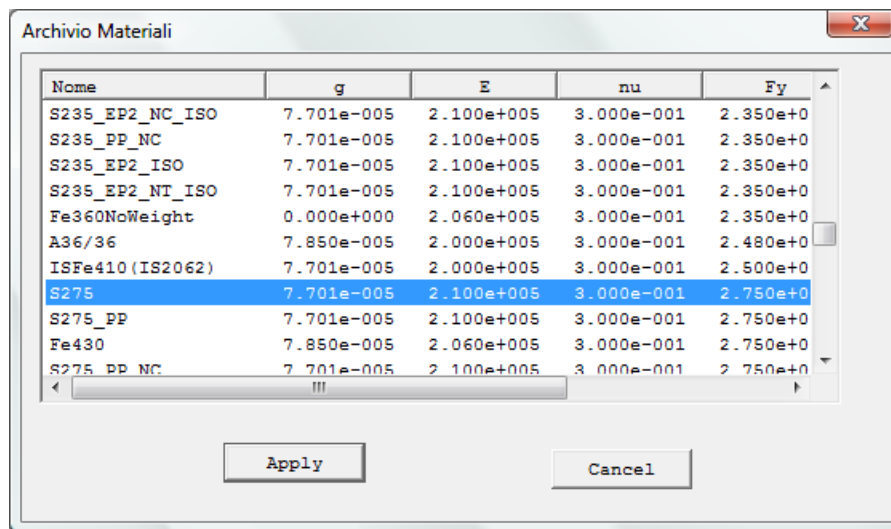
**Fy:** tensione di snervamento. Per attivare questo filtro occorre fare una spunta su **attiva**

**Ft:** tensione di rottura. Per attivare questo filtro occorre fare una spunta su **attiva**.

Se non c'è filtro verranno presentati tutti i materiali dell'archivio prescelto. Se c'è un filtro verranno presentati solo i materiali che soddisfano il filtro (del tipo scelto e con Fy e Ft comprese tra i valori scelti).

#### 3.8.6.3.1.1 Archivio materiali (Dialogo)

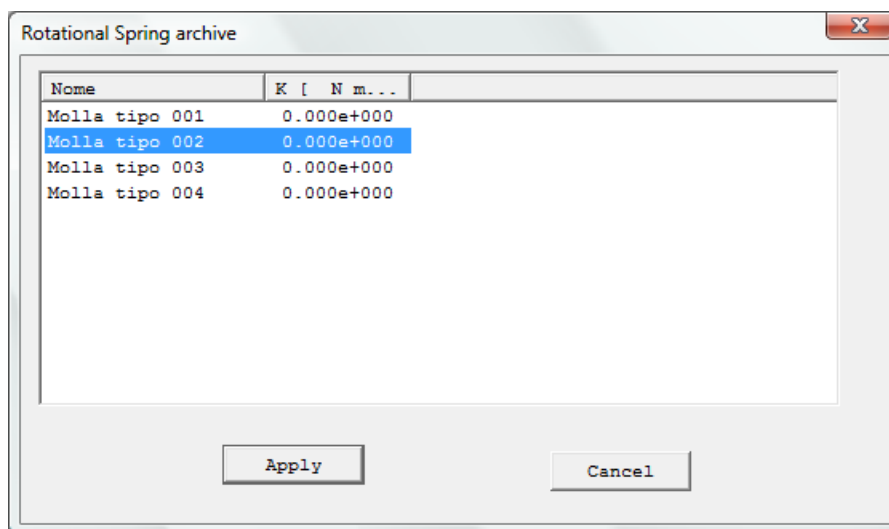
### ARCHIVIO MATERIALI (DIALOGO)



Questo dialogo presenta una lista dei materiali. Selezionandone uno e premendo **Applica** o, equivalentemente, facendo doppio click su un materiale, si applica il materiale scelto alle aste selezionate, se si sta applicando un materiale agli elementi finiti. Se invece si sta modificando un materiale esistente, si accede ai [dati del materiale](#) scelto per modificarlo.

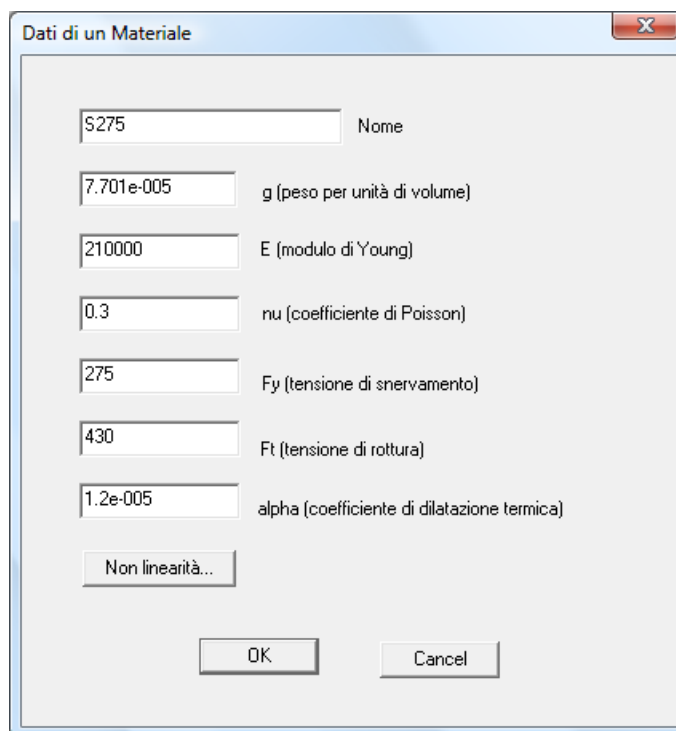


Lo stesso dialogo viene usato anche per elencare le molle rotazionali presenti nel modello. In tal caso il dialogo assume un'intestazione coerente con questo scopo (*Archivio delle molle rotazionali*).



#### 3.8.6.3.2 Dati di un materiale (Dialogo)

### DATI DI UN MATERIALE



Questo dialogo consente di aggiungere un nuovo materiale all'archivio, modificare un materiale esistente o avere informazioni su un materiale esistente.

Se i campi hanno sfondo grigio non possono essere modificati.

Il significato dei simboli è il seguente:

- Nome                      nome del materiale (max 20 caratteri)
- G                            peso per unità di volume nelle unità attive
- E                            modulo di elasticità di Young nelle unità attive
- Nu                           coefficiente di Poisson
- Fy                           tensione di snervamento o di limite elastico nelle unità attive
- Ft                           tensione di rottura o tensione ultima nelle unità attive
- Alpha                      coefficiente di dilatazione termica nelle unità attive

Il bottone "Non linearità" fa accedere a un opportuno [property sheet](#)<sup>[1005]</sup> in cui vanno definite le caratteristiche dei materiali non lineari.

## 3.8.6.3.2.1 Dati sul materiale (Property page)

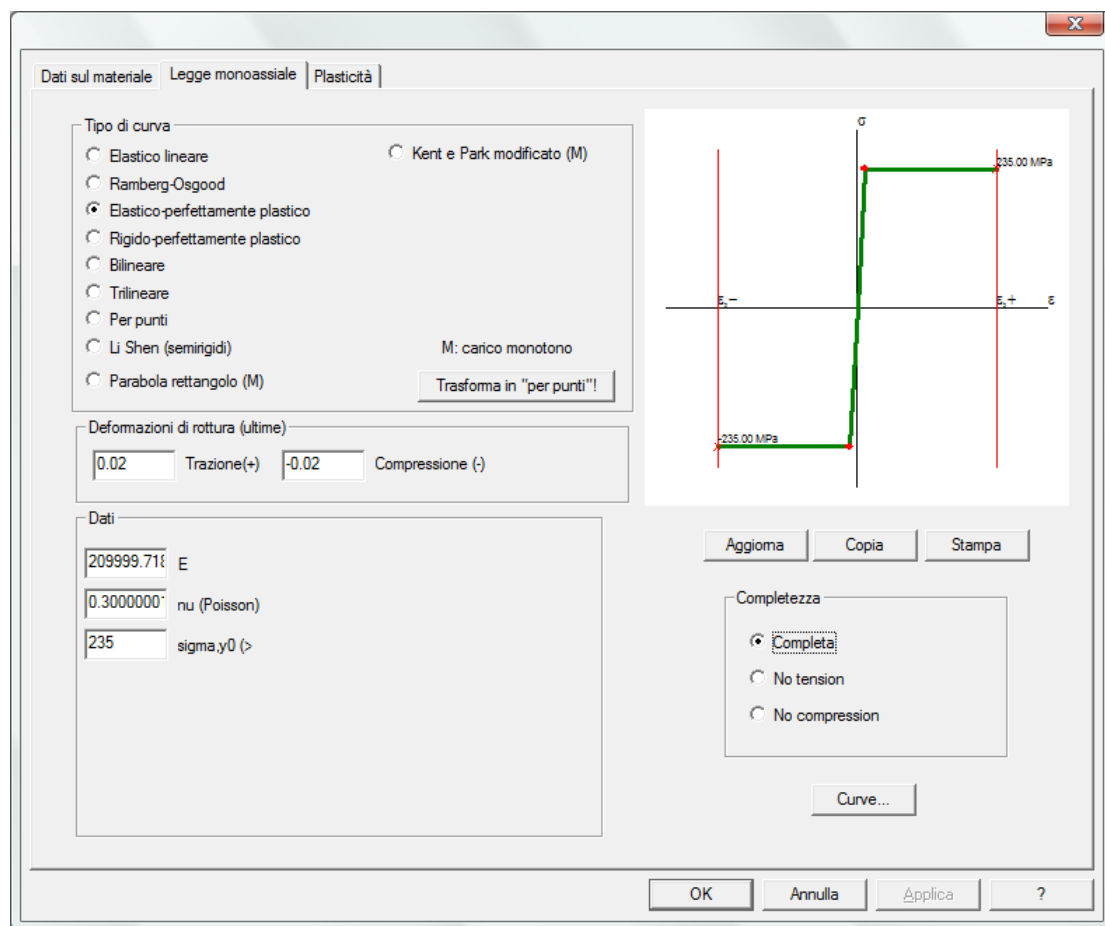
**DATI SUL MATERIALE (PROPERTY PAGE)**

The screenshot shows a software window titled "Dati sul materiale" with three tabs: "Dati sul materiale", "Legge monoassiale", and "Plasticità". The "Dati sul materiale" tab is active. It contains two main panels. The left panel, titled "Natura del materiale", lists material types with radio buttons: "Sconosciuto" (selected), "Acciaio", "Acciaio inox", "Alluminio", "Calcestruzzo", "Legno", "Terreno", "Roccia", and "Vetro". The right panel, titled "Identificatore parte non lineare", has a text input field with "---". Below it, a "Descrizione" section has a text input field with "No description". At the bottom right are buttons for "OK", "Annulla", "Applica", and "?".

In questa property page é possibile assegnare al materiale una natura (acciaio, legno, calcestruzzo, ecc.), un identificatore della parte non lineare e una descrizione del materiale stesso.

## 3.8.6.3.2.2 Legge monoassiale (Property page)

**LEGGE MONOASSIALE (PROPERTY PAGE)**



In questa property page si definisce la **legge costitutiva monoassiale del materiale**. La stessa pagina viene utilizzata per definire uno **svincolo semirigido nonlineare**. Sono disponibili leggi costitutive elastiche lineari, elastiche non lineari, elasto-plastiche e rigido-plastiche. Vedremo in seguito le varie leggi nel dettaglio. Ognuna di queste leggi può essere completa, no tension o no compression.

L'immagine sulla destra viene aggiornata con la pressione del bottone sottostante, in funzione dei parametri definiti. L'immagine può essere copiata negli appunti o mandata direttamente in stampa.

### ***Deformazioni di rottura ultime***

Tutte le leggi costitutive utilizzano le deformazioni ultime positiva (di trazione) e negativa (di compressione). Nel caso in cui il materiale sia elastico lineare, esso trova comunque un limite nel raggiungimento delle deformazioni ultime: se queste vengono raggiunte

il materiale “si rompe” la tensione precipita a zero e l’elemento non reagisce più (se si tratta del punto di Gauss di un elemento, è questo ad essere inattivato). Pertanto la simulazione di un materiale elastico indefinitamente elastico deve essere ottenuta mediante la impostazione di elevate deformazioni di rottura. Il valore proposto è 0,02, corrispondente a  $210000 \times 0,02 = 4200 \text{ MPa}$  per un acciaio normale. Se il materiale è plastico, il flusso plastico viene interrotto al raggiungimento della deformazione limite, innescando la rottura.

### ***Completezza***

Tutte le leggi costitutive possono essere opzionalmente rese no tension o no compression. Se non viene raggiunta la deformazione ultima in caso di inversione del carico il materiale può ricominciare a reagire ove il segno della deformazione si inverte. Se invece viene raggiunta la deformazione ultima, allora anche un’eventuale inversione di segno lascia inalterato lo stato di rottura.

### ***Dati***

Questa sezione é variabile e vengono richiesti parametri diversi in funzione del tipo di curva che si sceglie.

### ***Tipo di curva***

In base alla curva che si sceglie, nella sezione Dati verranno richiesti opportuni parametri. Le curve disponibili sono le seguenti. Per una loro descrizione teorica si rimanda alla voce [Analisi non lineari con il solutore CURAN](#)<sup>228</sup>.

- ***Elastica lineare (indefinitamente elastica)***

L’indefinitamente è legato alla ampiezza delle deformazioni ultime. Vanno definiti il modulo di elasticità E e il coefficiente di Poisson  $\nu$ .

- ***Ramberg-Osgood (elasticità non lineare)***

Questa legge è individuata dai seguenti parametri:

E	modulo di elasticità in fase lineare
$\nu$	coefficiente di Poisson
K	vedi formula

n            vedi formula

La legge di Ramberg-Osgood è una legge di tipo elastico non lineare descritta dalla seguente equazione:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + \left( \frac{\sigma}{K} \right)^{\frac{1}{n}}$$

Per una descrizione più dettagliata dell'equazione e del suo significato si rimanda a alla sezione dedicata al solutore non lineare [CURAN](#)<sup>229</sup>.

- ***Elastica-perfettamente plastica***

Questa legge è individuata dai seguenti parametri:

E            modulo di elasticità in fase lineare

$\sigma_y$         tensione di snervamento

$\nu$             coefficiente di Poisson

Il flusso plastico avviene senza incrudimento.

- ***Rigida-perfettamente plastica***

Questa legge è individuata dai seguenti parametri:

$\sigma_y$         tensione di snervamento

$\nu$             coefficiente di Poisson

Numericamente la rigidezza infinita è simulata con  $E = 1.e12$ .

- ***Bilineare (elasto-plastica)***

Questa legge è individuata dai seguenti parametri:

$\nu$             coefficiente di Poisson

$\varepsilon_1$         deformazione allo snervamento

$\sigma_1$         tensione allo snervamento

$\varepsilon_2$         deformazione estrema

$\sigma_2$         tensione corrispondente alla deformazione estrema

Non sono ammesse estrapolazioni, quindi è buona cosa far corrispondere la deformazione estrema con la deformazione ultima. Si assume che la legge – se non si è attivata l'opzione no tension o no compression – sia simmetrica.

Il tipo di incrudimento può essere isotropo, cinematico o misto.

• **Trilineare (elasto-plastica)**

Questa legge è individuata dai seguenti parametri:

$\nu$	coefficiente di Poisson
$\varepsilon_1$	deformazione allo snervamento
$\sigma_1$	tensione allo snervamento
$\varepsilon_2$	deformazione intermedia
$\sigma_2$	tensione corrispondente alla deformazione intermedia
$\varepsilon_3$	deformazione estrema
$\sigma_3$	tensione corrispondente alla deformazione estrema

Non sono ammesse estrapolazioni, quindi è buona cosa far corrispondere la deformazione estrema con la deformazione ultima. Si assume che la legge – se non si è attivata l'opzione no tension o no compression – sia simmetrica.

Il tipo di incrudimento può essere isotropo, cinematico o misto.

• **Per punti (elasto-plastica)**

In questo caso, oltre al coefficiente di Poisson ( $\nu$ ), si danno tante coppie di valori ( $\varepsilon$ ,  $\sigma$ ) tanti sono i punti definiti. Deve sempre essere inclusa l'origine. I punti sono ordinati per deformazioni crescenti (prima le massime deformazioni negative, poi le negative, poi l'origine, poi le deformazioni positive, poi la massima deformazione positiva).

Non sono ammesse estrapolazioni, quindi è buona cosa far corrispondere la deformazione estrema (positiva e negativa) con la deformazione ultima.

Il tipo di incrudimento può essere isotropo, cinematico o misto.

Per inserire un nuovo punto bisogna riempire i campi "Eps" e "Sigma", quindi premere il bottone "Aggiungi". Un punto avente le coordinate scelte verrà aggiunto alla lista, in ultima posizione. Se si vuole inserire un punto non alla fine, ma tra punti già esistenti, occorre selezionare la riga desiderata e premere "Inserisci" invece che "Aggiungi". Per eliminare un punto, occorre selezionare la riga corrispondente e premere "Elimina".

Nota bene: la legge per punti può essere completa, no tension o no compression. Se si definisce una legge completa, deve essere simmetrica.

**NOTA:** Il bottone *Trasforma in "per punti"* consente di convertire qualsiasi legge costitutiva in una legge per punti.

• **Li-Shen (nodi semirigidi)**

La legge costitutiva [Li-Shen](#)<sup>[234]</sup> serve per i nodi semirigidi. Vanno forniti i seguenti parametri:

$K_e$	initial stiffness
$K_p$	hardening stiffness
$f_{t_p}$	rotazione corrispondente a $M_p$
$M_p$	momento plastico

• **Parabola rettangolo (carico monotono)**

Per la legge costitutiva di tipo [parabola-rettangolo](#)<sup>[234]</sup> vanno forniti i seguenti parametri (tutti positivi anche se per il programma le compressioni sono negative):

$f_c$	tensione massima di compressione del calcestruzzo
$\varepsilon_{c0}$	deformazione che corrisponde alla tensione massima
$E_t$	modulo di elasticità del ramo in trazione
$f_t$	tensione massima di trazione del calcestruzzo
$\nu$	coefficiente di Poisson

$$\sigma = -f_c \left( \frac{2|\varepsilon|}{\varepsilon_{c0}} - \frac{\varepsilon^2}{\varepsilon_{c0}^2} \right) \quad \text{se } -\varepsilon_{c0} \leq \varepsilon < 0$$

$$\sigma = -f_c \quad \text{se } \varepsilon < -\varepsilon_{c0}$$

$$\sigma = \varepsilon E_t \quad \text{se } \varepsilon \leq \frac{f_t}{E_t}$$

$$\sigma = 0 \quad \text{se } \varepsilon > \frac{f_t}{E_t}$$

• **Kent e Park modificato (carico monotono)**



Per la legge costitutiva di [Kent e Park modificata](#)<sup>235</sup> vanno forniti i seguenti parametri:

$f_c$	tensione massima di compressione del calcestruzzo
$\varepsilon_{c0}$	deformazione che corrisponde alla tensione massima
$Z$	pendenza del ramo di softening
$E_t$	modulo di elasticità del ramo in trazione
$f_t$	tensione massima di trazione del calcestruzzo
$\nu$	coefficiente di Poisson

$$\varepsilon_{c20} = \varepsilon_{c0} + \frac{0,8}{Z} \quad Z \neq 0$$

$$\varepsilon_{c20} = 0,1 \quad Z = 0$$

$$\sigma = -f_c \left( \frac{2|\varepsilon|}{\varepsilon_{c0}} - \frac{\varepsilon^2}{\varepsilon_{c0}^2} \right) \quad \text{se } -\varepsilon_{c0} \leq \varepsilon < 0$$

$$\sigma = -f_c [1 - Z(|\varepsilon| - \varepsilon_{c0})] \quad \text{se } -\varepsilon_{c20} \leq \varepsilon < -\varepsilon_{c0}$$

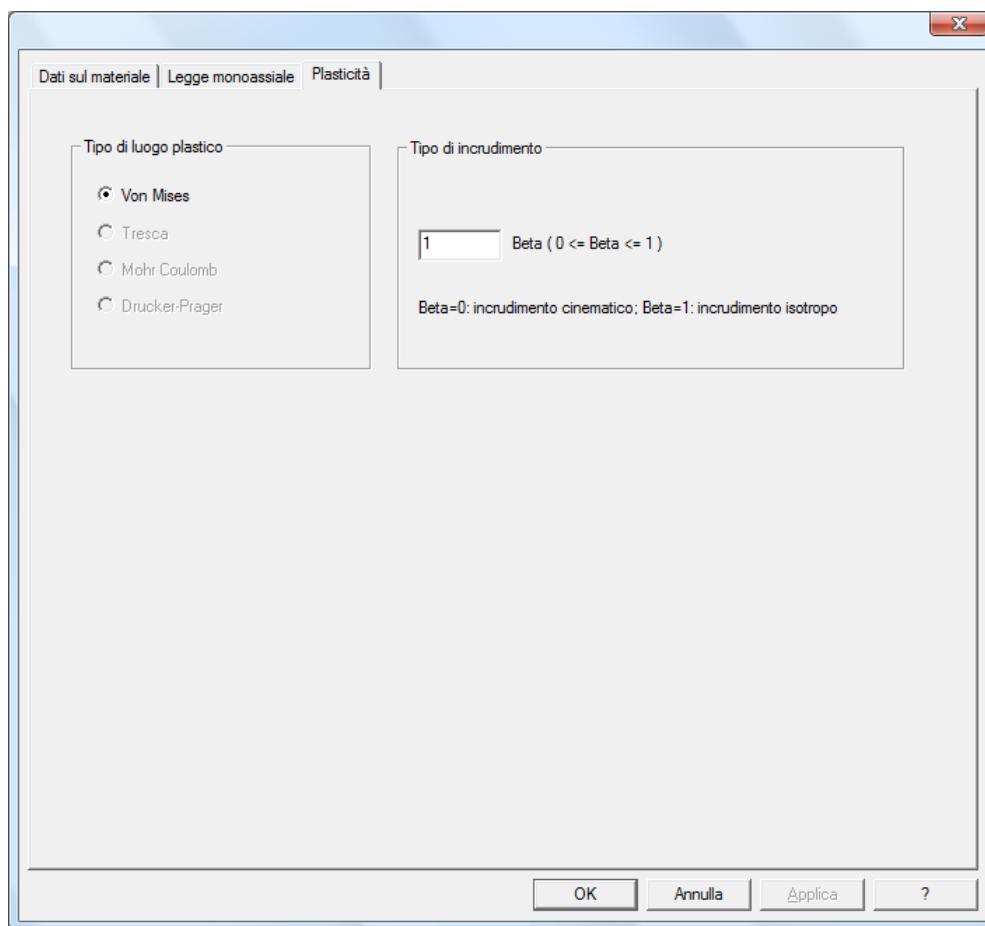
$$\sigma = -0,2f_c \quad \text{se } \varepsilon < -\varepsilon_{c20}$$

$$\sigma = \varepsilon E_t \quad \text{se } \varepsilon \leq \frac{f_t}{E_t}$$

$$\sigma = 0 \quad \text{se } \varepsilon > \frac{f_t}{E_t}$$

#### 3.8.6.3.2.3 Plasticità (Property page)

### PLASTICITA' (PROPERTY PAGE)



In questa property page é possibile definire il tipo di luogo plastico del materiale e il tipo di [incrudimento](#)<sup>236</sup> ( $\beta=0$  incrudimento cinematico,  $\beta=1$  incrudimento isotropo).

#### 3.8.6.4 Modifica materiale...

**COMANDO: Edit-Proprietà-Modifica materiale...**

**[Ribbon-Pre]**

Questo comando consente di scegliere un materiale tra quelli presenti nel modello e di modificarlo, attraverso un opportuno [dialogo](#)<sup>1003</sup>.

**Tipo: modale**

### 3.8.6.5 Spessori...

#### COMANDO: Edit-Proprietà-Spessori...

[Ribbon-Pre]



Questo comando fa attribuire le caratteristiche di spessore e di momento di inerzia alle piastre ed alle membrane. Per le membrane è significativo il solo spessore. Si consiglia di dare sempre un nome alla proprietà che si è indicata, magari specificando - nel nome - lo spessore che si è dato.

Alla esecuzione del comando compare un opportuno dialogo ([Proprietà di piastre e membrane](#)<sup>[1013]</sup>) per l'aggiunta di una nuova proprietà oppure per lo scorrimento delle proprietà sino a quel punto attribuite.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

#### 3.8.6.5.1 Proprietà piastre e membrane (Dialogo)

#### PROPRIETÀ PIASTRE E MEMBRANE (DIALOGO)

Questo dialogo consente di aggiungere una proprietà all'archivio delle proprietà presenti nel modello, applicando la proprietà indicata alle piastre e membrane selezionate. Se si vuole aggiungere la proprietà si deve dare un nome, uno spessore ed un momento di inerzia. Il tasto [Modello](#)<sup>[1013]</sup> fa scorrere l'archivio delle proprietà applicate al modello.

#### 3.8.6.5.1.1 Archivio proprietà (Dialogo)

#### ARCHIVIO PROPRIETÀ (DIALOGO)

Questo dialogo lista le proprietà presenti in archivio.

Della proprietà selezionata viene dato lo spessore ed il momento di inerzia per unità di larghezza. Il tasto **Applica** fa applicare la proprietà selezionata alle piastre o membrane selezionate. Analogamente il doppio click.

### 3.8.6.6 Aggiungi semirigidezza

**COMANDO:** Edit-Proprietà-Aggiungi semirigidezza...

[Ribbon-Pre]



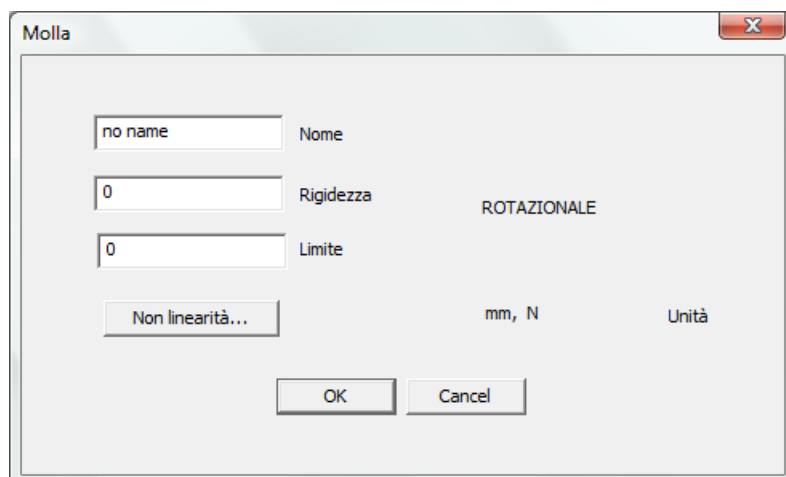
Questo comando consente di aggiungere all'archivio una nuova molla rotazionale utilizzabile come svincolo [semirigido](#)<sup>1026</sup>. All'esecuzione del comando viene proposto un opportuno [dialogo](#)<sup>1014</sup>.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

#### 3.8.6.6.1 Molla

### MOLLA (DIALOGO)



Questo dialogo consente di definire le proprietà di una molla rotazionale. Vanno introdotti il nome della molla, la sua rigidezza e il suo limite. La rigidezza va espressa in *unità di forza corrente \* unità di lunghezza corrente / radianti* (ad esempio Nmm/rad). Il limite va espresso nell'unità di lunghezza corrente.

Attraverso il bottone *Non linearità* è possibile definire una molla nonlineare. Viene proposto un [dialogo](#)<sup>[1005]</sup> in cui si introduce la legge monoassiale desiderata.

### 3.8.6.7 Modifica semirigidezza

**COMANDO: Edit-Proprietà-Modifica semirigidezza...**

[Ribbon-Pre]



Questo comando consente di modificare una molla rotazionale presente nell'archivio del modello. Alla sua esecuzione, viene proposto un dialogo con la lista delle molle disponibili; per modificare quella desiderata si esegue un doppio click su di essa, oppure la si seleziona e si preme il bottone *Applica*. Viene quindi proposto un opportuno [dialogo](#)<sup>[1014]</sup> in cui le proprietà della molla scelta possono essere modificate.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

#### 3.8.6.8 Archivi...

**COMANDO:** Edit-Proprietà-Archivi...

[Ribbon-Pre]

## Ar

Questo comando dà accesso al modulo esterno **SAMBA** che fa la manutenzione degli archivi di materiale e di sezione. Si tratta di un programma a sè stante, in grado di far aggiungere nuove sezioni o di cancellare le sezioni precedentemente aggiunte. Il funzionamento di questo modulo esterno è spiegato nell'help del modulo stesso.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** archivi

#### 3.8.6.9 Gruppo...

**COMANDO:** Edit-Proprietà-Gruppo...

[Ribbon-Pre]

## G

Questo comando è usato per assegnare gli oggetti selezionati al gruppo desiderato. Non appena il comando è eseguito compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[1017]</sup>, che consente di scegliere il gruppo desiderato.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

### 3.8.6.9.1 Gruppi (Dialogo)

## GRUPPI (DIALOGO)

Questo dialogo è usato da vari comandi. Esso riepiloga i gruppi disponibili mostrando in blu (selezionato) il gruppo attivo. Se il gruppo selezionato viene cambiato cambierà il gruppo attivo. Il gruppo attivo è il gruppo al quale vengono assegnati i nuovi elementi, con i comandi di aggiunta diretta, copia, rotazione, mirroring.

La scelta del gruppo al quale assegnare gli oggetti selezionati si fa scegliendo il gruppo tra quelli disponibili e poi uscendo con OK.

Questo dialogo consente anche di accedere a un altro [dialogo](#)<sup>1017</sup>, il quale consente di modificare gruppi esistenti (tasto **Modifica...**) o di aggiungerne di nuovi (tasto **Aggiungi...**).

### 3.8.6.9.1.1 Definizione di un gruppo (Dialogo)

## DEFINIZIONE DI UN GRUPPO (DIALOGO)

In questo dialogo é possibile specificare il nome del gruppo corrente e il suo colore. Per modificare il colore bisogna cliccare nel rettangolo con il colore corrente.

### 3.8.6.10 Beta...

## COMANDO: Edit-Proprietà-Beta...

[Ribbon-Pre]



Questo comando consente di attribuire i coefficienti di libera inflessione agli elementi monodimensionali selezionati. Il comando si applica a travi, bielle e superelementi. **Si tratta di un comando della massima importanza su elementi in acciaio**, perchè di default il

programma assume che i coefficienti di libera inflessione siano eguali ad 1, mentre ciò in generale non è vero. Data l'impossibilità di "calcolare" tali coefficienti di libera inflessione in modo generale ed attendibile (le *alignment charts* e gli abachi di Wood sono tutt'altro che attendibili), Sargon lascia alla sensibilità del progettista il compito di fissare questi valori, che possono dipendere da fattori affatto estranei al modello, come ritegni sovrastrutturali, provvidenze o elementi non modellati (si pensi ad un modello piano totalmente controventato fuori piano senza che i controventi siano modellati).

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

#### 3.8.6.10.1 Coefficienti di libera inflessione (Dialogo)

### COEFFICIENTI DI LIBERA INFLESSIONE (DIALOGO)

Questo dialogo chiede i coefficienti di libera inflessione da applicare agli elementi selezionati.

#### 3.8.6.11 Ared...

**COMANDO:** Edit-Proprietà-Ared...

[Ribbon-Pre]



Questo comando consente di attribuire il coefficiente di riduzione dell'area per tener conto dei fori. Il comando attribuisce tale coefficiente, specificato dall'utente, alle travi ed alle bielle selezionate.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento



## 3.8.6.11.1 Coefficiente di riduzione dell'area (Dialogo)

**COEFFICIENTE DI RIDUZIONE DELL'AREA (DIALOGO)**

Questo dialogo chiede il coefficiente  $k$  ( $< 1$ ) di riduzione dell'area, da applicare alle aste selezionate.

## 3.8.6.12 Pick bt

**COMANDO: Edit-Proprietà-Pick Bt****[Ribbon-Pre]**

Questo comando attribuisce le caratteristiche (materiale e sezione) di un elemento scelto con il mouse a tutte le aste selezionate.

**Tipo:** non modale**Destinazione:** documento

## 3.8.6.13 Pick pm

**COMANDO: Edit-Proprietà-Pick Pm****[Ribbon-Pre]**

Questo comando attribuisce le caratteristiche (materiale e sezione) di un elemento scelto con il mouse a tutte le piastre e membrane selezionate.

**Tipo:** non modale**Destinazione:** documento

### 3.8.6.14 Terreno

#### COMANDO: Edit-Proprietà-Terreno

[Ribbon-Pre]



Questo comando consente serve a definire un suolo stratificato alla Boussinesq (massimo 5 strati) al fine di calcolare, per una data impronta di fondazione, il valore della  $k$  di Winkler. Eseguito il comando, si accede a un opportuno [dialogo](#)<sup>[1020]</sup> in cui si definiscono i parametri del terreno e si calcola  $k$ .

**Tipo:** modale

#### 3.8.6.14.1 Suolo alla Boussinesq stratificato (Dialogo)

#### SUOLO ALLA BOUSSINESQ STRATIFICATO (DIALOGO)

Per ogni strato (massimo 5) vanno definiti spessore, modulo di elasticità e coefficiente di Poisson. I primi due parametri vanno espressi nelle unità correnti. Se il numero di strati è inferiore a 5, le restanti righe non vanno riempite.

Definita l'impronta dell'appoggio (Dx, Dy, nelle unità correnti) si preme "Calcola Winkler" e viene automaticamente calcolato il valore di k. Tale valore potrà poi essere introdotto dall'utente nel dialogo di [Aggiunta di molle alla Winkler](#)<sup>[849]</sup>.

### 3.8.7 Vincoli

#### 3.8.7.1 Vincoli sui nodi...

#### COMANDO: Edit-Vincoli-Vincoli Sui Nodi

[Ribbon-Pre]



Questo comando attribuisce il vincolo scelto dall'utente ai nodi selezionati ([dialogo](#)<sup>[1022]</sup>). E' usato anche per eliminare i vincoli (vincoli nulli).

Data la presenza di una [maschera di vincolo](#)<sup>[1023]</sup> precedentemente applicata, non è possibile assegnare vincoli ai nodi che non abbiano le componenti di vincolo presenti nella maschera di vincolo stessa. Tutti i gradi di libertà appartenenti alla maschera di vincolo attiva appaiono pertanto vincolati e ingrigiti. L'unico modo di assegnare vincoli nulli o inferiori a quelli della maschera di vincolo precedentemente assegnata è quello di ridefinire la maschera di vincolo corrispondentemente.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

#### 3.8.7.1.1 Attribuzione dei vincoli (Dialogo)

### ATTRIBUZIONE DEI VINCOLI (DIALOGO)



Questo dialogo fa scegliere il tipo di **vincolo** da assegnare ai **nodi selezionati**. La spunta indica che il grado di libertà è vincolato. Il dialogo è impiegato anche per definire una **maschera di vincolo** che verrà poi applicata a tutti i nodi del modello. Quando si attribuisce un

vincolo ai nodi selezionati, non è possibile liberare gradi di libertà che siano già vincolati nella corrente maschera di vincolo.

Il bottone *Incastro* vincola tutti e 6 i gradi di libertà.

Il botton *Liberato* rimuove tutti i vincoli.

Il bottone *Cerniera* vincola le 3 traslazioni.

Di seguito vengono mostrati i simboli convenzionali con cui vengono rappresentati i vincoli nodali in Sargon.



A sinistra (quadrato) abbiamo il simbolo che indica l'incastro completo (sono vincolate le tre traslazioni e le tre rotazioni).

A destra (cerchio) abbiamo il simbolo che indica qualsiasi vincolo diverso dall'incastro.

In entrambi i casi, sono presenti 6 pixel (traslazioni X, Y, Z sulla prima riga, rotazioni attorno a X, Y, Z sulla seconda riga). Un pixel bianco indica che il relativo grado di libertà è vincolato; un pixel nero indica che il relativo grado di libertà non è vincolato. Nel caso dell'incastro, tutti i pixel saranno bianchi. Nel caso degli altri vincoli, ci saranno alcuni pixel bianchi e alcuni neri. Nell'esempio in figura, sono vincolate solo le tre traslazioni (prima riga) e si ha quindi una cerniera.

### 3.8.7.2 Maschera di vincolo

#### COMANDO: Edit-Vincoli-Maschera di vincolo

[Ribbon-Pre]

Attraverso un apposito [dialogo](#)<sup>1022</sup>, questo comando attribuisce la maschera di vincolo scelta dall'utente a tutti i nodi della struttura. La maschera di vincolo è una specie di “vincolo minimo” che tutti i nodi della struttura devono possedere. L'applicazione di una maschera di vincolo è utile per quei problemi nei quali una parte dei gradi di libertà è inattiva (ad esempio

modelli di sole bielle e di soli elementi solidi). La maschera di vincolo è ricordata nella barra di stato, dopo le unità di misura attive.

Data la presenza di una maschera di vincolo precedentemente applicata, non è possibile assegnare vincoli ai nodi che non abbiano le componenti di vincolo presenti nella maschera di vincolo stessa, onde evitare pericolose confusioni. *I nodi che hanno vincoli esattamente eguali a quelli previsti dalla maschera di vincolo appariranno non vincolati anche quando viene richiesta la rappresentazione grafica dei vincoli. In questo modo il modello apparirà molto più facilmente comprensibile, essendo dato per scontato che tutti i nodi abbiano almeno la maschera di vincolo corrente.*

Proprio a causa della esistenza di questo nuovo dato, i modelli della versione 7.30 hanno un formato diverso dai modelli delle versioni precedenti (file .wsr).

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

### 3.8.7.3 Svincoli delle travi...

#### COMANDO: Edit-Vincoli-Svincoli delle travi

[Ribbon-Pre]



Questo comando è usato per attribuire degli svincoli agli elementi trave selezionati, ovvero agli elementi scelti con il mouse, secondo la modalità di funzionamento scelta dall'utente ([dialogo](#)<sup>[1025]</sup>).

Le modalità di funzionamento possibili sono due: automatica e manuale.

Nella modalità automatica il programma applica la maschera di vincolo su ogni estremo selezionato degli elementi trave presenti nella vista attiva. Un estremo è selezionato se è selezionata la trave a cui appartiene ed il nodo ad esso corrispondente. Questa modalità di funzionamento è utile se si devono definire molti svincoli: in caso contrario è più facile usare la modalità manuale.

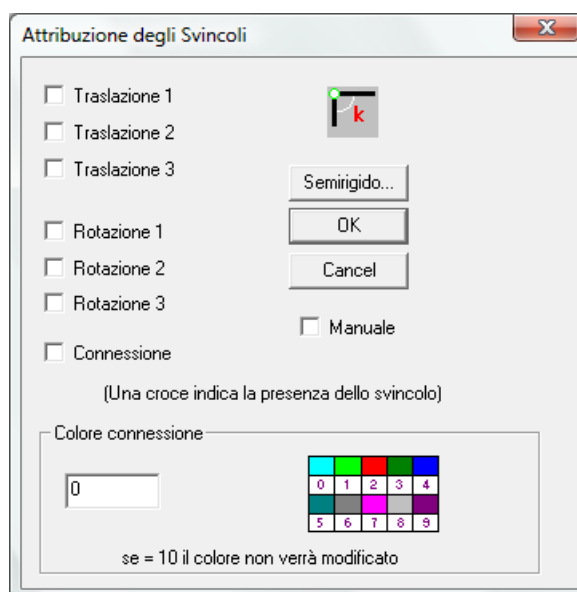
Nella modalità manuale l'utente clicca con il mouse in prossimità dell'estremo ove vuole applicare lo svincolo. L'estremo è indicato da un pallino mobile.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

#### 3.8.7.3.1 Attribuzione di svincoli (Dialogo)

### ATTRIBUZIONE DI SVINCOLI (DIALOGO)



Questo dialogo fa scegliere il tipo di svincolo da assegnare alle travi selezionate. La spunta indica che il grado di libertà nel sistema di riferimento locale è svincolato.

Le modalità di funzionamento possibili sono due: **automatica** e **manuale**.

Nella modalità automatica (casella *Manuale* non spuntata) il programma applica la maschera di vincolo su ogni estremo selezionato degli elementi trave presenti nella vista attiva. Un estremo è selezionato se è selezionata la trave a cui appartiene ed il nodo ad esso corrispondente. Questa modalità di funzionamento è utile se si devono definire molti svincoli: in caso contrario è più facile usare la modalità manuale.

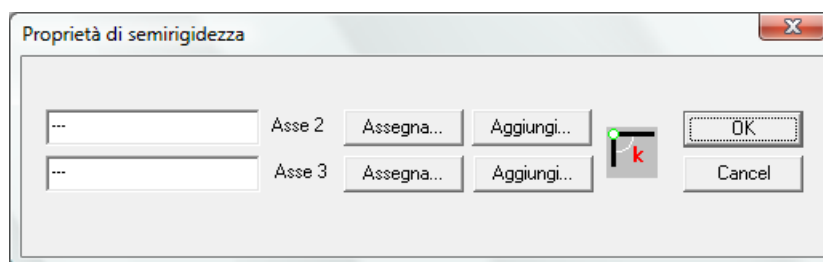
Nella modalità manuale (casella *Manuale* spuntata) l'utente clicca con il mouse in prossimità dell'estremo ove vuole applicare lo svincolo. L'estremo è indicato da un pallino mobile.

E' possibile assegnare svincoli semirigidi; per fare ciò si preme il bottone *Semirigido*, che fa accedere a un opportuno [dialogo](#)<sup>1026</sup> in cui si definiranno le proprietà della molla rotazionale.

*Ai fini del calcolo dei collegamenti con il software CSE, è possibile definire un **segno di connessione**, cioè un'interruzione di membratura che non comporta alcuna attribuzione di svincolo. Per fare ciò, occorre spuntare la casella "Connessione" senza però spuntare alcuna traslazione o rotazione. E' possibile inoltre definire un **colore** per lo svincolo o il segno di connessione, caratteristica che in CSE consente di distinguere nodi strutturali altrimenti uguali. Il valore 0 mantiene il colore di default. Sempre ai fini di CSE, è possibile assegnare un colore di connessione anche agli elementi biella. Per approfondimenti su questi temi si rimanda alla guida di CSE.*

#### 3.8.7.3.1.1 Proprietà di semirigidezza (Dialogo)

### PROPRIETA' DI SEMIRIGIDEZZA (DIALOGO)



Questo dialogo consente di fissare il valore delle due molle rotazionali associate alla rotazione attorno all'asse locale 2 e attorno all'asse locale 3.

Per ciascun asse è possibile **assegnare** una delle molle già presenti in archivio o **aggiungerne** una nuova. Nel primo caso si scorrerà l'[archivio](#)<sup>1002</sup> delle molle presenti nel



modello e si selezionerà quella desiderata; nel secondo caso si accederà a un ulteriore [dialogo](#)<sup>1014</sup> in cui si definiranno le proprietà di una nuova molla (che verrà assegnata alla maschera di svincoli corrente e verrà anche aggiunta all'archivio delle molle).

#### 3.8.7.4 Ritegni

##### COMANDO: Edit-Vincoli-Ritegni

[Ribbon-Pre]

Questo comando è da impiegare al momento solo e soltanto se si usa il programma di verifica per i profili formati a freddo CS4. Esso applica agli elementi trave e biella selezionati i 9+9 codici di ritegno a ciascun estremo degli elementi selezionati.

I codici di ritegno possono essere applicati o no (sì o no), essi sono, a ciascun estremo:

u	spostamento assiale
u'	derivata rispetto ad x dello spostamento assiale
v	spostamento lungo l'asse forte
v'	derivata rispetto ad x dello spostamento secondo l'asse forte
w	spostamento lungo l'asse debole
w'	derivata rispetto ad x dello spostamento secondo l'asse debole
Teta	rotazione torsionale
Teta'	derivata della rotazione torsionale
Dist	distorsione

#### 3.8.8 Azioni

##### 3.8.8.1 Aggiungi...

##### COMANDO: Edit-Azioni-Aggiungi...

**[Ribbon-Pre]**

Questo comando fa aggiungere azioni ai nodi o agli elementi.

Il comando ha due modalità operative.

Nella prima modalità operativa, quella standard, il carico verrà applicato a tutti gli oggetti selezionati. Questa modalità si adopera quando molti oggetti hanno lo stesso carico.

Nella seconda modalità operativa, detta "manuale", si clicca su un oggetto e si specifica il carico, si clicca su un altro oggetto e si specifica un nuovo carico, e così via, finché si interrompe il comando cliccando a destra.

Il comando comporta la presentazione di un opportuno dialogo ([Aggiunta azioni](#)<sup>10281</sup>) che fa scegliere la modalità operativa prescelta ed il tipo di carico da applicare.

Le azioni vengono aggiunte nel caso di carico corrente.

**Tipo:** modale e, in modalità automatica, non modale.

**Destinazione:** documento

#### 3.8.8.1.1 Aggiunta azioni (Dialogo)

### AGGIUNTA AZIONI (DIALOGO)

Questo dialogo fa scegliere il tipo di azione che si vuole applicare agli oggetti selezionati e la modalità di funzionamento del comando di aggiunta delle azioni.


Se si seleziona "manuale" le azioni del tipo prescelto verranno applicate agli oggetti scelti cliccando con il mouse ad uno ad uno. Una volta scelto l'oggetto comparirà un dialogo che chiederà i dati della azione.

Se non si seleziona manuale il carico verrà applicato a tutti gli oggetti selezionati al momento della esecuzione del comando stesso.


Le azioni sono aggiunte al caso di carico attivo al momento della esecuzione del comando.

Ad ogni bottone corrisponde un tipo di azione. Le azioni possibili sono:




Forze nodali:  forze o coppie applicate ai nodi




Carichi uniformi:  forze o coppie per unità di lunghezza applicate a travi, costanti lungo tutta la lunghezza.




Carichi concentrati:  forze o coppie applicate all'interno degli elementi trave.



Carichi lineari:  forze o coppie per unità di lunghezza variabili linearmente tra un estremo e l'altro di elementi trave.



Carichi lineari generali:  forze o coppie per unità di lunghezza variabili linearmente tra due punti qualsiasi di elementi trave.




Carichi termici:  carichi termici applicati a travi, bielle, piastre o membrane.




Cedimenti:  spostamenti applicati a nodi.



Carichi distribuiti su piastre o membrane:  forze applicate ai nodi degli elementi bidimensionali, equivalenti ad un carico distribuito sull'elemento (nel riferimento locale o globale).



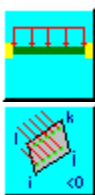
Carichi distribuiti su piastre o membrane legati a un carico di pressione normale all'elemento (costante o variabile con z):  forze applicate ai nodi degli elementi bidimensionali, equivalenti ad un carico di pressione normale all'elemento distribuito sull'elemento stesso (nel riferimento globale).

## 3.8.8.1.1.1 Aggiunta di forze nodali (Dialogo)

**AGGIUNTA DI FORZE NODALI (DIALOGO)**

Questo dialogo stabilisce il valore ed il tipo delle forze nodali da applicare ai nodi selezionati.

## 3.8.8.1.1.2 Aggiunto di carichi uniformi (Dialogo)

**AGGIUNTA DI CARICHI UNIFORMI (DIALOGO)**

Questo dialogo stabilisce il valore ed il tipo dei carichi uniformi da applicare alle travi selezionate, ovvero dei carichi distribuiti da applicare agli elementi bidimensionali selezionati (in questo ultimo caso i carichi vengono trasformati automaticamente in nodali).

Se il flag **Riferimento globale** è acceso le componenti si riferiscono agli assi di riferimento globale. Se esso è spento le componenti si riferiscono alla terna locale di ciascun elemento (si ricorda che per piastre e membrane l'asse normale all'elemento è l'asse 3).

## 3.8.8.1.1.3 Aggiunta di carichi concentrati (Dialogo)

**AGGIUNTA DI CARICHI CONCENTRATI (DIALOGO)**

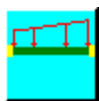
Questo dialogo stabilisce il valore ed il tipo dei carichi concentrati da applicare alle travi selezionate.

Se il flag **Riferimento globale** è acceso le componenti si riferiscono agli assi di riferimento globale. Se esso è spento le componenti si riferiscono alla terna locale di ciascun elemento.

**Ascissa** è un numero, compreso tra 0 ed 1, che dice dove la forza (o coppia) verrà messa nell'asse della trave. Il valore 0 corrisponde al primo estremo, il valore 1 al secondo estremo.

#### 3.8.8.1.1.4 Aggiunta di carichi lineari (Dialogo)

### AGGIUNTA DI CARICHI LINEARI (DIALOGO)

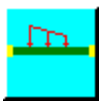


Questo dialogo stabilisce il valore ed il tipo dei carichi lineari da applicare alle travi selezionate.

Se il flag **Riferimento globale** è acceso le componenti si riferiscono agli assi di riferimento globale. Se esso è spento le componenti si riferiscono alla terna locale di ciascun elemento.

#### 3.8.8.1.1.5 Aggiunta di carichi lineari generali (Dialogo)

### AGGIUNTA DI CARICHI LINEARI GENERALI (DIALOGO)



Questo dialogo stabilisce il valore ed il tipo dei carichi lineari generali da applicare alle travi selezionate.

Se il flag **Riferimento globale** è acceso le componenti si riferiscono agli assi di riferimento globale. Se esso è spento le componenti si riferiscono alla terna locale di ciascun elemento.

Il numero **AB1** (compreso tra 0 ed 1) dice dove il carico comincia.

Il numero **AB2** (compreso tra 0 ed 1 e maggiore di **AB1**) dice dove il carico finisce.

#### 3.8.8.1.1.6 Aggiunta di carichi termici (Dialogo)

### AGGIUNTA DI CARICHI TERMICI (DIALOGO)



Questo dialogo stabilisce l'intensità dei carichi termici da applicare alle travi ed alle bielle selezionate.

#### 3.8.8.1.1.7 Aggiunta di cedimenti (Dialogo)

### AGGIUNTA DI CEDIMENTI (DIALOGO)

Questo dialogo stabilisce il valore ed il tipo dei cedimenti da applicare ai nodi selezionati.

Dapprima si stabilisce la direzione del cedimento (X, Y, Z).

Poi si stabilisce se il cedimento è traslazionale o rotazionale.

Il valore del cedimento traslazionale dipende dalla unità di lunghezza attiva.

Il valore del cedimento rotazionale è in radianti.

La “Rigidezza K” che occorre fornire deve essere molto alta, in modo che, se j è il grado di libertà prescelto, nella corrispondente riga della matrice di rigidezza sia vero che:

$$\sum_j k_{ij} u_j \cong k_{ij} u_j$$

con    kij   ”   kim   m≅j

#### 3.8.8.1.1.8 Carico per unità di superficie (Dialogo)

### CARICO PER UNITA' DI SUPERFICIE (DIALOGO)

Questo dialogo è usato per specificare il carico per unità di superficie (nelle unità di misura attive). E' usato sia dal comando [Solaio](#)<sup>1038</sup>, che dal comando di aggiunta di pressioni su elementi bidimensionali [Aggiungi](#)<sup>1027</sup>.

#### 3.8.8.2 Modifica

### COMANDO: Edit-Azioni-Modifica...

[Ribbon-Pre]



Questo comando fa modificare, anche eventualmente cancellandole, azioni singole presenti su nodi o elementi nel caso di carico attivo. Perché il comando sia attivo ci si deve trovare in un caso di carico e non in una combinazione.

Il comando comincia con una fase non modale nella quale si deve cliccare sull'oggetto che ha l'azione che si desidera modificare (nodo o elemento). In questa fase ed in quella immediatamente successiva il comando è identico a quello di interrogazione.

Scelto il nodo o l'elemento compare un opportuno [dialogo](#)<sup>1034</sup> che lista le azioni presenti su quel nodo o elemento in quel certo caso di carico. Tale dialogo è in tutto affine a quello presente nel comando [Interroga Azioni](#)<sup>730</sup>. Se si vuole modificare una azione occorre fare doppio click sulla riga corrispondente con il mouse. Si aprirà il pertinente dialogo (uno diverso per ogni tipo di azione) che consentirà di ridefinire il valore dell'azione. Se la si vuole cancellare sarà sufficiente introdurre valori tutti nulli per le componenti delle azioni.

Le azioni sono listate e vanno modificate usando la corrente unità di misura.

## 3.8.8.2.1 Azioni presenti (Dialogo)

**AZIONI PRESENTI (DIALOGO)**

Questo dialogo dà la lista delle azioni presenti su un nodo o un elemento, nel caso di carico precedentemente prescelto.

**3.8.8.3 Cancella...****COMANDO: Edit-Azioni-Cancella...****[Ribbon-Pre]**

Questo comando è inattivo.

**3.8.8.4 Canc Sel...****COMANDO: Edit-Azioni-CANC Sel...****[Ribbon-Pre]**

Questo comando elimina le azioni dalle entità selezionate nel caso di carico attivo.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

**3.8.8.5 Regione...****COMANDO: Edit-Azioni-Regione...****[Ribbon-Pre]**



Questo comando consente di aggiungere carichi a regione. Alla esecuzione del comando compare il dialogo [Carichi a regione](#)<sup>[1035]</sup> che fa scegliere il tipo di carico a regione da aggiungere. Le azioni da compiere dipendono dal tipo di carico a regione scelto ([Azioni](#)<sup>[172]</sup>).

**Tipo:** non modale

**Destinazione:** documento-vista attiva

#### 3.8.8.5.1 Carichi a regione (Dialogo)

### CARICHI A REGIONE (DIALOGO)

Questo dialogo chiede di stabilire il tipo di carichi a regione che verranno applicati. Se vengono applicati carichi di linea verrà chiesta una poligonale, se di superficie due poligonali.

Nel modo **Standard** il dominio di influenza di ciascun nodo (lunghezza o superficie) viene moltiplicato per un vettore.

Nel modo **Proiezione** si considera la proiezione della superficie di influenza su un piano. Il piano è individuato dalla sua normale (ad esempio una proiezione orizzontale richiede il vettore  $(0, 0, 1)$ ). La forza finale è diretta come il vettore delle pressioni.

Nel modo **Ortagonale** la forza risultante è normale alla superficie di influenza.

Nel caso in cui i carichi vadano su una superficie, questa può essere ricostruita in due modi diversi ([Azioni](#)<sup>[172]</sup>):

- Il primo modo (**Linea o superfici a scacchiera**) usa una topologia a scacchiera, ed è il modo classico (in questo caso occorre introdurre una o due poligonali a seconda che il dominio sia una linea o una superficie). La regione (la superficie) è definita mediante due file di nodi (anche non rettilinee) atte a definire – come una riga e una colonna qualsiasi di una scacchiera – una superficie nello spazio ([Azioni](#)<sup>[172]</sup>).
- Il secondo modo (**Superficie con ricostruzione locale**) non usa le scacchiere (e non bisogna introdurre poligonali) ma ricostruisce in prossimità di ciascun nodo la

superficie ad esso limitrofa mediante l'analisi degli elementi selezionati adiacenti. La superficie competente a ciascun nodo selezionato viene ricostruita sulla base degli elementi trave o biella selezionati connessi al nodo in questione. Questi elementi, come le stecche di un ombrello, definiscono una superficie. Il comando in questa modalità è stato pensato per le strutture reticolari spaziali a doppia curvatura, per le quali esiste una maglia di elementi superiore, una maglia inferiore e dei diagonali di collegamento. In questo caso selezionando i soli elementi della maglia superiore si riesce a ricostruire la superficie localmente senza bisogno di scacchiere che, in questo caso, potrebbero non essere definibili ([Azioni](#)<sup>172</sup>).

Operativamente:

- se si definisce un carico di linea si deve definire una poligonale che racchiuda tutti e soli i nodi della linea;
- se si definisce un carico di superficie a scacchiera (definita mediante poligoni) occorre definire prima una poligonale poi una seconda poligonale; le due poligoni devono definire file di nodi aventi un nodo in comune.
- Se si definisce un carico di superficie mediante la ricostruzione locale, bisogna aver preventivamente selezionato tutti i nodi che si vogliono caricare, e tutti gli elementi da impiegare per ricostruire localmente il luogo (ad esempio tutti gli elementi dello strato superiore precedentemente citato).

#### 3.8.8.5.1.1 Carichi a regione standard o proiezione (Dialogo)

### CARICHI A REGIONE STANDARD O PROIEZIONE (DIALOGO)

#### 1) Carichi a regione Standard di linea.

Il vettore  $f_x, f_y, f_z$  richiesto in questo dialogo, moltiplicato per la lunghezza pertinente a ciascun nodo,  $l_i$ , dà la forza da applicare sul nodo

$$F_{xi} = f_x \cdot l_i$$

$$F_{yi} = f_y \cdot l_i$$

$$F_{zi} = f_z \cdot l_i$$

$f_x$ ,  $f_y$  ed  $f_z$  hanno le dimensioni di forza (o coppia) per unità di lunghezza.

## 2) Carichi a regione Standard di superficie

Il vettore  $q_x$ ,  $q_y$ ,  $q_z$  richiesto in questo dialogo, moltiplicato per la superficie pertinente a ciascun nodo,  $S_i$ , dà la forza da applicare sul nodo:

$$F_{xi} = S_i \cdot q_x$$

$$F_{yi} = S_i \cdot q_y$$

$$F_{zi} = S_i \cdot q_z$$

$q_x$ ,  $q_y$  e  $q_z$  hanno la dimensione di forza (o coppia) per unità di superficie.

## 3) Carichi a regione Proiezione

Se  $S_i$  è la superficie di influenza di ciascun nodo ed  $(n_{ix}, n_{iy}, n_{iz})$  il versore normale della superficie di influenza la forza da applicare a ciascun nodo viene calcolata così:

$$S_i^* = \mathbf{n} \cdot \mathbf{v} S_i$$

$$\mathbf{F}_i = \mathbf{q} \cdot S_i^*$$

In questo dialogo viene chiesto il vettore  $\mathbf{q}$ .

### 3.8.8.5.1.2 Direzione della normale (Dialogo)

## DIREZIONE DELLA NORMALE (DIALOGO)

Nei carichi a regione di proiezione la forza  $\mathbf{F}_i$  su ciascun nodo viene calcolata con

$$\mathbf{F}_i = (\mathbf{n} \cdot \mathbf{v} S_i) \mathbf{q}$$

In questo dialogo viene chiesto il versore  $\mathbf{v}$ . Si può anche dare un vettore: il programma calcola il versore automaticamente.

## 3.8.8.5.1.3 Intensità (Dialogo)

**INTENSITÀ (DIALOGO)**

Questo dialogo chiede l'intensità del carico per unità di superficie (carichi a regione Ortogonali alla regione). L'intensità è dotata di segno.

**3.8.8.6 Gravità...****COMANDO: Edit-Azioni-Gravità...****[Ribbon-Pre]**

Questo comando aggiunge le azioni dovute alla gravità degli elementi selezionati. Le azioni vengono aggiunte nel caso di carico corrente.

**Tipo:** modale**Destinazione:** documento

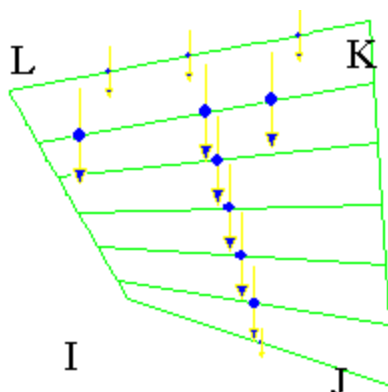
## 3.8.8.6.1 Moltiplicatore di gravità (Dialogo)

**MOLTIPLICATORI DI GRAVITÀ (DIALOGO)**

Questo dialogo chiede la direzione e l'intensità delle forze di gravità. Se si vuole incrementare il peso del 5% si può dare (0, 0, - 1.05).

**3.8.8.7 Solaio...****COMANDO: Edit-Azioni-Solaio...****[Ribbon-Pre]**

Questo comando consente di aggiungere carichi uniformemente ripartiti su un insieme di travi secondarie, in funzione della loro area di influenza.



Il comando prende come dato di input il carico per unità di superficie e quattro nodi, definiti dall'utente cliccandovi sopra. Nell'ordine i nodi sono il nodo I, il nodo J, il nodo K ed il nodo L.

Il programma cerca tutti gli elementi beam che giacciono sull'allineamento definito da un nodo posto lungo la linea JK ad un nodo posto lungo la linea IL. Per ognuno di questi allineamenti viene calcolata un'area di influenza ed infine un carico uniformemente distribuito.

Il verso delle azioni dipende dal segno dato alla pressione e dal verso di percorrenza dei nodi I, J, K, L. Un numero maggiore di zero implica un vettore tale per cui la circolazione (I,J,K,L) avviene in modo antiorario.

Il comando funziona anche in assenza delle travi JK e LI.

A partire dalla versione 9.90 rilasciata nel Luglio 2012, il comando è stato esteso ed è ora in grado di riconoscere se lungo l'allineamento generico che va dal segmento IL al segmento JK sono presenti più elementi finiti (che devono essere di tipo beam). In tal caso, il carico per unità di lunghezza verrà applicato a tutti gli elementi che fanno andare, lungo una fila ininterrotta, da IL a JK. Perché il comando possa funzionare, tutti i nodi intermedi presenti lungo l'allineamento devono essere referenziati da elementi beam, senza "buchi" o nodi in eccesso.

**Tipo:** modale per la definizione della pressione, non modale per la definizione dei nodi.

**Destinazione:** documento

#### 3.8.8.8 Sisma...

**COMANDO:** Edit-Azioni-Sisma...

[Ribbon-Pre]



Questo comando è molto utile e potente. Esso genera un insieme di forze applicate ai nodi capaci di simulare l'azione di un terremoto. Il comando implementa la così detta *analisi statica equivalente*, che consente, sotto certe ipotesi, di stimare gli effetti di un sisma; le ipotesi sono le seguenti:

- \* esiste un modo dominante per la struttura relativo alla direzione del sisma presa in esame;
- \* la struttura è regolare sia in pianta che in elevazione;
- \* la forma del modo è assimilabile a lineare.

E' chiaro che tutte queste ipotesi sono raramente soddisfatte, in specie l'ultima. Tuttavia, l'analisi statica equivalente è utile nei casi in cui non sia disponibile un'analisi modale o nei casi in cui la struttura sia effettivamente regolare. Le varie norme disponibili consentono l'uso della statica equivalente sotto ipotesi che dipendono da norma a norma ma che, in sintesi, sono quelle qui ricordate.

Da un punto di vista operativo il comando funziona con un opportuno [dialogo](#)<sup>1042</sup> che chiede le seguenti cose:

- \* una quota di riferimento o iniziale  $z_0$ ;
- \* un coefficiente numerico  $k$  (numero puro);
- \* una direzione per il sisma. Si noti che il vettore direzione viene sempre normalizzato a 1.

Per ogni nodo selezionato i vengono calcolate le quantità:

$H_i = (Z_i - z_0)$	quota relativa
$Fix = (g * Mix) * k * H_i * \text{Sum}(M_{xi}) / \text{Sum}(M_{xi} * H_i) * \text{Dir}X$	forza X
$Fiy = (g * Miy) * k * H_i * \text{Sum}(M_{yi}) / \text{Sum}(M_{yi} * H_i) * \text{Dir}Y$	forza Y
$Fiz = (g * Miz) * k * H_i * \text{Sum}(M_{zi}) / \text{Sum}(M_{zi} * H_i) * \text{Dir}Z$	forza Z

dove:

- \* **g** costante di gravità;
- \* **Mix** massa traslazionale in direzione x del nodo i;
- \* **Sum(Mxi)** somma delle masse traslazionali in direzione x di tutti i nodi selezionati e non vincolati in direzione X
- \* **Sum(Mxi \* Hi)** somma dei prodotti  $W_{xi} * H_i$  ovvero delle masse traslazionali dei nodi selezionati e non vincolati moltiplicati per la loro quota relativa alla quota iniziale  $z_0$ ;
- \* **DirX** è il coseno direttore della direzione specificata in direzione X ( $\leq 1$ ).  
Se è eguale a 1 il sisma è diretto come l'asse X.

Le masse nodali relative ai carichi applicati possono essere facilmente generate impiegando il comando [Caso...](#)<sup>[1099]</sup>. La quota iniziale tiene conto che lo “0” del modello può non coincidere con lo 0 algebrico. Il coefficiente k tiene in conto la severità del sisma. Esso può essere visto come l'accelerazione al suolo in unità g. Per la norma italiana esso vale:

$$k = C \varepsilon \beta I$$

ove  $C = (S-2)/100$ , S è la severità del sisma ( $6 \leq S \leq 12$ ) e i rimanenti coefficienti sono il coefficiente di fondazione, il coefficiente di struttura, il coefficiente di protezione sismica. La quantità

$$\gamma_x = H_i * \text{Sum}(Mix) / \text{Sum}(Mix * H_i)$$

è l'omonimo coefficiente della normativa italiana.

Normalmente avviene che

$$Mix = Miy = Miz$$

ma il comando implementa situazioni più generali.

Si noti che usando questo comando è del tutto inutile calcolare il baricentro delle masse. L'insieme delle forze elementari associate a ciascun nodo è infatti un sistema che

sollecita la struttura in modo persino più aderente al vero di quanto previsto dalla norma. Naturalmente le masse devono essere valutate in modo corretto.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

#### 3.8.8.8.1 Analisi statica equivalente (Dialogo)

### ANALISI STATICA EQUIVALENTE (DIALOGO)

Questo dialogo fissa i parametri necessari per generare un insieme di forze capaci di simulare un sisma in accordo al metodo della analisi statica equivalente ([Sisma...](#)<sup>1040</sup>).

Al momento in cui ci si trova davanti il dialogo è necessario essere nel caso di carico desiderato, e tale caso di carico dovrebbe essere vuoto.

I nodi che si vogliono tenere in conto devono essere selezionati. Se tutto il modello è stato selezionato allora la massa tenuta in conto sarà la massa dell'intero modello.

Per prima cosa il dialogo chiede la direzione del sisma. Dare la terna (1,0,0) è equivalente a dare la terna (5,0,0). L'intensità non è governata dai numeri qui specificati.

Come seconda cosa viene chiesta la quota iniziale (nella unità attiva). Se la base del modello è a quota 0 si lascia 0. Se invece la base del modello è a quota  $z_0$ , si specifica  $z_0$ .

Come ultimo numero viene chiesto il fattore  $k$ , che può essere visto come l'accelerazione del terreno in unità  $g$ .

Con  $S=9$ , ed usando la norma italiana, supponendo tutti gli altri coefficienti eguali a 1,  $k=0.07$ .



### 3.8.8.9 Vento su bt...

#### COMANDO: Edit-Azioni-Vento su BT...

##### [Ribbon-Pre]

Questo comando è impiegato per generare le forze dovute all'azione del vento sui profili. Ogni profilo oppone al vento una certa resistenza che dipende dalla sua forma e dalla sua orientazione rispetto alla direzione del vento. Il comando consente di tenere in conto questo fenomeno applicando agli elementi beam un carico uniformemente distribuito, agli nodi degli elementi truss due forze eguali equivalenti alla azione del vento. L'azione del vento è descritta per mezzo di due vettori di pressione applicati a due diverse quote. Il programma assume una variazione lineare della pressione con la quota.

A partire dalla versione 12 il programma tiene opzionalmente conto del maggior ingombro possibilmente offerto da uno strato di ghiaccio che avvolga gli elementi, lo spessore del quale va indicato.

Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[1043]</sup> che consente di specificare i due vettori e le due quote. I carichi saranno applicati sugli elementi selezionati prima della esecuzione del comando stesso.

Attenzione: se la sezione degli elementi viene cambiata dopo l'assegnazione dei carichi, i carichi dovranno essere riassegnati dopo aver cancellato i precedenti.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

#### 3.8.8.9.1 Vento sui profili (Dialogo)

### VENTO SU PROFILI (DIALOGO)

Questo dialogo è usato per specificare la direzione, l'intensità e la variazione con la quota degli effetti di pressione dovuti al vento.

In pratica occorre fornire due vettori di pressione (carico per unità di superficie) e due quote ad essi associate. Il programma calcolerà le pressioni alle varie quote applicando una variazione lineare.

Lo spessore di ghiaccio può essere opzionalmente indicato per aumentare la superficie di ingombro degli elementi. Se la larghezza di un elemento è  $B$ , e lo spessore di ghiaccio è  $t$ , la larghezza utilizzata per il calcolo del vento è  $(B+2t)$ . L'operazione è compiuta per entrambe le direzioni che possono investire la sezione.

#### 3.8.8.10 Ghiaccio su bt..

##### **COMANDO: Edit-Azioni-Ghiaccio su BT...**

##### **[Ribbon-Pre]**

Questo comando è impiegato per generare le forze dovute all'azione peso del ghiaccio sui profili, considerando il caso di carico attivo e gli elementi selezionati. Si determina uno spessore di ghiaccio sui profili, un peso specifico del ghiaccio, ed un angolo di pendenza dell'asse degli elementi al di sopra del quale il ghiaccio non è applicato. Il carico è assegnato come carico uniformemente distribuito per gli elementi trave e come carichi concentrati ai nodi per gli elementi biella.

Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>1044</sup> che consente di specificare i due vettori e le due quote. I carichi saranno applicati sugli elementi selezionati prima della esecuzione del comando stesso.

Attenzione: se la sezione degli elementi viene cambiata dopo l'assegnazione dei carichi, i carichi dovranno essere riassegnati dopo aver cancellato i precedenti.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

#### 3.8.8.10.1 Ghiaccio sui profili

### **GHIACCIO SUI PROFILI (DIALOGO)**

Questo dialogo è usato per specificare:

- lo spessore del ghiaccio nella unità attiva;
- il peso specifico del ghiaccio nella unità attiva;
- l'angolo della pendenza sull'orizzontale dell'asse dell'elemento, in gradi, al di sopra del quale in carico non viene applicato.

### 3.8.8.11 Spettri terremoto

#### COMANDO: Edit-Azioni-Spettri Terremoto

[Ribbon-Pre]



Questo comando dà accesso al [dialogo](#)<sup>[626]</sup> che consente di definire i terremoti associati alla struttura. E' un modo alternativo (ma del tutto equivalente) per definire i terremoti di progetto rispetto a quanto avviene usando il comando [File-Analizza](#)<sup>[617]</sup>.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

### 3.8.8.12 Accelerogrammi

#### COMANDO: Edit-Azioni-Accelerogrammi


[Ribbon-Pre]



Questo comando dà accesso al [dialogo](#)<sup>[1046]</sup> che consente di definire gli accelerogrammi inseriti nel modello a fini di studio. Un accelerogramma può essere aggiunto al modello ed essere inutilizzato. Gli accelerogrammi utilizzati per lo studio di oscillatori semplici o per la

time history modale, devono essere stati preventivamente aggiunti al modello. Gli accelerogrammi del modello sono salvati con esso su disco.

[Come affrontare le analisi sismiche con i segnali](#)  483

[Come gestire gli spettri di involucro dei segnali](#)  553

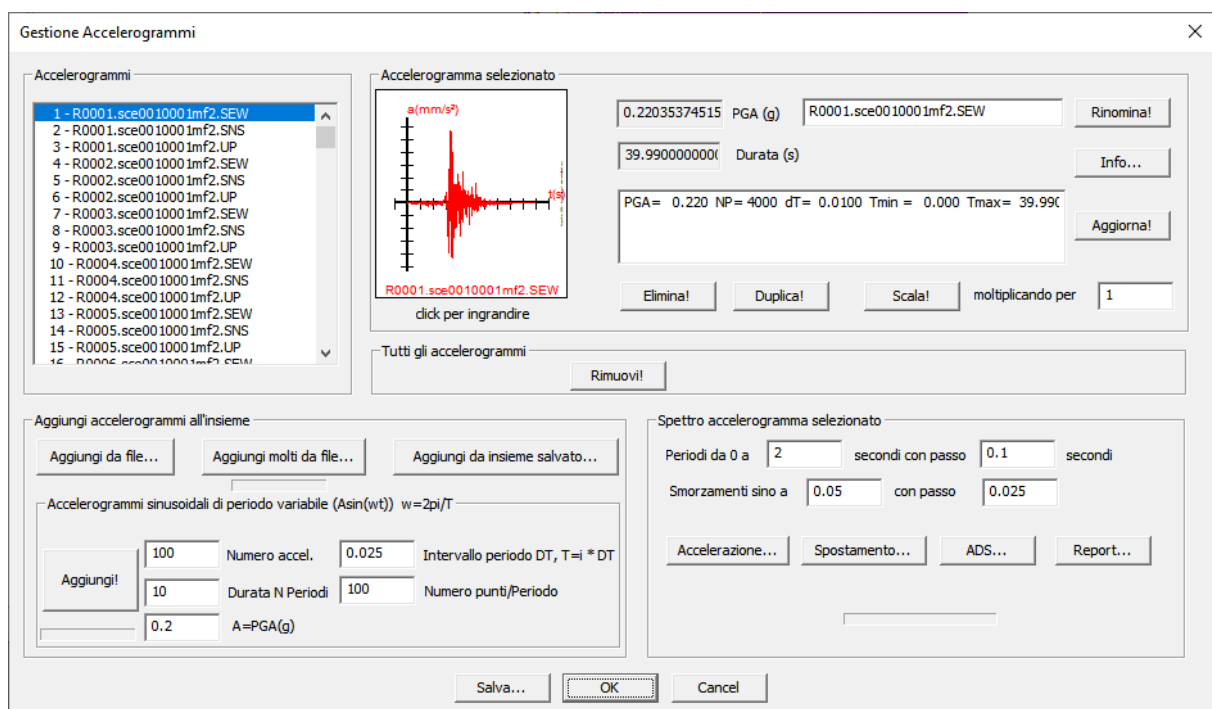
[Come utilizzare EDEM](#)  503

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

#### 3.8.8.12.1 Gestione accelerogrammi (dialogo)

### GESTIONE ACCELEROGRAMMI (DIALOGO)



Questo dialogo è usato sia per gestire gli accelerogrammi presenti in un modello, sia per scegliere un particolare accelerogramma di un insieme salvato su disco.

Il riquadro **Accelerogrammi** elenca gli accelerogrammi presenti nell'insieme (del modello, o del file indicato).

Il riquadro **Accelerogramma selezionato**, si riferisce ad un singolo accelerogramma, selezionato nella lista. Il **bottone-immagine** dà l'immagine dell'accelerogramma selezionato, è cliccabile e consente di vedere meglio il tracciato. La casella **PGA (g)** dà la PGA dell'accelerogramma selezionato in unità g (casella non editabile). La casella editabile a destra della precedente, dà l'**identificatore** dell'accelerogramma selezionato. Se si vuole cambiare tale identificatore, si scrive una cosa diversa e poi si preme il bottone **Rinomina!**. La **Durata** dà la durata del segnale in secondi. La casella editabile sottostante serve di solito a fornire **informazioni suppletive sul segnale**, come la latitudine e longitudine, la magnitudo, la profondità, e così via.

Il bottone **Info...** dà accesso a un dialogo che consente di conoscere o modificare i dati suppletivi riferiti al segnale (come ad esempio definiti nei file scaricabili dal sito di INGV).

Il bottone **Aggiorna!** serve a modificare o inizializzare tali informazioni suppletive. Il bottone **Elimina!** elimina l'accelerogramma selezionato. Il bottone **Duplica!** lo duplica. Il bottone **Scala!** lo scala della quantità specificata dal controllo editabile successivo.

Il riquadro **Tutti gli accelerogrammi** delimita le operazioni da applicare a tutti gli accelerogrammi. Il bottone **Rimuovi!** rimuove tutti gli accelerogrammi. Dato che gli accelerogrammi sono salvati nel file WSR del modello, e dato che possono occupare spazio, è buona norma tenere dentro il modello gli accelerogrammi solo finché servono, e poi rimuoverli. In particolare, se l'obiettivo finale è una analisi a spettro di risposta, dopo aver generato lo spettro di inviluppo dei segnali ai quali si è interessati, si possono cancellare i segnali completamente. Se invece si è interessati a una time history, si possono tenere solo i segnali che saranno effettivamente utilizzati per la time history.

Il riquadro **Aggiungi accelerogrammi all'insieme**, consente di aggiungere all'insieme un accelerogramma preso da un file contenente un insieme (file .acc **Aggiungi da insieme salvato**) o da un file ASCII contenente un singolo accelerogramma (**Aggiungi da file**). Nel primo caso

va indicato un file .acc. Nel secondo caso va indicato un file ASCII che può avere estensione qualsiasi (suggerite ASC, TXT e PLT).

Il formato **ASC** è il formato dei segnali scaricati da ITACA, ovvero dal sito INGV a questo indirizzo: <http://itaca.mi.ingv.it> e scegliendo Waveforms. Da lì è possibile scaricare segnali in formato zip, che una volta estratti sono file in formato ASC. Tali file possono essere letti da Sargon. Essi hanno al loro interno la direzione geografica del moto (angolo rispetto a WE).

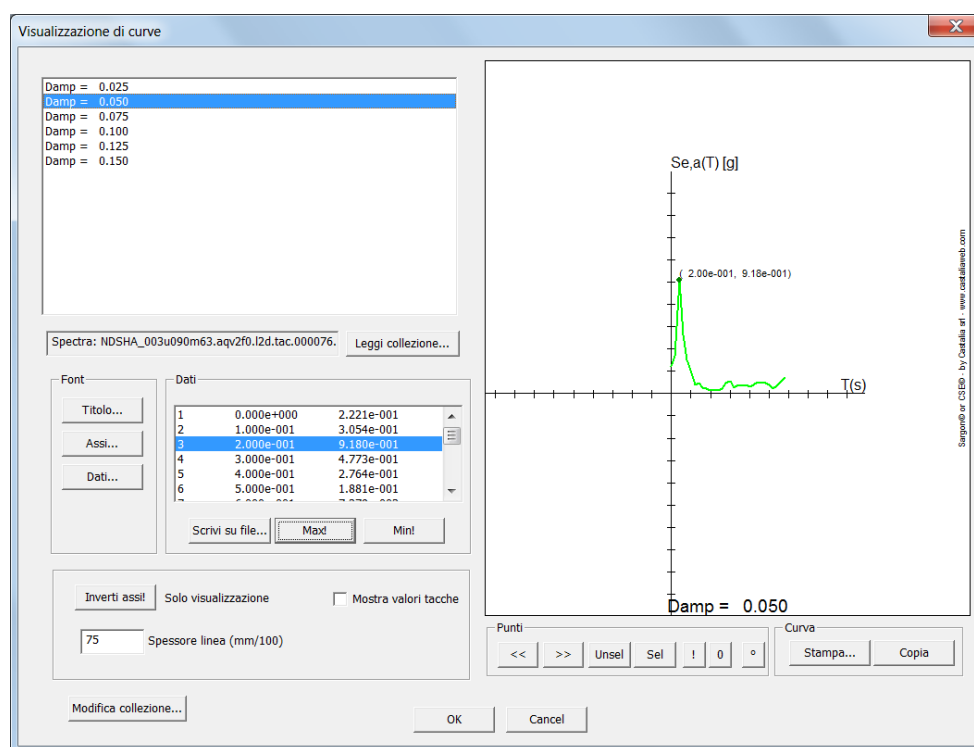
I formati **.RA**, **.TR**, **.SEW**, **.SNS**, **.UP** sono di fatto tutti formati identici a ASC ma sono usati in ambito neodeterministico, con certe convenzioni aggiuntive. Essi hanno al loro interno la direzione geografica del moto (angolo rispetto a WE). **.RA** sono segnali in direzione RADIALE. **.TR** sono segnali in direzione TRASVERSALE. Tali direzioni non hanno un senso assoluto, ma solo relativo alla congiungente la sorgente con il sito. Essi devono avere al loro interno l'angolo rispetto all'asse WE. **.UP** sono segnali sussultori. **.SEW** sono segnali in direzione Est-West. **.SNS** in direzione Sud-Nord. In genere i segnali vengono letti a triplette, aventi tutte in comune il nome, al loro interno, dell'evento.

Il formato dei file **TXT** o **PLT** è semplice: ogni riga è un istante nella forma (tempo, accelerazione). Le righe che cominciano per #, \$, % sono considerate commenti. Il separatore decimale deve essere il punto. Non indica la direzione assoluta del moto. Tale dato va quindi fornito manualmente in un secondo tempo.

Appena premuto il bottone **Aggiungi da File**, se il formato scelto è TXT o PLT, occorre specificare le unità di misura (tempo e lunghezza) con cui va letto l'accelerogramma (il formato ASC già contiene la specificazione delle sue unità di misura). Se invece si preme **Aggiungi da insieme salvato**, allora si deve scegliere su disco un file .acc (nella cartella di installazione di Sargon ci sono degli esempi di segnali NDSHA), e subito dopo ci si ritrova in un dialogo identico a quello di provenienza, dove l'unico scopo è selezionare un accelerogramma e uscire con OK.

Il bottone **Aggiungi molti da file**, consente di leggere in un sol colpo centinaia di accelerogrammi. Si possono leggere contemporaneamente file con estensione diversa (ad esempio .RA, .TR, .UP) specificando "\*.\*".

Il riquadro **Accelerogrammi sinusoidali di periodo variabile** ( $A\sin(\omega t)$ ,  $\omega=2\pi/T$ ) consente di generare un treno di segnali sinusoidali, che verranno aggiunti a quelli esistenti. Di solito questi treni di segnali sono usati da soli (senza vere registrazioni di sismi) per ragioni di test. **Numero** dice quanti accelerogrammi saranno generati. **Intervallo di periodo DT** dice che differenza di periodo proprio c'è tra una senoide (un segnale) e quella successiva (il segnale seguente). **NPeriodi** dice qual è la durata del segnale, ottenuta moltiplicando il periodo T per tale numero. **Numero punti/Periodo** dice quanti punti usare per ciascun intervallo di tempo corrispondente a un periodo. **A=PGA(g)** dice l'accelerazione massima in unità g di ciascun segnale.



Il riquadro **Spettro accelerogramma selezionato**, consente di avere informazioni sugli spettri di risposta dell'accelerogramma correntemente selezionato. Vengono generati  $n$  spettri, tutti aventi smorzamenti relativi al critico compresi tra i valori specificati da **Smorzamenti sino a**, e **con passo**. Ad esempio se si specifica smorzamenti sino a 0.10 con passo 0.05, si generano due spettri: con smorzamento 0.05 e con smorzamento 0.10. Il numero di periodi indagati dipende dai due numeri specificati in **Periodi da 0 a X secondi**, e **con passo Y secondi**. Ad esempio, se periodi sino a 2 secondi con passo 0.1, saranno indagati i 20 periodi

con passo 0.1 sec, compresi tra 0.1 e 20. Il pulsante **Accelerazione** genera gli spettri di accelerazione. Il pulsante **Spostamento** genera gli spettri di spostamento. Il pulsante **ADS** genera gli spettri nella forma ADS (acceleration-displacement spectra). Il pulsante **Report** dà un breve report con gli spettri per l'accelerogramma selezionato. Gli spettri, una volta generati vengono esaminati con il dialogo [Visualizzatore di Curve](#), come in figura.

Il bottone **Salva**, consente di salvare l'insieme su disco in un file .acc.

#### 3.8.8.12.2 Dettagli di accelerogramma

**Dettagli di accelerogramma**

Identificatore: 4A.MI02..HNE.D.20090407.17

5.5 M,W (magnitudo)

5.4 M,L (magnitudo)

5.8 Distanza epicentrale (km)

17.1 Profondità ipocentrale (km)

0 Strike (deg)

0 Dip (deg)

0 Rake (deg)

42.303 Latitudine (deg)

13.486 Longitudine (deg)

0 Angolo su WE (deg)

☐ Sussultorio

**Tipo**

☒ Naturale

☐ Sintetico

☒ NDSHA

☐ PSHA

**Dati accelerogramma naturale**

IT-2009-0102 Event ID

07/04/2009 Event Date

17:47:37 Event Time

OK Cancel

Questo dialogo serve a dare i dettagli associati a un segnale (naturale o sintetico). I dati sono vicini a quelli specificati nel formato ASC relativo ai segnali naturali scaricabili dal sito INGV.

Angolo su WE dice la direzione del segnale se orizzontale. L'angolo in gradi è positivo se antiorario, e quindi 90 implica una direzione Nord. ***Questo dato è molto importante quando poi si dovrà calcolare il segnale nelle direzioni X e Y della struttura. Infatti, gli***



*accelerogrammi vengono letti con direzioni (componenti) in generale non allineate con l'asse X e Y della struttura. E' quindi necessario (per qualsiasi operazione che riguardi la struttura) convertirli all'asse X e Y della struttura.* Ma per fare questo occorre sapere l'orientamento assoluto dei segnali letti, rispetto all'asse geografico che va da Ovest a Est.

Se il segnale si riferisce alla direzione Z allora il flag "sussultorio" è marcato.

Sono previsti segnali naturali, o sintetici. Questi ultimi NDSHA o PSHA. Un segnale sintetico è un segnale comunque ottenuto per modifica o filtraggio di segnali naturali (PSHA), ovvero un segnale interamente generato per mezzo di simulazioni fisiche (NDSHA). Segnali NDSHA possono essere ottenuti presso [www.xeris.it](http://www.xeris.it).

### 3.8.8.13 EDEM

**COMANDO: Edit-Azioni-EDEM (Elastic Deformation energy Method)**

**[Ribbon-Pre]**

**EDM**

Questo comando è usato dopo aver caricato nel modello un certo numero di accelerogrammi. Alla esecuzione del comando compare un [dialogo](#)<sup>[1052]</sup> che consente di avere tutte le informazioni necessarie per comprendere quale o quali segnali tra quelli disponibili massimizzano l'energia di deformazione elastica (EDE) entrante nella struttura.

Il comando serve, in sostanza, per scegliere uno o più accelerogrammi da usare per analisi di time history. Serve a capire quali segnali siano i peggiori.

[Come affrontare le analisi sismiche con i segnali](#)<sup>[483]</sup>

[Come gestire gli spettri di inviluppo dei segnali](#)<sup>[553]</sup>

[Come utilizzare EDEM](#)<sup>[503]</sup>

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

## 3.8.8.13.1 Selezione di accelerogrammi con EDEM (dialogo)

Selezione di accelerogrammi con EDEM (Elastic Deformation Energy Method)

**Accelerogrammi**

- ☒ 1 - R0001.sce0010001mf2.SEW
- ☒ 2 - R0001.sce0010001mf2.SNS
- ☒ 3 - R0001.sce0010001mf2.UP
- ☒ 4 - R0002.sce0010001mf2.SEW
- ☒ 5 - R0002.sce0010001mf2.SNS
- ☒ 6 - R0002.sce0010001mf2.UP
- ☒ 7 - R0003.sce0010001mf2.SEW
- ☒ 8 - R0003.sce0010001mf2.SNS
- ☒ 9 - R0003.sce0010001mf2.UP

Tutti! Nessuno!

**Modi da considerare nella analisi**

- ☒ Mode= 1 Period= 1.265 %X= 0.000 %Y= 87.783 %Z= 0.000
- ☒ Mode= 2 Period= 1.224 %X= 0.000 %Y= 0.167 %Z= 0.000
- ☒ Mode= 3 Period= 1.045 %X= 93.894 %Y= 0.000 %Z= 0.000
- ☒ Mode= 4 Period= 0.635 %X= 0.000 %Y= 0.002 %Z= 0.000
- ☒ Mode= 5 Period= 0.631 %X= 0.000 %Y= 0.000 %Z= 0.000
- ☒ Mode= 6 Period= 0.546 %X= 0.000 %Y= 0.484 %Z= 0.000
- ☒ Mode= 7 Period= 0.515 %X= 0.000 %Y= 0.000 %Z= 0.000
- ☒ Mode= 8 Period= 0.512 %X= 0.000 %Y= 4.830 %Z= 0.000
- ☒ Mode= 9 Period= 0.495 %X= 0.000 %Y= 3.081 %Z= 0.000

Tutti! Nessuno!

**Smorzamento relativo al critico dei Modi**

☐ Nessuno smorzamento

☒ Rayleigh T1 1.265 T2 0.05 nu1 1.045 nu2 0.05

☐ Wilson-Penzien o Light Damping Approximation

0.14659	0.19836
0.14769	0.19694
0.14774	0.19686
0.14921	0.19500
0.14921	0.19499
0.14953	0.19459
0.15039	0.19351
0.15066	0.19318
0.15105	0.19270
0.15110	0.19263
0.15119	0.19252
0.15370	0.18949
0.15391	0.18924
0.15542	0.18746

50 Numero punti

Aggiorna!

Periodo (s)	Smorz. (nu)
esempio:	
0.0	0.05
10.0	0.05

**Modo d'uso degli accelerogrammi**

☐ Solo X segnali presi direzione X

☐ Solo Y segnali presi direzione Y

☐ Solo Z segnali presi direzione Z

☐ Solo X e Y

☒ Triplette X, Y e Z Angolo asse X rispetto WE, in gradi 34

**Conteggio energia elastica di deformazione (EDE)**

☐ Solo gli elementi selezionati

**Esegui**

Calcola! Risultati....

☐ Carica le forze corrispondenti al massimo nel caso di carico 0 (EDES)

☒ Energia totale ☐ Riordina i segnali per severità di analisi decrescente

☐ Solo elementi dissipativi

OK Cancel

Il riquadro **Accelerogrammi** enumera gli accelerogrammi presenti nel modello (ed aggiunti in precedenza con il comando [Edit-Azioni-Accelerogrammi](#)<sup>[1045]</sup>). Saranno tenuti in considerazione solo gli accelerogrammi con il segno di spunta, gli altri no. I bottoni **Tutti!** e **Nessuno!** applicano il segno di spunta a tutti i segnali o li rimuovono.

Il riquadro **Modi da considerare nella Analisi**, serve a scegliere quali modi propri della struttura saranno tenuti in conto ai fini della determinazione della energia entrante. E' quindi possibile scartare modi non ritenuti utili, o mascherare il loro effetto eliminandolo dalla analisi. Anche in questo caso i due bottoni **Tutti!** e **Nessuno!** servono ad applicare o rimuovere il segno di spunta a tutti i modi.

Il riquadro **Smorzamento relativo al critico dei Modi** contiene controlli usati per definire lo smorzamento della struttura. Si intende lo smorzamento relativo al critico di ciascun modo. Tale smorzamento è definito per mezzo di una curva che dà coppie di valori (T, v) ovvero

periodo (del modo) e smorzamento relativo al critico. Se si sceglie **Rayleigh** si devono dare due periodi e i due associati smorzamenti relativi al critico ("nu"), e poi premere **Aggiorna**. La curva si può anche dare scrivendo a mano, e in questo caso si sceglie **Wilson-Pnezien**. In pratica lo smorzamento viene fatto dipendere da una curva in funzione del periodo. La curva deve avere almeno due punti e ricomprendere tutti i periodi dei modi della struttura.

Il riquadro **Modo d'uso degli Accelerogrammi** dice in che direzione applicare gli accelerogrammi selezionati.

E' quindi possibile studiare i segnali come se applicati in direzione X, Y e Z o anche in più direzioni. Ovviamente, il segnale che massimizza la energia entrante quando applicato in direzione X, non è lo stesso segnale che la massimizza quando applicato alla direzione Y o Z.

Se si sceglie **Solo X**, **Solo Y** o **Solo Z**, ogni segnale selezionato non viene trasformato geometricamente in alcun modo, ma viene direttamente applicato nella direzione indicata.

Se invece si sceglie **Solo X e Y** o **Triplette X, Y e Z**, saranno contemporaneamente applicati due o tre segnali nelle direzioni X e Y o X, Y e Z. In questo caso, i segnali orizzontali per ogni evento, saranno convertiti alla direzione X e Y della struttura. Per fare questo, occorre conoscere quale sia la direzione dell'asse X della struttura rispetto all'asse West-East, Ovest-Est (**Angolo asse X**). L'angolo è dato in gradi ed è positivo se antiorario: N 90°, S 270°.

Se si sceglie **Solo X**, o **Solo Y**, o **Solo Z**, saranno esaminati un numero di eventi pari al numero di segnali selezionati. Ogni evento avrà un solo segnale applicato nella direzione indicata.

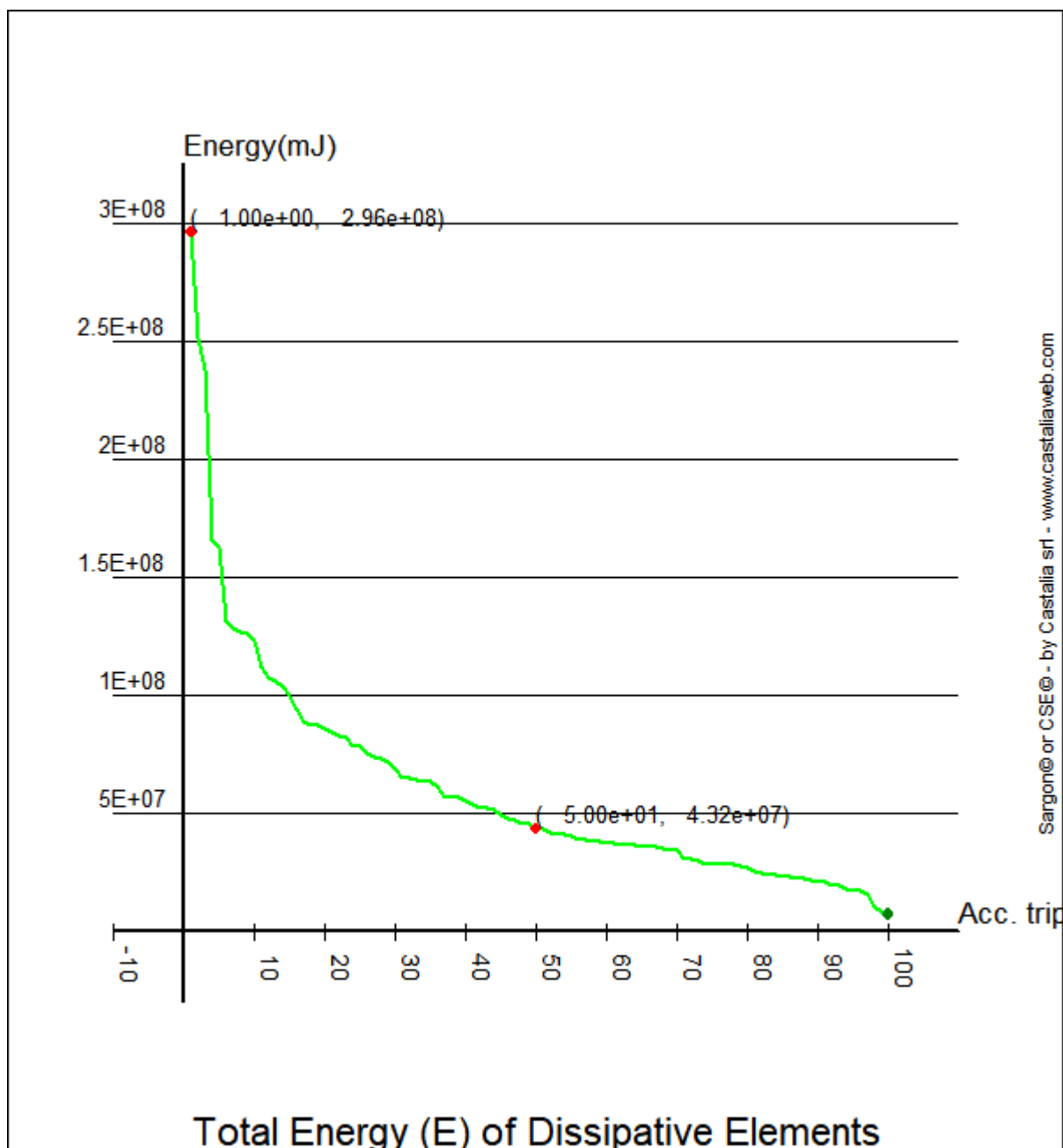
Se si sceglie **Solo X e Y**, saranno esaminati un numero di eventi pari al numero di segnali selezionati, diviso per 2. Ogni evento vedrà la applicazione contemporanea di due segnali, ottenuti per composizione geometrica.

Se si sceglie **Triplette X, Y e Z**, sarà esaminato un numero di eventi pari al numero di segnali selezionato diviso per 3. Ogni evento vedrà la applicazione contemporanea di tre segnali, due dei quali ottenuti per composizione geometrica.

Per ciascun evento sarà calcolata e plottata la massima energia di deformazione degli elementi indicati, nel corso della relativa Time History Modale. Dall'esame della curva di energia sarà possibile comprendere *quali eventi siano i più pericolosi per la struttura in esame*.

Il riquadro **Conteggio della Energia Elastica di Deformazione** dice se saranno tenuti in considerazione tutti gli elementi, o **solo gli elementi selezionati**. Questa opzione è utile per studiare in particolare l'energia incassata in un piano di un edificio, o in generale in parti ben specificate della struttura. Gli elementi devono essere selezionati al momento della esecuzione del comando.

Il riquadro **Esegui** si riferisce al comando di esecuzione della analisi (**Calcola!**) ed al bottone che serve ad accedere ai risultati (**Risultati**).



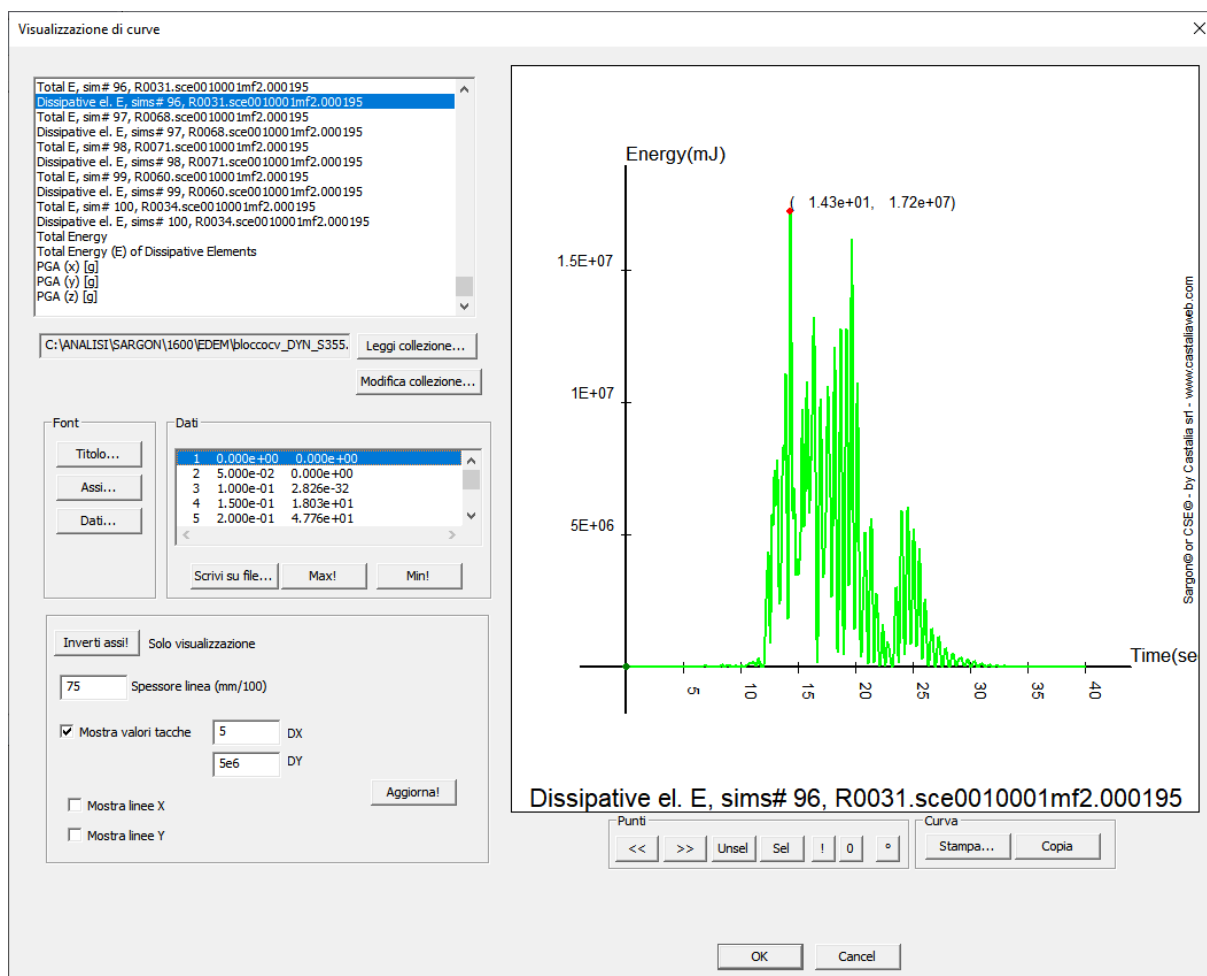
Energia in funzione delle triplette, dopo che le triplette (100 in questo esempio) sono state riordinate per energia decrescente

La casella di controllo **Riordina i segnali per severità di analisi decrescente**, è molto importante per questa ragione. Se c'è la spunta, i segnali (semplici, coppie o triplette a seconda dei casi) saranno riordinati in ordine di severità per la struttura decrescente. I più severi compariranno nella lista, per primi. L'ordinamento può essere fatto sulla base della **Energia**

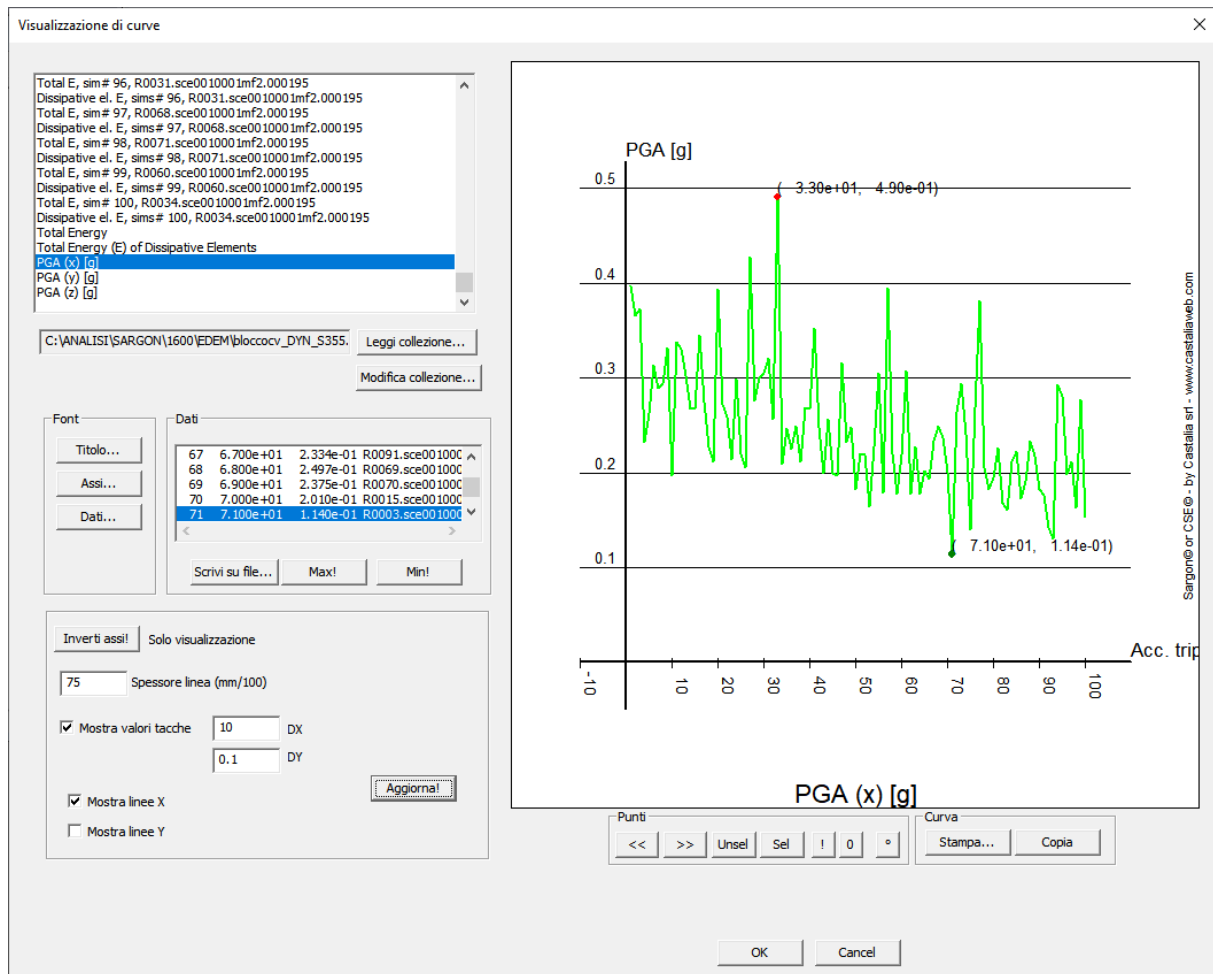
**Totale**, o sulla base della **Energia dei soli Elementi Dissipativi**, a seconda di ciò che viene scelto (e tenendo conto o no dei soli elementi selezionati). Al termine della analisi, i segnali vengono riordinati nel riquadro Accelerogrammi (e in come sono memorizzati nel modello!), ma le curve si presentano nell'ordine originario. Rieseguendo la analisi con i segnali riordinati, le curve mostreranno un andamento regolarmente decrescente al crescere del numero progressivo dei segnali.

I controlli successivi nel riquadro si [riferiscono al metodo EDESM](#)<sup>[483]</sup>. Se si attiva la spunta sulla casella "**Carica le forze corrispondenti al massimo nel caso di carico**", al termine della analisi saranno prese le forze nodali apparenti generate dell'accelerogramma che ha dato la massima energia, nell'istante in cui l'ha generata, e saranno messe nel **caso di carico** specificato dall'utente, **che verrà preventivamente azzerato senza preavviso** (bisogna dunque riservare un caso di carico a questo scopo). Si può scegliere se considerare il massimo della **energia totale** o il massimo nei soli **elementi dissipativi**.

I risultati sono presentati in un opportuno dialogo che è quello usato per visualizzare diverse curve (*Visualizzazione di curve*, ogni curva può essere selezionata ed il suo andamento visionato, anche conoscendo i valori punto per punto). Le curve fornite sono in totale  $2nev+5$ , essendo  $nev$  il numero degli eventi simulati dai segnali:



- Le successive 2nev curve, 2 per ogni evento corrispondente agli accelerogrammi selezionati, danno ciascuna una energia entrante in funzione del tempo. La durata della curva coincide con la massima durata dei rispettivi accelerogrammi. La prima curva si riferisce alla energia completa, la seconda solo alla parte di energia associata a zona dissipativa, se presente. In questa seconda curva gli elementi che non hanno zone dissipative definite non entrano. Non entrano neppure gli elementi che hanno zone dissipative definite, ma che non sono stati selezionati, *nel caso in cui il flag "solo elementi selezionati" sia attivo*. Queste curve consentono di vedere come varia nel tempo l'energia di deformazione entrante nel sistema. In un certo istante, per ogni accelerogramma, ci sarà un massimo di energia. Questi massimi sono registrati per tutti i segnali, e servono a costruire le due ultime curve.



- Le ultime 5 curve danno in ascissa il numero di evento, ed in ordinata: 1) la massima energia entrante corrispondente; 2) La massima energia entrante negli elementi dissipativi; 3) La PGA dei segnali X; 4) La PGA dei segnali Y; 5) La PGA dei segnali Z..

Il **numero dell'evento** è quello assoluto nel vettore dei segnali, non quello relativo ai soli segnali selezionati.

- Se è stato chiesto **Triplette X, Y e Z**, è il numero della tripletta ("**Acc. Triplet**"). In questo caso se sono selezionati 300 accelerogrammi, gli eventi (e le triplette) sono solo 100.
- Se è chiesto **Solo X** e sono selezionati 80 accelerogrammi, il numero di evento varia da 1 a 80.



Le curve relative alla energia sono fondamentali per comprendere quali siano gli eventi peggiori per la specifica struttura in esame senza dover eseguire tutte le Time History (M o NL) e quindi salvando tantissimo tempo di calcolo.

#### 3.8.8.14 Spettri inviluppo

**COMANDO:** Edit-Azioni-Spettri inviluppo

[Ribbon-Pre]



Questo comando è usato per generare gli spettri di accelerazione di inviluppo di un certo numero di segnali, selezionati tra quelli disponibili all'interno del modello della struttura. Gli spettri si riferiscono ai soli periodi propri della struttura, così come precedentemente calcolati con una analisi modale.

Gli spettri di inviluppo su segnali significativi possono essere usati come spettri utente per eseguire l'analisi a spettro di risposta, e sono quindi uno strumento utile per calcolare una risposta sismica di inviluppo ad un certo insieme di segnali.

Alla esecuzione del comando compare [un opportuno dialogo](#)<sup>[1060]</sup> che consente di eseguire le necessarie operazioni-

[Come affrontare le analisi sismiche con i segnali](#)<sup>[483]</sup>

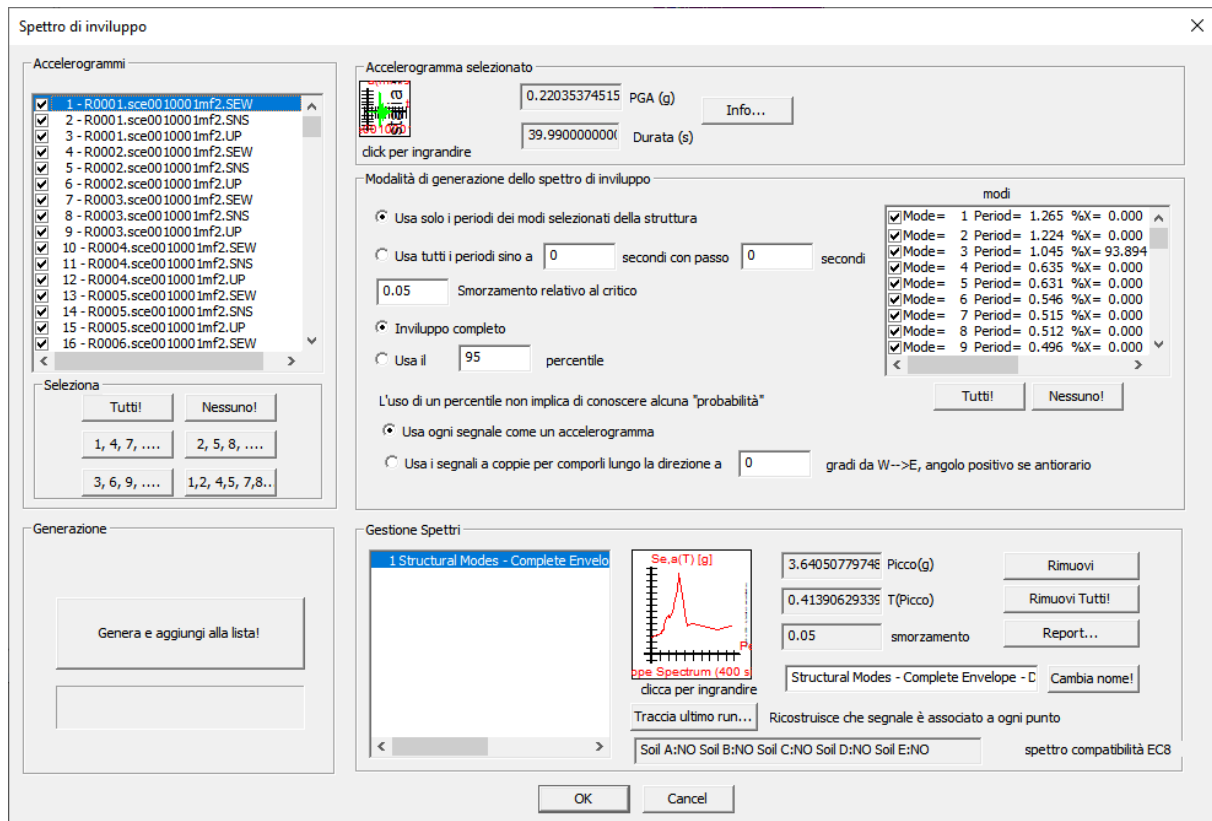
[Come gestire gli spettri di inviluppo dei segnali](#)<sup>[553]</sup>

[Come utilizzare EDEM](#)<sup>[503]</sup>

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

## 3.8.8.14.1 Spettri di inviluppo (dialogo)



Questo dialogo serve a generare spettri di inviluppo che poi, uscendo con OK, verranno aggiunti al modello della struttura e resi disponibili per analisi sismiche a spettro di risposta o per altri usi. Il dialogo è anche usabile per modificare una lista di spettri esistente, per esempio cancellandone alcuni o al limite cancellandoli tutti.


Il riquadro **Accelerogrammi** enumera gli accelerogrammi presenti nel modello (ed aggiunti in precedenza con il comando [Edit-Azioni-Accelerogrammi](#)). Saranno tenuti in considerazione solo gli accelerogrammi con il segno di spunta, gli altri no. I bottoni **Tutti!** e **Nessuno!** applicano il segno di spunta a tutti i segnali o li rimuovono.

Il bottone: "1, 4, 7, ..." seleziona solo gli accelerogrammi 1, 4, 7, 10, 13.... Essi sono tipicamente i primi delle triplete, se gli accelerogrammi sono a triplete.

Il bottone: "**2, 5, 8, ...**" seleziona solo gli accelerogrammi 2, 5, 8, 11, 14.... Essi sono tipicamente i secondi delle triplette, se gli accelerogrammi sono a triplette.

Il bottone: "**3, 6, 9, ...**" seleziona solo gli accelerogrammi 3, 6, 9, 12, 15.... Essi sono tipicamente i terzi delle triplette, se gli accelerogrammi sono a triplette.

Il bottone: "**1, 2, 4, 5, 7, 8, ...**" seleziona solo gli accelerogrammi 1, 2, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 13, 14.... Essi sono tipicamente i primi due delle triplette (di solito gli ondulatorii), se gli accelerogrammi sono a triplette.

Il riquadro **Accelerogramma selezionato**, serve ad avere informazioni di dettaglio sul solo accelerogramma selezionato. Cliccando sul suo disegno si ha accesso a un dialogo che consente di vedere in dettaglio la curva. I campi **PGA** e **Durata** danno informazioni sulla Peak Ground Acceleration (in unità g) e sulla durata (in secondi) dell'accelerogramma selezionato. Il bottone **Info...** consente di avere informazioni suppletive sull'accelerogramma, avendo accesso al [corrispondente dialogo](#) .

Il riquadro **Modalità di generazione dello spettro di inviluppo**, raggruppa controlli utilizzati per decidere come generare lo spettro di inviluppo. Il riquadro **modi**, serve a scegliere quali modi propri della struttura saranno tenuti in conto ai fini della determinazione dello spettro di inviluppo: lo spettro di inviluppo avrà un punto in corrispondenza ad ogni modo selezionato (se si è scelta la opzione **Usa solo i periodi dei modi selezionati della struttura**). I due bottoni **Tutti!** e **Nessuno!** servono ad applicare o rimuovere il segno di spunta a tutti i modi.

La successiva opzione ha due possibilità:

1. **Usa solo i periodi dei modi selezionati della struttura.** In questo caso lo spettro di inviluppo avrà tanti punti quanti sono i modi selezionati della struttura più il punto (0,  $PGA_{max}$ ).
2. **Usa tutti i periodi sino a X secondi con passo Y secondi**, consente di definire uno spettro svincolato dagli effettivi periodi propri della struttura in esame.

Si determina poi lo **smorzamento relativo al critico** da associare agli oscillatori dei quali si cerca lo spettro di risposta.

In seguito, si sceglie tra due ulteriori opzioni:

1. **Inviluppo completo.** In questo caso la ordinata spettrale è pari al massimo tra i vari segnali, per un dato periodo. E' l'opzione più chiara ed a favore di sicurezza.
2. **Usa il X percentile.** In questo caso, dati gli  $n$  valori che sono in relazione ciascuno ad ogni accelerogramma degli  $n$  selezionati, per ogni periodo, si prende un valore di spettro che ha un certo percentile associato. Il percentile si calcola ordinando dapprima i valori in modo decrescente. Un percentile 95 corrisponde al valore incontrato per 6° fatti 100 i valori. Se i valori sono 400, il 95° percentile è il valore 21° infatti:  $1-(21-1)/400 = 0.95$ . I [percentili](#) sono proprietà della campionatura che non vanno intesi come "probabilità".

Infine occorre fare la seguente scelta:

1. **Usa ogni segnale come un accelerogramma.** In questo caso, ciascun accelerogramma selezionato, verrà direttamente usato per generare l'inviluppo, senza alcuna trasformazione.
2. **Usa i segnali a coppie.** In questo caso si dà per scontato che siano state selezionate *coppie* di segnali (relative a un solo evento) che vanno composti tra loro per dare il segnale da usare in una certa direzione. La direzione è individuata dall'angolo rispetto all'asse WE, in **gradi da WE** ( $N= +90^\circ$ ,  $S=+270^\circ$ ).

La corretta selezione dipende da come sono stati introdotti i segnali, se singoli, a coppie o a triplette.

Nel riquadro **Generazione** c'è il bottone **Genera e aggiungi alla lista!** che genera un nuovo spettro di inviluppo e lo aggiunge alla lista degli spettri definiti.

Il riquadro **Gestione Spettri** serve a gestire gli spettri della lista. Tutti i comandi e le funzionalità di riferiscono allo spettro correntemente selezionato, con la eccezione del bottone **Traccia...** che serve a capire come l'ultimo spettro generato è stato calcolato, consentendo di

esaminare una curva che per ogni periodo  $T$  dà il numero di segnale (accelerogramma) che ha generato il massimo. Tolto questo bottone, che si riferisce all'ultimo spettro calcolato, gli altri controlli si riferiscono allo spettro selezionato o a tutti gli spettri. Questi controlli sono:

- Il **riquadro con il disegno dello spettro** che può essere cliccato dando la curva dello spettro calcolato (Periodo, Accelerazione in unità  $g$ ).
- Il valore **Picco** (in unità  $g$ ) che corrisponde alla massima ordinata spettrale dello spettro corrente.
- Il valore **T(Picco)** che dà il periodo in corrispondenza del quale si ha il picco dello spettro corrente.
- Il valore di **smorzamento** associato allo spettro corrente.
- Il bottone **Rimuovi!** che elimina lo spettro selezionato dalla lista.
- Il bottone **Rimuovi Tutti!** che cancella tutti gli spettri.
- Il bottone **Report...** che crea un file txt che lista ordinatamente i valori dello spettro.
- Il bottone **Cambia!** che serve a cambiare il nome associato allo spettro selezionato.
- La **stringa (read only)** che dà la spettro compatibilità secondo EC8, tipo di suolo per tipo di suolo (a coefficiente topografico unitario). Si noti che basta che una ordinata spettrale sia inferiore a 0.9 volte il valore dello spettro di normativa con lo stesso periodo (e la stessa PGA), perché la spettro compatibilità non ci sia. Non si dà quella secondo NTC perché sarebbero necessari  $F_0$  e  $T_C^*$ .

#### 3.8.8.15 Gestisce spettri

**COMANDO: Edit-Azioni-Gestisce spettri**

**[Ribbon-Pre]**



Questo comando ha una duplice funzione: serve a mantenere la collezione degli spettri definiti per il modello e serve a selezionare uno spettro in particolare tra quelli disponibili.

Alla esecuzione del comando compare [un opportuno dialogo](#)<sup>1064</sup> che consente di fare quanto desiderato.

[Come affrontare le analisi sismiche con i segnali](#)<sup>483</sup>

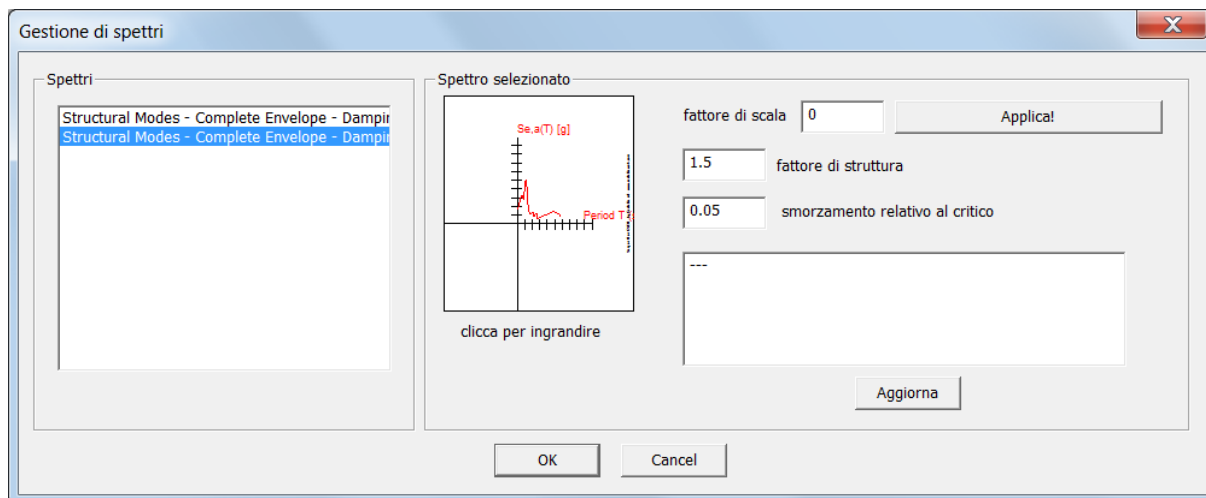
[Come gestire gli spettri di involucro dei segnali](#)<sup>553</sup>

[Come utilizzare EDEM](#)<sup>503</sup>

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

#### 3.8.8.15.1 Gestione di spettri (dialogo)



Questo dialogo è usato per due possibili motivi:

1. Selezionare uno spettro tra quelli elencati che poi verrà usato per qualche fine (tipicamente per scrivere un file spettrox.pts o spettroy.pst o spettroz.pts per eseguire poi una analisi a spettro di risposta).
2. Modificare in qualche modo gli spettri.

La seconda operazione è compiuta selezionando lo spettro da modificare, e poi:


- Chiedendo di applicare un **fattore di scala** (amplificativo o riduttivo) e poi premendo il bottone **Applica!**.
- Modificando il **fattore di struttura** o lo **smorzamento relativo al critico**, o il **testo esplicativo**, e poi premendo il bottone **Aggiorna**.

#### 3.8.8.16 Da spettro

##### COMANDO: Edit-Azioni-Da spettro

[Ribbon-Pre]

Questo comando consente di generare i risultati di una analisi a spettro di risposta su un singolo modo, generando le forze apparenti che inducono nella struttura le deformazioni e le sollecitazioni calcolate dalla analisi a spettro di risposta su quel modo. Applicando una analisi statica a valle della applicazione di questo comando, sul caso di carico inizialmente vuoto a cui esso sia stato applicato, si otterranno gli stessi spostamenti e le stesse azioni interne derivanti dal calcolo a spettro di risposta sul modo scelto.

Alla esecuzione del comando compare il dialogo [Aggiungi forze da spettro di risposta](#) <sup>11067</sup>, che è usato per inserire i dati necessari alla esecuzione del comando.

Per eseguire il comando:

1. Deve essere stato definito e descritto lo spettro di risposta che interessa.
2. Deve essere stata eseguita una analisi modale.
3. Non è necessario che sia stata eseguita una analisi a spettro di risposta.

Il comando considera lo spettro di risposta associato a un unico modo, scelto dall'utente, per una direzione del sisma che deve coincidere con quella di uno degli assi di riferimento globale.

In sintesi, il comando esegue le seguenti operazioni. Data una precedente analisi modale, risulta:

$$\begin{aligned} (\mathbf{K} - \omega_i^2 \mathbf{M}) \boldsymbol{\psi}_i &= \mathbf{0} \\ \boldsymbol{\psi}_i^T \mathbf{M} \boldsymbol{\psi}_j &= \delta_{ij} \end{aligned}$$

dove la seconda relazione indica che i modi sono ortonormalizzati a 1 rispetto alla matrice delle masse.

La risposta della struttura al sisma può essere calcolata moltiplicando la forma modale scelta  $\boldsymbol{\psi}_i$  per una opportuna costante  $c$ .

La costante  $c$  dipende dallo spettro di risposta, dal periodo del modo considerato e dal fattore di partecipazione sul modo  $L_i$ . Indicando con  $S_d(T_i)$  l'ordinata in unità g dello spettro di risposta in corrispondenza al periodo del modo  $i$ , si ha:

$$c = \frac{S_d(T_i) g L_i}{\omega_i^2}$$

Quindi

$$\begin{aligned} (\mathbf{K} - \omega_i^2 \mathbf{M}) c \boldsymbol{\psi}_i &= \mathbf{0} \\ \mathbf{K}(c \boldsymbol{\psi}_i) &= c \omega_i^2 \mathbf{M} \boldsymbol{\psi}_i \end{aligned}$$

e ricordando che la classica forma di un problema di analisi statica con vettore delle forze applicate  $\mathbf{p}$  e spostamenti incogniti  $\mathbf{u}$ , è:

$$\mathbf{K} \mathbf{u}_i = \mathbf{p}_i$$

si ottiene per il vettore delle forze da applicare:

$$\mathbf{p}_i \equiv c \omega_i^2 \mathbf{M} \boldsymbol{\psi}_i$$

Il comando calcola tale vettore di forze nodali equivalenti e lo applica alla struttura nel caso di carico (di solito vuoto) attivo al momento della esecuzione del comando.

Se l'operazione viene compiuta su diversi modi, in diversi casi di carico, si possono ottenere i contributi modali sismici elementari che, combinati con la CQC o con la SRSS, danno poi luogo ai risultati della analisi a spettro di risposta su più modi.



## 3.8.8.16.1 Aggiungi forze da spettro di risposta (dialogo)

**AGGIUNGI FORZE DA SPETTRO DI RISPOSTA (DIALOGO)**

**Aggiungi forze da Spettro di Risposta**

**Terremoto**

☒ SLV

☐ EA2

☐ EA3

☐ EA4

☐ EA5

**Direzione**

☒ Direzione X

☐ Direzione Y

☐ Direzione Z

**Modo e amplificazione**

Modo numero

Fattore amplificativo (+ / -)

☐ Amplifica al 100% di massa partecipante

OK Cancel

Questo dialogo serve per specificare:

1. Quale spettro di risposta impiegare di quelli già precedentemente definiti.
2. Quale direzione considerare per il sisma.
3. Quale modo considerare al fine di calcolare le forze apparenti associate. Deve quindi preventivamente essere stata eseguita una analisi modale.
4. Quale eventuale fattore amplificativo delle forze apparenti adottare (ad esempio, se nello spettro è definito un fattore di struttura, moltiplicando le ordinate dello spettro per esso si riottiene lo spettro elastico, in un ampio intervallo di valori di periodo)
5. Se invece amplificare le forze apparenti con un fattore pari a  $1/\sqrt{p}$ , dove "p" è la percentuale di massa partecipante sul modo (ad esempio 0.85 per l'85%), in modo da considerare fittiziamente tutta la massa oscillante sul modo.

### 3.8.8.17 Da reazioni

#### COMANDO: Edit-Azioni-Da reazioni...

##### [Ribbon-Pre]

Il comando funziona *sui soli nodi selezionati* e può riferirsi al caso di carico corrente o a tutti i casi di carico. L'identificazione del generico nodo selezionato con il nodo del modello esterno dal quale leggere le reazioni vincolari (o le forze delle molle applicate), viene fatta sulla base della posizione assoluta. Se la posizione dei due nodi dista meno della tolleranza corrente nel modello correntemente aperto, allora il nodo viene identificato. In questo caso il programma andrà a leggere le reazioni vincolari di quel nodo e le applicherà con il segno cambiato come azioni sul nodo corrente selezionato.

Il comando può essere applicato anche selezionando tutti i nodi e lasciando che sia il programma a trovare quelli in comune tra i due modelli. Nel caso in cui non sia presente alcun vincolo verranno comunque letti i residui. Se questi, come normalmente avviene, sono molto piccoli, non vengono applicati.

Il comando funziona anche quando anziché essere applicati dei vincoli sono applicate delle molle. In questo caso il programma applicherà la reazione delle molle con il segno cambiato. E' quindi possibile modellare una fondazione con delle molle e poi caricare un altro modello fatto a parte con le forze calcolate afferenti in quelle molle. Al momento vengono lette solo le reazioni delle molle puntuali (non le molle alla Winkler posizionate sotto gli elementi beam o plate).

Questo comando può essere molto utile se si vuole caricare ad esempio un modello di fondazione con molti gradi di libertà con le reazioni vincolari di un altro modello ove la fondazione sia stata modellata con una serie di vincoli (fissi od elastici a mezzo molle).

Se si leggono le reazioni di tutti i casi di carico allora è necessario che il numero dei casi di carico del modello su cui si sta lavorando sia identico al numero dei casi di carico del modello da cui vengono prese le reazioni vincolari. Se invece si leggono le reazioni di un solo caso di carico allora questa condizione non è necessaria (viene in tal caso chiesto quale caso di carico del modello esterno debba essere fatto corrispondere a quello corrente nel modello da cui viene eseguito il comando). Non è necessario che i due modelli abbiano lo stesso numero di nodi, è solo necessario che vi sia una corrispondenza delle posizioni spaziali.

Operativamente il comando funziona in questo modo:

- 1) Si sceglie il file esterno (già risolto) dal quale prendere le reazioni (file .rdb);
- 2) Si sceglie se caricare le reazioni di un solo caso di carico o di tutti;
- 3) Se si è scelto di caricare le reazioni di un solo caso di carico del modello esterno, si specifica quale.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento


### 3.8.9 Casi

#### 3.8.9.1 Aggiungi...

**COMANDO:** Edit-Casi-Aggiungi...

[Ribbon-Pre]



Questo comando fa aggiungere un caso di carico. E' possibile aggiungere un caso di carico solo se non si sono aggiunte le combinazioni. Ad ogni caso di carico va attribuito un nome, un tipo, ed i tre coefficienti per determinare i valori raro, frequente e quasi permanente. Il tipo è necessario ai fini delle verifiche, in quanto carichi permanenti o accidentali, di vento o sismici comportano diversi coefficienti di sicurezza. Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)  che consente di fornire queste informazioni.

**Tipo:** modale


**Destinazione:** documento

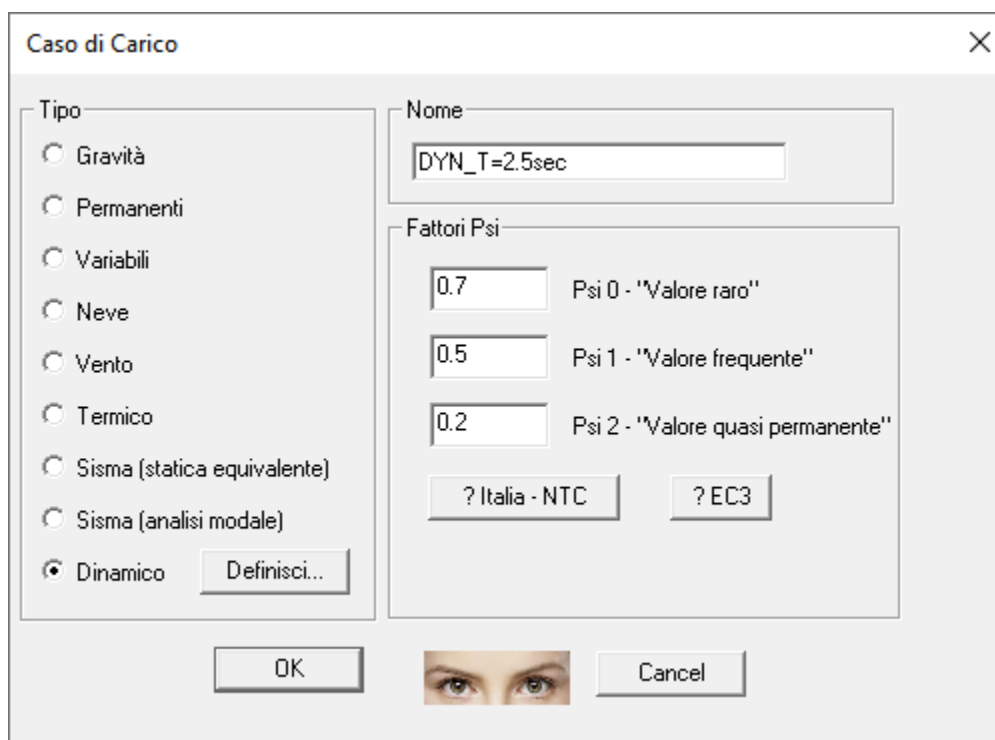
##### 3.8.9.1.1 Caso di carico (Dialogo)

## CASO DI CARICO (DIALOGO)

Questo dialogo viene presentato in seguito alla richiesta di un nuovo caso di carico, o in seguito alla richiesta di modificare un caso esistente.

Occorre stabilire il tipo dal nuovo caso di carico e dare ad esso un nome, che verrà poi utilizzato per identificarlo.

Ad ogni caso di carico devono essere associati tre moltiplicatori, relativi ai valori rari (Psi0), frequenti (Psi1) e quasi permanenti (Psi2) del caso di carico in esame. A seconda della etichetta del caso i valori possono essere diversi. La pressione dei tasti **Italia?** Ed **EC3?** Dà una serie di valori che sono i valori previsti dalle normative per il tipo di carico in quel momento attivo (**vento** o **variabile** o **neve**). Se cambia il tipo cambiano anche i valori suggeriti. Nulla vieta di dare dei valori diversi da quelli suggeriti. I coefficienti qui determinati saranno impiegati dal comando per la generazione automatica delle combinazioni (vedi il [dialogo opportuno](#) )



A partire dalla versione 15.90, rilasciata nel dicembre 2024, tra le possibili etichette che si possono assegnare a un caso di carico c'è "DINAMICO".

I casi di carico dinamici sono casi di carico nei quali sono necessariamente presenti solo forze e coppie nodali e che hanno loro associata una funzione del tempo  $f(t)$ . La funzione

del tempo viene determinata mediante un diverso dialogo, a cui si accede premendo il bottone "[Definisci](#)".

Componendo tra loro diversi casi di carico con diverse  $f(t)$  è facile ottenere forme articolate e complesse per la  $f(t)$ .

### 3.8.9.1.2 Funzione del Tempo (Dialogo)

## FUNZIONE DEL TEMPO (DIALOGO)

Funzione del Tempo

Tipo

☐ Impulso

☐ Gradino

☐ Gradino limitato

☐ Rampa

☐ Trapezio

☒ Seno  $f=(* )$

☐ Coseno  $f=(** )$

☐ Generica

Aggiungi da file...

V1 è un numero puro, normalmente 1.  $f_i$  è in radianti.  $T_j > T_i$  se  $j > i$ .

(\*)  $(1 + A t) \sin[2\pi t / T(1 + B t) + f_i]$

(\*\*)  $(1 + A t) \cos[2\pi t / T(1 + B t) + f_i]$

Durata: da  $t = 0$  a  $t =$  50

Aggiorna!

Copia

OK Cancel

Scopo di questo dialogo è definire una funzione del tempo  $f(t)$ .

Le funzioni del tempo partono tutte da  $t=0$ .

La unità di misura del tempo è "secondi".

La  $f(t)$  è un numero adimensionale, che va a moltiplicare le forze e coppie nodali nel caso indicato.

La funzione del tempo desiderata, si sceglie scegliendone il tipo e fornendo i suoi parametri.

La **Durata** non modifica la funzione, ma aiuta a meglio rappresentarla nella casella grafica.

Le funzioni saranno estese, nella analisi di time history, con la medesima legge, sino alla durata totale della time history, così come specificata nel dialogo opportuno.

Il pulsante **Aggiorna**, comporta un aggiornamento del disegno.

Il pulsante **Copia** copia negli appunti la immagine della funzione  $f(t)$

### **Impulso**

I parametri sono:

Prima casella: il tempo  $T1$  in cui l'impulso parte.

Seconda casella: la durata  $dT$  dell'impulso

Terza casella: il valore  $V1$  del picco (positivo o negativo).

### **Gradino**

I parametri sono:

Prima casella: il tempo  $T1$  in cui il gradino parte.

Seconda casella: il valore  $V1$  del gradino (positivo o negativo).

### **Gradino limitato**

I parametri sono:

Prima casella: il tempo  $T1$  in cui il gradino parte.

Seconda casella: il valore  $V1$  del gradino (positivo o negativo).

Terza casella: il tempo  $T2$  in cui il gradino cessa, riportando la  $f(t)$  a 0.

### **Rampa**

I parametri sono:

Prima casella: il tempo  $T1$  in cui la rampa parte.

Seconda casella: il valore  $V1$  al termine della rampa (positivo o negativo).

Terza casella: il tempo  $T2$  in cui la rampa cessa mantenedosi costante.

### **Trapezio**

I parametri sono:

- Prima casella: il tempo T1 in cui la rampa parte.  
Seconda casella: il valore V1 al termine della rampa (positivo o negativo).  
Terza casella: il tempo T2 in cui termina il tratto costante seguito alla rampa.  
Quarta casella: il tempo T3 in cui termina la rampa che riporta a zero il valore di f(t) da V1 che era.  
Quinta casella: il tempo T4 in cui termina il segnale.

### Seno

$$f(t) = (1 + At)\sin[2\pi t/(T * (1 + Bt)) + \varphi]$$

I parametri sono:

- Prima casella: il periodo iniziale T .  
Seconda casella: la fase in radianti ( $\varphi$ ).  
Terza casella: L'eventuale parametro A che fa variare linearmente la ampiezza con il tempo.  
Quarta casella: L'eventuale parametro B che fa variare il periodo con il tempo.

Se A e B sono nulli, la f(t) assume la forma:

$$f(t) = \sin[2\pi t/T + \varphi]$$

### Coseno

$$f(t) = (1 + At)\cos[2\pi t/(T * (1 + Bt)) + \varphi]$$

I parametri sono:

- Prima casella: il periodo iniziale T .  
Seconda casella: la fase in radianti ( $\varphi$ ).  
Terza casella: L'eventuale parametro A che fa variare linearmente la ampiezza con il tempo.  
Quarta casella: L'eventuale parametro B che fa variare il periodo con il tempo.

Se A e B sono nulli, la  $f(t)$  assume la forma:

$$f(t) = \cos[2\pi t/T + \varphi]$$

### Generica

In questo caso si deve leggere un FILE ASCII in cui sono elencate, riga per riga, le coppie  $\{t, f(t)\}$ .

Ciò si fa premendo il pulsante **Aggiungi da file**.

I seguenti caratteri:

\$

%

\

&

#

[a capo]

quando posti come primi della riga, indicano linee che vengono scartate (commenti).

#### 3.8.9.2 Modifica...

**COMANDO: Edit-Casi-Modifica...**

**[Ribbon-Pre]**



Questo comando consente di modificare l'etichetta e/o il nome di un caso di carico.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento



### 3.8.9.3 Azzerà...

**COMANDO:** Edit-Casi-Azzera...

[Ribbon-Pre]

**L=0**

Questo comando azzera tutte le azioni presenti nel caso di carico attivo.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

### 3.8.9.4 Somma...

**COMANDO:** Edit-Casi-Somma...

[Ribbon-Pre]

**$\Sigma$**

Questo comando somma al caso di carico corrente le azioni di un caso di carico specificato dall'utente moltiplicate per un fattore specificato dall'utente.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

#### 3.8.9.4.1 Somma di un caso (Dialogo)

### SOMMA DI UN CASO (DIALOGO)

Al caso corrente verrà sommato il **Caso** moltiplicato per il **Fattore**. Il numero di caso deve ovviamente essere ammissibile.

#### 3.8.9.5 Somma XYZ...

**COMANDO: Edit-Casi-Somma XYZ...**

[Ribbon-Pre]



Questo comando somma al caso di carico corrente le azioni di un caso di carico specificato dall'utente moltiplicate per un vettore specificato dall'utente. In pratica di ciascuna azione viene calcolata la risultante, e questo scalare viene poi moltiplicato per il vettore stabilito dall'utente dando luogo alla nuova azione. Questo comando è molto utile ad esempio quando si debba generare un caso di carico in cui le azioni ad esempio verticali di un altro caso di carico diventino orizzontali.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

##### 3.8.9.5.1 Somma di un caso (XYZ) (Dialogo)

#### **SOMMA DI UN CASO (XYZ) (DIALOGO)**

Al caso corrente verranno ordinatamente sommate tutte le azioni presenti nel caso indicato, trattate opportunamente.

Ogni azione viene ordinatamente moltiplicata per  $k_x$ ,  $k_y$  e  $k_z$ . Ad esempio la forza ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ) diviene ( $k_x F_x$ ,  $k_y F_y$ ,  $k_z F_z$ ). Vengono considerate solo le forze nodali, i carichi uniformemente distribuiti e i carichi concentrati.

Se il flag "converti in momenti" è attivo, le forze verranno trasformate in coppie ed i carichi per unità di lunghezza in coppie per unità di lunghezza. In questo caso, e solo in questo caso, i fattori  $k_x$ ,  $k_y$  e  $k_z$  assumono il significato fisico di un braccio, una distanza, che deve essere data in millimetri, indipendentemente dalla unità attiva. Quindi, se il braccio è di 5m, va scritto 5000 sia che siano attivi i metri sia che siano attivi i millimetri.

Questa opzione è molto utile per dare i torcenti di piano che simulano la eccentricità di massa, nelle analisi sismiche.

### 3.8.9.6 Combina...

#### COMANDO: Edit-Casi-Combina

[Ribbon-Pre]



Questo comando può essere eseguito solo se vi sono casi e combinazioni, e le combinazioni sono di tipo [lineare additivo](#)<sup>[1082]</sup>. Scopo del comando è preparare il modello alla analisi nonlineare, in modo da evitare la necessità di eseguire delle combinazioni lineari dopo la soluzione. Supponiamo che prima della esecuzione del comando la situazione sia la seguente:

Caso 1

Caso 2

Caso 3

Combi 1 : 1 x (Caso 1) + 2 x (Caso 3)

Combi 2 : 1 x (Caso 1) + 1 x (Caso 3)

dopo l'esecuzione del comando la situazione diviene questa:

Caso 1\* = 1x(Caso 1) + 2x(Caso 3)

Caso 2\* = 1x(Caso 1) + 1x(Caso 3)

Combi 1\* = 1 \* Caso 1\*

Combi 2 \* = 1 \* Caso 2\*

Poichè le nuove combinazioni non coinvolgono più vari casi di carico ma solo uno per volta, non si dovrà combinare tra loro gli effetti dei casi elementari.

Prima di eseguire una analisi nonlineare è sempre necessario usare questo comando oppure costruire i casi di carico in modo che siano già dei casi combinati. Poichè una volta salvato il modello l'operazione è irreversibile si consiglia di salvare una copia di backup del modello *prima* di eseguire il comando.

Il comando assume per tutti i nuovi casi il tipo PERMANENTE, è quindi compito di chi usa il programma ridefinire i tipi in modo coerente con le proprie assunzioni.

**Tipo:** diretto

**Destinazione:** documento

#### 3.8.9.7 Successivo

**COMANDO: Edit-Casi-Successivo**

[Ribbon-Pre]



Questo comando porta al caso di carico successivo.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista attiva

#### 3.8.9.8 Precedente

**COMANDO: Edit-Casi-Precedente**

[Ribbon-Pre]



Questo comando porta al caso di carico precedente.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista attiva

### 3.8.10 Combinazioni

#### 3.8.10.1 Modifica Insiemi...

**COMANDO:** Edit-Combinazioni-Modifica insiemi...

[Ribbon-Pre]



Questo comando è usato per selezionare un diverso combiset ([Come gestire gli insiemi di combinazioni](#)<sup>[170]</sup>), o per modificare l'identificatore di uno dei combiset disponibili.

All'esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[1079]</sup> che consente di selezionare il combiset attivo e/o di modificare l'identificatore di uno dei combiset attivi.

Il comando ha effetto immediato sul documento e sulla vista.

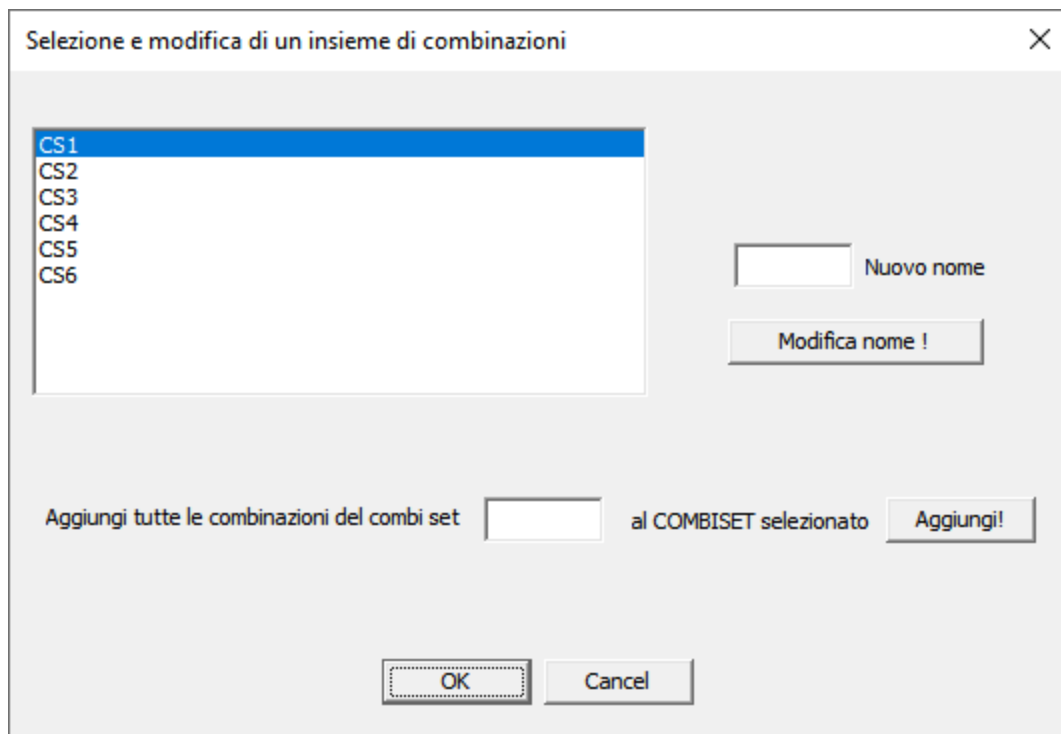
Per selezionare un diverso combiset è anche possibile cliccare (a destra o a sinistra) sulla barra di stato della finestra principale, nell'apposita casella che riporta l'identificatore del combiset attivo.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento, vista

##### 3.8.10.1.1 Selezione e modifica di un insieme di combinazioni (Dialogo)

### SELEZIONE E MODIFICA DI UN INSIEME DI COMBINAZIONI (DIALOGO)



Questo dialogo serve a selezionare e/o modificare un insieme di combinazioni.

La selezione di un insieme di combinazioni si fa selezionando la corrispondente riga della tabella.

Per modificare il nome di un insieme di combinazioni si seleziona la riga corrispondente, si riempie la casella "Nuovo Nome" e poi si preme il bottone "Modifica nome!".

Nella scelta dei nomi si tenga presente quanto segue:

- non possono esserci nomi duplicati;
- il nome non può avere più di sette lettere
- è consigliabile non introdurre spazi.

A partire dalla versione 16.3 è possibile riversare tutte le combinazioni di un COMBISET nel COMBISET correntemente selezionato. Tali combinazioni saranno aggiunte a quelle esistenti.

### 3.8.10.2 Aggiungi...

**COMANDO:** Edit-Combinazioni-Aggiungi...

**[Ribbon-Pre]**



Questo comando fa aggiungere una combinazione di carico al combiset attivo. Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>1081</sup> che consente di determinare il nome della combinazione, il tipo (lineare additivo, valori assoluti, SRSS, range, inviluppo) e i fattori moltiplicativi di ciascun caso di carico base. E' possibile definire anche combinazioni di combinazioni.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

#### 3.8.10.2.1 Combinazione (Dialogo)

### COMBINAZIONE (DIALOGO)

Questo dialogo viene presentato in seguito alla richiesta di aggiungere una nuova combinazione o di modificare una combinazione esistente. Occorre dare un nome alla combinazione, definire il tipo e fissare - per ognuno dei casi di carico base - il moltiplicatore. Come descritto in seguito, è anche possibile definire combinazioni che dipendono da altre combinazioni. I tipi di combinazione disponibili sono i seguenti.

### ***Lineare additiva (standard)***

Vengono sommati linearmente i contributi dei vari casi di carico fattorizzati:

$$m_1 * caso_1 + m_2 * caso_2 + \dots + m_n * caso_n$$

dove  $m_i$  è il moltiplicatore definito per il caso<sub>i</sub>.

Le combinazioni di casi di carico di tipo lineare additivo sono quelle standard e garantiscono l'equilibrio, la contemporaneità e la conservazione dei segni delle grandezze in esame. I successivi tipi di combinazioni sono stati aggiunti a Sargon per compatibilità con SAP2000 e



devono essere utilizzati con molta attenzione: come riportato più sotto nelle note, infatti, possono verificarsi perdite di equilibrio e/o di informazioni rilevanti.

### ***Somma valori assoluti (+)***

Vengono sommati i valori assoluti dei contributi dei vari casi di carico fattorizzati:

$$| m_1 * caso_1 | + | m_2 * caso_2 | + \dots + | m_n * caso_n |$$

### ***Somma valori assoluti (-)***

Vengono sommati i valori assoluti cambiati di segno dei contributi dei vari casi di carico fattorizzati:

$$- | m_1 * caso_1 | - | m_2 * caso_2 | - \dots - | m_n * caso_n |$$

### ***Radice quadrata somma quadrati (+)***

Il risultato è la radice quadrata della somma dei quadrati (SRSS) dei contributi dei vari casi di carico fattorizzati:

$$\text{sqrt} [ ( m_1 * caso_1 )^2 + ( m_2 * caso_2 )^2 + \dots + ( m_n * caso_n )^2 ]$$

### ***Radice quadrata somma quadrati (-)***

Il risultato è la radice quadrata cambiata di segno della somma dei quadrati dei contributi dei vari casi di carico fattorizzati:

$$- \text{sqrt} [ ( m_1 * caso_1 )^2 + ( m_2 * caso_2 )^2 + \dots + ( m_n * caso_n )^2 ]$$

### ***Range (+)***

Vengono sommati solo i contributi positivi dei vari casi di carico fattorizzati:

$$\Sigma ( m_i * caso_i )$$

sommando solo i valori  $(m_i * caso_i) > 0$

### ***Range (-)***

Vengono sommati solo i contributi negativi dei vari casi di carico fattorizzati:

$$\Sigma ( m_i * caso_i )$$

sommando solo i valori  $(m_i * caso_i) < 0$

### ***Inviluppo (max)***

Viene restituito il valore massimo tra tutti i contributi dei casi di carico fattorizzati:

$$\max [ ( m_1 * caso_1 ) , ( m_2 * caso_2 ) , \dots , ( m_n * caso_n ) ]$$

### ***Inviluppo (min)***

Viene restituito il valore minimo tra tutti i contributi dei casi di carico fattorizzati:

$$\min [ ( m_1 * caso_1 ) , ( m_2 * caso_2 ) , \dots , ( m_n * caso_n ) ]$$

### ***Combinazioni di combinazioni***

E' possibile definire anche combinazioni di combinazioni, o combinazioni di casi e combinazioni. Ogni combinazione di combinazione può essere dei precedenti tipi (lineare additiva, valori assoluti, SRSS, range, inviluppi). Ad esempio:

$$m_1 * caso_1 + \dots + m_n * caso_n + m_{c1} * combi_1 + \dots + m_n * combi_m$$

dove  $m_{ci}$  è il moltiplicatore definito per la combinazione  $combi_i$ . La combinazione x può essere combinazione di combinazioni fino alla x-1, per impedire chiamate recursive (due combinazioni che si chiamano a vicenda, generando un ciclo infinito).

Se il riquadro in basso è vuoto, si tratta di una normale combinazione di casi di carico; se si vuole definire una combinazione di combinazioni, invece, nel riquadro in basso deve essere scritta una riga per ogni combinazione appartenente alla combinazione di combinazione; ogni riga deve avere la seguente struttura: numero della combinazione (inferiore a quella che si sta aggiungendo/modificando), moltiplicatore, nome della combinazione.

Il bottone *Tutte le precedenti, fattore 1* aggiunge automaticamente una riga per ognuna delle combinazioni precedenti a quella corrente, definendo un moltiplicatore unitario. Se si introduce un numero intero minore della combinazione corrente nella casella *Combi #* e si clicca il bottone *Aggiungi item*, viene automaticamente compilata una riga relativa alla combinazione specificata.

## NOTE

Le combinazioni di tipo SRSS e valori assoluti fanno perdere informazioni relative al segno delle grandezze in esame (azioni interne, spostamenti, ecc.); le combinazioni di tipo range, invece, trascurano contributi che vanno a diminuire la grandezza considerata. In entrambi i casi si perdono la coerenza dal punto di vista fisico e la condizione di equilibrio, venendo a mancare la contemporaneità o il segno delle varie grandezze. Ciò può essere non a favore di sicurezza oppure può portare a sovradimensionamenti. Anche le combinazioni di combinazioni devono essere usate con molta attenzione, facendo sempre attenzione al loro significato fisico. I due esempi opposti possono aiutare a capire meglio la questione. Se in un modello ci sono  $n$  combinazioni di casi di carico di tipo lineare additivo, è possibile aggiungere una combinazione di tipo inviluppo di tutte le combinazioni precedenti: in questo modo la combinazione  $n+1$  restituirà i valori più elevati di tutte le grandezze al variare delle  $n$  combinazioni. Estremizzando, pensiamo invece di aggiungere una combinazione ai valori assoluti negativi di combinazioni di tipo range positivo: è evidente in questo secondo caso la totale perdita di coerenza dal punto di vista fisico.

### 3.8.10.3 Genera...

**COMANDO: Edit-Combinazioni-Genera...**

**[Ribbon-Pre]**



Questo comando consente di generare in modo automatico l'insieme delle combinazioni necessarie per le verifiche allo stato limite ultimo (SLU) ed allo stato limite di esercizio (SLE), nel combiset attivo. Il comando realizza le combinazioni sulla base delle prescrizioni derivanti dagli eurocodici, con la possibilità di modificare i parametri di interesse come i fattori di sicurezza. L'impianto è in comune a quello prescritto dalle norme italiane come il DM 16-1-1996 e l'Ordinanza PCM 3274/2003.

Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[1086]</sup> che consente di fare le scelte necessarie alla generazione delle combinazioni. Le combinazioni possono essere generate solo se non vi sono altre combinazioni attive. Dopo aver generato le combinazioni in modo automatico è possibile aggiungerne di nuove o rimuoverne alcune mediante i normali comandi Sargon a questo scopo preposti. Le combinazioni aggiunte sono di tipo lineare additivo.

Per i dettagli operativo sul funzionamento del comando si rimanda a [Come generare le combinazioni](#)<sup>[346]</sup> ed al dialogo [Generazione di combinazioni](#)<sup>[1086]</sup>.

A partire dalla versione 16.30 è possibile utilizzare il comando anche su combi-set non vuoti.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

#### 3.8.10.3.1 Generazione di combinazioni (Dialogo)

### GENERAZIONE DI COMBINAZIONI (DIALOGO)

Generazione di combinazioni

Attività casi - Variabilità dei segni - Compresenza casi

Casi di carico variabili o accidentali base

- ☒ 7 Neve
- ☒ 8 Vento+X
- ☒ 9 Vento-X
- ☒ 10 Vento+Y
- ☒ 11 Vento-Y
- ☒ 12 Termico+25°C
- ☒ 13 Termico-25°C

Ammissibilità compresenza altri casi

- ☒ 11 Vento-Y
- ☒ 12 Termico+25°C
- ☒ 13 Termico-25°C
- ☒ 14 SVP\_Sisma+X (N+)
- ☒ 15 SVP\_Sisma+Y (N+)
- ☒ 16 SVP\_Sisma+Z (N+)
- ☒ 17 SVM\_Sisma+X (N-)

☐ Cambia segno    Tutti    Nessuno!

Coefficienti Gamma

1.3    gamma G    ☒ Combina anche gli INF

1    gamma G,inf

1    gamma GA

1.5    gamma Q    ☒ Combina anche gli INF

Tipo di Stato Limite

☒ SLU

☐ SLE - TUTTI

☐ SLE - CARATTERISTICHE

☐ SLE - FREQUENTI

☐ SLE - QUASI PERMANENTI

Suggerisci gamma

SLU - EQU

SLU - STR

SLU - GEO

I casi non permanenti possono essere attivi (spuntati) o non attivi. Tutti! attiva tutti i casi di carico. Nessuno! disattiva.

Un caso non permanente può escluderne altri: questi verranno deselezionati in "Ammissibilità compresenza ...".

Gli effetti peggiori sono ignoti a priori. Quindi occorre considerare anche i valori inferiori (INF) e tutte le permutazioni.

Si può dover tenere in conto che un caso possa assumere due segni diversi.

Genera TA!

Genera SLI

Cancel

Stima quante ne verrebbero con queste scelte (solo SL)

Questo dialogo consente di definire in dettaglio la modalità operativa del comando di generazione delle combinazioni. Per un più approfondito svolgimento del tema, irto di tranelli e di difficoltà, si rimanda a [Come generare le combinazioni](#)<sup>[346]</sup>.

### Il dialogo è diviso in tre riquadri.

Il primo riquadro **Attività casi-Variabilità segni-Compresenza casi** serve a stabilire alcune importanti caratteristiche dei casi di carico base, precisamente dei casi di carico base di tipo non-permanente (vento, variabili, neve, sisma...).

Il secondo riquadro **Coefficienti Gamma** serve a stabilire il valore da adottare per i coefficienti  $\gamma_g$ ,  $\gamma_{g,inf}$ ,  $\gamma_q$ ,  $\gamma_A$  da utilizzare nella generazione delle combinazioni. Questo

riquadro serve anche a stabilire se occorre considerare il solo valore superiore o anche quello inferiore (cfr infra).

Il terzo riquadro **Tipo di stato limite** serve a decidere se le combinazioni si riferiscono allo stato limite ultimo (SLU) o allo stato limite di esercizio (SLE).

I bottoni nel riquadro “suggerisci gamma” modificano i valori dei coefficienti gamma a seconda del tipo di stato limite ultimo considerato, in accordo alle prescrizioni delle NTC 2008/2018 / Eurocodice.

Esistono poi tre bottoni isolati: il bottone “**Stima quante ne verrebbero con queste scelte**” che serve a calcolare in modo approssimato il numero di combinazioni che risulterebbero dalle scelte fatte (le ragioni per cui è approssimato saranno chiarite più oltre), il bottone **Genera SL!** che materialmente genera queste combinazioni, il bottone **Cancel** che fa uscire dal comando senza fare nulla.

A partire dalla versione 8.0 è stato aggiunto il comando **Genera TA!** che consente di generare in modo automatico le combinazioni per il metodo delle tensioni ammissibili. In questo caso tutti gli psi introdotti per i casi di carico non vengono utilizzati (né variati), ed al loro posto viene messo il numero 1. Allo stesso modo, tutti i gamma indicati nel dialogo non vengono usati, al loro posto viene usato il numero 1. Vengono invece impiegate le informazioni sulla variabilità dei segni, sulla possibile contemporaneità e sul fatto che un caso sia attivo o meno. In pratica il bottone in questione genera le combinazioni alle tensioni ammissibili senza dover modificare manualmente tutti i gamma e tutti gli psi.

Poiché a causa del fatto che i fattori sono tutti 1 il numero delle combinazioni duplicate è molto ma molto più elevato, l'algoritmo genera di solito un numero di combinazioni nettamente inferiore a quello tipico degli stati limite. In questo caso però non si ha alcuna riduzione a causa della concomitanza, nello spirito del metodo alle TA. Ove si vogliano generare combinazioni alle TA che abbiano i gamma unitari e gli psi minori di 1 si potrà sempre usare il comando **Genera SL!** ponendo eguali a 1 i termini corrispondenti.

Esaminiamo ora più in dettaglio i vari riquadri.

### **Attività casi-Variabilità dei segni-Compresenza casi**

Questo riquadro è fondamentale.

Nella lista di sinistra vengono elencati tutti i casi di carico di tipo non permanente (tutti tranne quelli Permanenti e Gravità). Ognuno di questi casi di carico ha un suo segno di spunta che dice se il caso di carico è attivo, ovvero occorrerà tenerne conto nelle combinazioni, oppure se è inattivo, ed in tal caso il suo moltiplicatore sarà nullo in ogni combinazione, nessuna esclusa. Per attivare tutti i casi di carico variabili con un solo click basta premere il bottone **Tutti!**, mentre per disattivare tutti i casi di carico basta premere il bottone **Nessuno!**. Se si vuole che un caso di carico venga scartato (casi di carico utili per costruzioni o passaggi intermedi) è dunque necessario non etichettarlo **Permanente** o **Gravità**.

La casella di spunta **Cambia segno** si riferisce al caso di carico base variabile selezionato in un dato istante. Se la selezione cambia, il contenuto della casella di spunta cambia. Se la casella di spunta è selezionata (compare il segno di spunta), allora il corrispondente caso di carico dovrà comparire nelle combinazioni sia con il segno “+” che con il segno “-“. Se invece il segno di spunta non compare, allora il segno sarà sempre solo positivo.

Il contenuto del riquadro di destra cambia a seconda della selezione attiva nel riquadro di sinistra. Nel riquadro di destra (***Ammissibilità compresenza altri casi***) vengono elencati tutti i casi di carico di tipo non permanente (tutti i tipi tranne **Permanente** e **Gravità**), ad eccezione del caso di carico variabile correntemente selezionato nel riquadro di sinistra. Ogni caso nel riquadro di destra presenta un nuovo segno di spunta diverso per significato dal segno di spunta presente nel riquadro di sinistra. Se il segno di spunta del caso di carico J posto *a destra* relativo al caso di carico I posto *a sinistra* è presente, questo vuol dire che è ammessa la contemporanea presenza di I e J in una stessa combinazione. Se invece il medesimo segno di spunta è assente, allora quando è presente I non deve essere presente J. In pratica occorre definire i termini extradiagonali di una matrice quadrata booleana avente tante righe quanto sono i casi di carico non variabili. *La matrice deve essere simmetrica* (il segno di spunta IJ deve essere eguale al segno di spunta JI). Se la matrice non è simmetrica il programma la segnala quando gli si chiede di generare le combinazioni o di stimarne il numero.

Si noti che è ben possibile che casi di carico variabile non possano agire contemporaneamente: si pensi alle diverse posizioni di un carico mobile, alle diverse

configurazioni di un carico variabile, alle diverse direzioni di un carico da vento, alla eventuale contraddittorietà di due casi (termico a +30°C e neve).

Il fatto che due o più casi di carico siano mutuamente esclusivi obbliga a generare nuove combinazioni di carico nelle quali si permutino tutte le possibilità incrociate di compresenza di casi di carico variabili differenti. Si rimanda a [Come generare le combinazioni](#)<sup>[346]</sup> per una più approfondita spiegazione.

### Coefficienti Gamma

In questo riquadro si definiscono i valori dei coefficienti gamma. I valori proposti sono quelli previsti dalle norme italiane, ma in caso di commesse estere o lavori da eseguirsi in accordo ad altre normative, è possibile variare a proprio piacimento questi coefficienti.

Molto importanti sono le due caselle di spunta **Combina anche gli INF**, relative ai permanenti (gamma  $G = \gamma g$ ) ed ai variabili (gamma  $Q = \gamma q$ ).

Non è infatti detto che il valore di combinazione superiore (ad esempio  $\gamma g = 1.4$ ) generi ovunque situazioni peggiori di quelle che si avrebbero con il valore inferiore (che nel caso dei permanenti è posto dal programma eguale a 1). Ad esempio nei riguardi del ribaltamento i permanenti possono avere una azione stabilizzante, e quindi un loro valore inferiore risultare più gravoso ad esempio per ancoraggi o fondazioni. Pertanto là dove un caso di carico permanente compare con il suo valore superiore esso dovrebbe anche essere considerato, in un'altra combinazione, con il suo valore inferiore. Ovviamente nulla obbliga ad avere casi di carico permanenti che abbiano le stesse distribuzioni, e pertanto vanno considerate tutte le possibili permutazioni dei valori permanenti superiori ed inferiori di tutti i casi di carico base.

Analogo discorso vale per i carichi “variabili” (ovvero non di tipo **Gravità** o **Permanente**). In questo caso come valore inferiore il programma assume il moltiplicatore 0, ovvero il caso in cui il corrispondente caso di carico variabile manca (mentre in generale potranno esserci gli altri).

Se non si desidera tener in conto i valori superiori e quelli inferiori, ma solo i valori superiori, allora il segno di spunta va eliminato. Si noti che è possibile tenere in conto dell'effetto solo per i permanenti, solo per i variabili, per entrambi o per nessuno dei due. In



generale il numero di combinazioni diminuisce (anche di molto) se non si tiene in conto la variabilità superiore/inferiore.

### Tipo di stato limite

Questo riquadro serve a decidere se si dovranno generare combinazioni per gli stati limite di danno o combinazioni per gli stati limite ultimi. Si rimanda a [Come generare le combinazioni](#)<sup>[346]</sup> per la descrizione delle differenze.

Il pulsante “**Stima quante ne verrebbero con queste scelte**” consente di avere preliminarmente una stima (un limite superiore) di quante combinazioni verrebbero aggiunte con le impostazioni scelte. Non è possibile dare il numero esatto senza materialmente aggiungere le combinazioni, perché solo se queste sono state aggiunte è possibile eliminare le combinazioni ridondanti. Le combinazioni sono considerate ridondanti quando:

- sono già state aggiunte eguali in precedenza;
- sono identiche ad un'altra aggiunta in precedenza, a meno di un fattore  $K$  eguale per tutti i casi di carico base. In altre parole se  $F_i$  sono i fattori della combinazione già aggiunta, e  $G_i$  sono i fattori della combinazione da aggiungere ( $i=1$ , numero di casi di carico), risulti per ogni  $i$ :  $F_i = K G_i$ . In questo caso: se  $K$  è  $< 1$  la  $G_i$  sostituirà la  $F_i$ , ma comunque rimarrà un'unica combinazione. Se invece  $K > 1$ , allora rimarrà la  $F_i$  e la  $G_i$  verrà scartata.

I controlli di ridondanza consentono di evitare la generazione di combinazioni platealmente inutili.

#### 3.8.10.4 Stampa

**COMANDO: Edit-Combinazioni-Stampa...**


**[Ribbon-Pre]**

Questo comando consente di generare un file ASCII (estensione txt) contenente i moltiplicatori dei casi base del combiset attivo. Il file è “tab delimited” e può agevolmente essere importato in EXCEL o in WORD per ulteriori elaborazioni.

### 3.8.10.5 Importa

#### Comando: Edit-Combinazioni-Importa

#### [Ribbon-Pre]

Questo comando consente di importare nel [combiset attivo](#)  l'insieme di combinazioni scritte in un file di testo. All'esecuzione del comando viene chiesto il percorso in cui si trova il file, che deve avere il seguente formato ( $n$  è il numero di casi di carico del modello e  $m$  il numero delle combinazioni di verifica):

```
nome combi1    combi 1    fattore caso 1    fattore caso 2    ...    fattore caso n
nome combi2    combi 2    fattore caso 1    fattore caso 2    ...    fattore caso n
...
nome combim    combi m    fattore caso 1    fattore caso 2    ...    fattore caso n
```

#### Esempio:

```
pippo      1    1.00    1.30    0.00
pluto      2    1.30    1.00    0.00
abcd1      3    1.30    1.30    0.00
abcd2      4    1.00    1.00    1.50
abcd3      5    1.00    1.00   -1.50
abcd4      6    1.00    1.30    1.50
abcd5      7    1.00    1.30   -1.50
abcd6      8    1.30    1.00    1.50
abcd7      9    1.30    1.00   -1.50
abcd8     10    1.30    1.30    1.50
abcd9     11    1.30    1.30   -1.50
```

### 3.8.10.6 Modifica

**COMANDO: Edit-Combinazioni-Modifica...**

[Ribbon-Pre]

**C?**

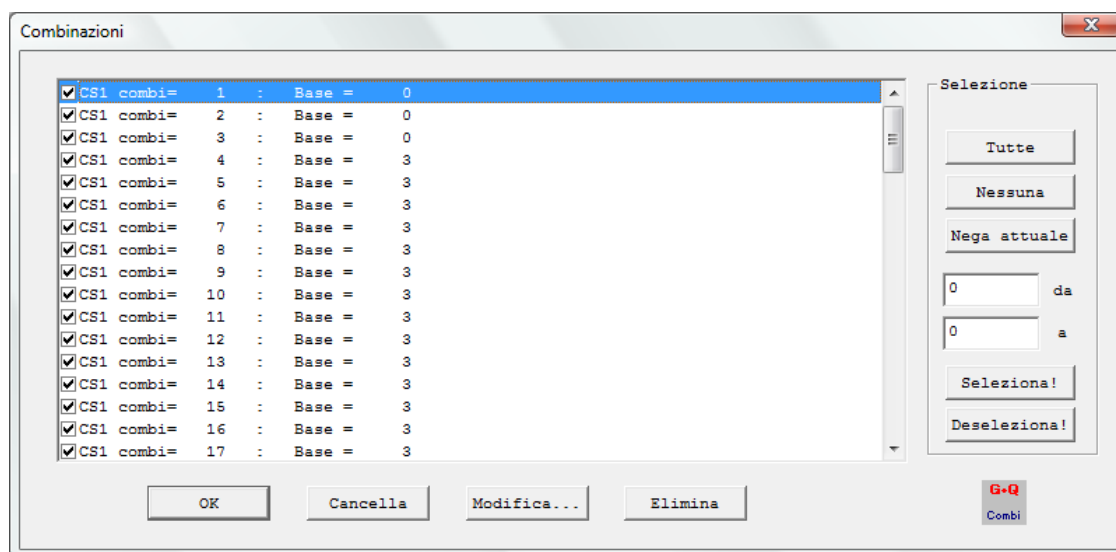
Questo comando consente di modificare e attivare/disattivare le combinazioni del [combiset attivo](#)<sup>[1079]</sup>. All'esecuzione del comando si apre un opportuno [dialogo](#)<sup>[1093]</sup>.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** vista attiva, documento

#### 3.8.10.6.1 Combinazioni

**COMANDO: Edit-Combinazioni-Modifica...**



In questo dialogo è possibile modificare le combinazioni del combiset attivo, eliminarle e anche attivarle/disattivarle.

Selezionando la combinazione desiderata (evidenziata in blu) e cliccando il bottone *Modifica*, viene riproposto lo stesso [dialogo](#)<sup>[1094]</sup> utilizzato per la generazione della stessa combinazione. Basta editare i dati e modificarli. Cliccando il bottone *Elimina*, invece, la combinazione selezionata viene eliminata.

E' possibile attivare ciascuna combinazione spuntandola o disattivarla togliendo la spunta. Il bottone *Tutte* spunta automaticamente tutte le combinazioni, il bottone *Nessuna* toglie tutte le spunte; il bottone *Nega attuale* inverte lo stato di spunta di tutte le combinazioni: viene rimossa la spunta a quelle correntemente spuntate e viceversa; i bottoni *Seleziona!* e *Deseleziona!* selezionano e deseleggono tutte le combinazioni comprese nell'intervallo definito dalle caselle "da" "a", lasciando inalterate tutte le altre. Ad esempio, *Seleziona da 10 a 25* seleziona tutte le combinazioni comprese tra 10 e 25.

- Le combinazioni [selezionate](#)<sup>[348]</sup> vengono incluse nelle verifiche automatiche, negli involuppi e in tutti i risultati forniti a schermo e nel tabulato.
- Le combinazioni [non selezionate](#)<sup>[348]</sup> hanno risultati nulli e quindi non figurano negli involuppi, nelle verifiche, ecc.

#### 3.8.10.6.1.1 Combinazione (Dialogo)

### COMBINAZIONE (DIALOGO)

Questo dialogo viene presentato in seguito alla richiesta di modificare una combinazione esistente. E' lo stesso dialogo utilizzato per l'[aggiunta di combinazioni](#)<sup>[1081]</sup>, al quale si rimanda per una descrizione più dettagliata.

### 3.8.10.7 Azzerare...

**COMANDO: Edit-Combinazioni-Azzerare...**

**[Ribbon-Pre]**

**C=0**

Questo comando consente di azzerare i moltiplicatori dei casi di carico della combinazione attiva (quella nella quale ci si trova nella vista attiva) del combiset attivo.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista attiva, documento

### 3.8.10.8 Elimina tutte

**COMANDO: Edit-Combinazioni-Elimina Tutte...**

**[Ribbon-Pre]**

**C<sub>x</sub>**

Questo comando consente di eliminare tutte le combinazioni presenti nel combiset attivo, non soltanto azzerando i moltiplicatori ma rimuovendo dalla memoria tutte le combinazioni precedentemente definite nel combiset attivo.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

### 3.8.10.9 Elimina alcune

**COMANDO: Edit-Combinazioni-Elimina Alcune...**

**[Ribbon-Pre]**

Questo comando consente di eliminare alcune combinazioni di caricodal combiset attivo sulla base dei risultati ottenuti sugli elementi e sulle reazioni vincolari. In pratica il comando esamina la risposta strutturale ed elimina le combinazioni reputate non significative in quanto tali da non generare sfruttamenti (o reazioni vincolari) superiori a certe soglie decise dall'utente. Il comando è modale, alla sua esecuzione compare un opportuno [dialogo](#)<sup>1096</sup> che consente di fare le scelte necessarie in merito ai numeri indice da assumere. Prima di eseguire la cancellazione l'utente, informato sul numero di combinazioni che verranno cancellate, deve dare conferma del desiderio di cancellare le combinazioni. Viene creato in automatico un file denominato "modello.combi.list.txt" nel quale per ogni combinazione si dà il valore rilevante di ciascun indicatore scelto.

Questo comando è molto utile se si hanno centinaia o migliaia di combinazioni, dopo averle generate automaticamente con il comando [Genera....](#)<sup>1085</sup>. Perché il comando possa funzionare (es essere eseguito) è necessario che sia preventivamente stato eseguito il solving. Se si fa uso del "vero" coefficiente di sfruttamento occorre anche aver eseguito le verifiche.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

#### 3.8.10.9.1 Rimozione di combinazioni (Dialogo)

### **RIMOZIONE DI COMBINAZIONI (DIALOGO)**

Questo dialogo serve a determinare i criteri in base ai quali verranno rimosse alcune delle combinazioni esistenti nel modello.

Possono essere determinati uno o più criteri basati su essenzialmente due indicatori: lo sfruttamento degli elementi o l'intensità delle reazioni vincolari.

Lo sfruttamento degli elementi può essere valutato in tre modi: mediante un calcolo elastico semplificato (sfruttamento semplificato per tensioni normali); mediante un calcolo plastico semplificato (come prima si tiene solo in conto la tensione normale); mediante i risultati delle verifiche eseguite in precedenza. Nei primi casi lo sfruttamento è valutato in modo semplificato, tenendo in conto in pratica le sole verifiche di resistenza basate su  $N$ ,  $M2$ ,  $M3$ . Nel terzo caso si usa l'effettivo sfruttamento (a resistenza e stabilità e per tutte le componenti di sollecitazione) così come stimato dal programma verificatore che ha eseguito le verifiche in precedenza, correntemente attivo.

In pratica vengono scartate solo le combinazioni tali per cui tutti gli elementi hanno uno sfruttamento inferiore alla soglia indicata. Se la soglia è -99 ciò vuole dire che il criterio non viene tenuto in conto. Se ad esempio indichiamo 0.2 come sfruttamento elastico semplificato, allora verranno cancellate tutte le combinazioni tali per cui tutti gli elementi selezionati, nessuno escluso, abbiano sfruttamento elastico semplificato inferiore a 0.2. E' chiaro che combinazioni di questo tipo sono con alta probabilità irrilevanti ai fini delle verifiche. Se si specificano due criteri, le combinazioni eliminate dovranno soddisfarli entrambi.

Per quanto riguarda le reazioni vincolari ciò che conta sono i nodi selezionati. In questo caso verranno eliminate tutte le combinazioni tali per cui tutti i nodi selezionati abbiano la componente di reazione vincolare specificata superiore al valore indicato. Tale funzionalità è comoda per esaminare ad esempio se ci sono, combinazioni che comportino l'inversione di segno di una componente di reazione vincolare. Se si specifica per  $R_z$  il valore 0, allora solo le combinazioni in cui  $R_z > 0$  saranno eliminate, lasciando le sole combinazioni ove la reazione vincolare punti verso il basso (colonne in trazione).

### 3.8.10.10 Successiva

#### COMANDO: Edit-Combinazioni-Successivo

#### [Ribbon-Pre]

Questo comando porta alla combinazione di carico successiva del combiset attivo.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista attiva

### 3.8.10.11 Precedente

**COMANDO:** Edit-Combinazioni-Precedente

[Ribbon-Pre]

Questo comando porta alla combinazione di carico precedente del combiset attivo.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista attiva

## 3.8.11 Masse

### 3.8.11.1 Aggiungi...

**COMANDO:** Edit-Masse-Aggiungi...

[Ribbon-Pre]



Questo comando fa aggiungere una massa stabilita dall'utente ai nodi selezionati. Si noti che la massa fissata dall'utente viene aggiunta alla massa già presente sui nodi selezionati. Inizialmente sui nodi la massa è nulla. La massa aggiunta può essere traslazionale o rotazionale (momento di inerzia). La massa aggiunta serve unicamente ai fini dell'analisi modale ed a spettro di risposta: non influenza in alcun modo la analisi statica.

Al fine di evitare confusioni sulle unità di misura Sargon chiede che la massa aggiunta venga introdotta in unità forza e non in unità massa. Si deve introdurre cioè il peso della massa che si vuole aggiungere, nella unità forza attiva. Se, ad esempio, si vuole introdurre la massa di



un litro d'acqua e si stanno usando i chili, la massa da introdurre è 1. Se si usano le tonnellate la massa è pari a 0.001.

I momenti di inerzia usano lo stesso criterio, ma compare anche la unità di lunghezza. Il momento di inerzia di una massa pari ad un litro d'acqua posta alla distanza di 1m dall'asse di rotazione verrà espresso:

se sto usando Kg e mm come  $1 \times 1000 \times 1000$

se sto usando ton e mm come  $0.001 \times 1000 \times 1000$

se sto usando Kg e m come  $1 \times 1 \times 1$ .

Quando si danno le masse traslazionali è necessario dare le masse nelle tre direzioni tutte eguali tra loro. In casi speciali è possibile dare masse diverse nelle tre direzioni. Se si fornisce la sola massa x le masse y e z verranno nulle: attenzione.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

#### 3.8.11.1.1 Aggiunta di masse (Dialogo)

### AGGIUNTA DI MASSE (DIALOGO)

Questo dialogo chiede le masse traslazionali e rotazionali da **aggiungere** ai nodi selezionati.

Le masse sono introdotte usando il loro peso (una massa di 100Kg come 100KgF o 0.1tonnellate), usando la unità di forza corrente.

#### 3.8.11.2 Caso...

**COMANDO:** Edit-Masse-Caso...

[Ribbon-Pre]



Questo comando somma a tutti i nodi le masse ottenute da un caso di carico opportunamente moltiplicato per un fattore di scala.

Il programma converte la risultante dei carichi applicati su nodi ed elementi nella massa che ha un peso eguale, e ripartisce poi la massa in parti, in generale diseguali, sui nodi di appartenenza dell'elemento. Le parti applicate ai due nodi dell'elemento possono essere diverse, utilizzando le reazioni della trave appoggio appoggio equivalentemente caricata, in funzione:

1. Della posizione del carico nel caso di carico concentrato.
2. Della posizione del risultante del carico, nel caso di carichi variabili linearmente (lineari e lineari generali).

Sono invece eguali per i carichi uniformemente distribuiti su tutta la luce dell'elemento.

Il comando funziona con i carichi nodali e con i carichi distribuiti uniformemente e linearmente.

Va anche osservato che (a partire dal Maggio 2022):

- Se la opzione "**risultante come  $m_x=m_y=m_z$** " è attiva, le masse applicate a ciascun nodo saranno eguali nelle tre direzioni X, Y e Z, e saranno l'equivalente in massa della risultante delle forze applicate sul nodo. Se sono applicati carichi distribuiti o concentrati sugli elementi trave, le masse saranno applicate ai due nodi dell'elemento, in misura proporzionale alle rispettive quote di pertinenza.
- Se la opzione "**componenti forza come  $m_x$ ,  $m_y$ ,  $m_z$** " è attiva, le masse x, y, e z sul nodo verranno aggiunte in modo proporzionale alle componenti X, Y e Z della risultante delle forze applicate, di pertinenza del nodo. Per i carichi distribuiti, la ripartizione vien fatta considerando separatamente le tre componenti, come se agissero separatamente.
- Se la opzione "**risultante come massa X**" è attiva, la massa del risultante sarà applicata solo come massa X, e la massa Y e Z sarà nulla.
- Se la opzione "**risultante come massa Y**" è attiva, la massa del risultante sarà applicata solo come massa Y, e la massa X e Z sarà nulla.

- Se la opzione "**risultante come massa Z**" è attiva, la massa del risultante sarà applicata solo come massa Z, e la massa X e Y sarà nulla.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

#### 3.8.11.2.1 Somma delle masse di un caso (Dialogo)

### SOMMA DELLE MASSE DI UN CASO (DIALOGO)

Questo dialogo chiede il **caso** di carico ed il **fattore** da usare per aggiungere le masse. Di ogni azione viene calcolato il modulo, convertito in massa, moltiplicato per il fattore e applicato al nodo. Per i carichi distribuiti la massa viene equamente ripartita sui due nodi della trave a cui il carico è applicato. Il comando non si applica ai carichi distribuiti diversi da uniformi.

#### 3.8.11.3 Canc Sel

**COMANDO:** Edit-Masse-Canc Sel

**[Ribbon-Pre]**



Questo comando cancella le masse dai nodi selezionati, ponendole eguali a zero.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

#### 3.8.11.4 Canc SelX

**COMANDO: Edit-Masse-Edit-Masse-Canc SelX**

**[Ribbon-Pre]**

Questo comando cancella le masse traslazionali X dai nodi selezionati, ponendole eguali a zero.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

#### 3.8.11.5 Canc SelY

**COMANDO: Canc SelY**

**[Ribbon-Pre]**

Questo comando cancella le masse traslazionali Y dai nodi selezionati, ponendole eguali a zero.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

#### 3.8.11.6 Canc SelZ

**COMANDO: Edit-Masse-Canc SelZ**

**[Ribbon-Pre]**

Questo comando cancella le masse traslazionali Z dai nodi selezionati, ponendole eguali a zero.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

### 3.8.11.7 Scala

**COMANDO:** Edit-Masse-Scala

[Ribbon-Pre]



Questo comando serve ad applicare un fattore di scala alle masse dei nodi selezionati. Alla esecuzione del comando compare un dialogo che chiede di quanto scalare le masse traslazionali in direzione X, Y e Z e di quanto scalare le masse rotazionali X, Y e Z.

Con questo comando è possibile applicare fattori modificativi alle sole masse associate a un certo grado di libertà. L'opzione è ad esempio utile nella modellazione agli elementi finiti delle scaffalature industriali.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

### 3.8.11.8 Sposta...

**COMANDO:** Edit-Masse-Sposta

[Ribbon-Pre]



Questo comando genera delle correzioni alla massa dei nodi selezionati in modo da spostare il centro delle masse di una certa prefissata quantità, definita da un valore di Dx, Dy e Dz. Il comando tiene in conto i soli nodi selezionati che abbiano una massa non nulla. Le masse traslazionali in direzione X Y e Z devono essere eguali. Ove venga generata una massa negativa il comando si interrompe. Viene prima applicato lo shift in direzione X, poi quello in direzione Y, infine quello in direzione Z.

Estratto dal volume “Analisi modale ragionata”, di Paolo Rugarli:

Partendo da una certa distribuzione di masse, una pertinente correzione variabile linearmente con la ascissa può essere ottenuta in forma chiusa applicando le seguenti formule.

Sia  $\bar{x}$  la posizione del centro delle masse prima delle correzione ed  $(\bar{x}+e)$  la posizione del centro delle masse che si vuole ottenere dopo la correzione, dove “e” è l’eccentricità accidentale desiderata. Sia inoltre “i” un indice che varia da nodo a nodo e che tiene in conto solo i nodi selezionati e con massa non nulla per un totale di “n” nodi. Immaginiamo che la massa  $m_i$  di ciascun nodo subisca una correzione  $\Delta m_i$  e che la correzione  $\Delta m_i$  sia funzione lineare di  $x$ , secondo la legge

$$\Delta m_i = ax_i + b$$

dove “a” e “b” sono due costanti. In tal caso, imponendo che la massa totale  $M$  non cambi e che la posizione del nuovo centro delle masse sia in  $(+e)$ , otteniamo le due equazioni seguenti:

$$\begin{cases} \sum_i (m_i + \Delta m_i) = M \\ \sum_i x_i (m_i + \Delta m_i) = M(\bar{x} + e) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \sum_i \Delta m_i = \sum_i (ax_i + b) = 0 \\ \sum_i x_i \Delta m_i = \sum_i x_i (ax_i + b) = Me \end{cases}$$

$$\begin{cases} b = \frac{-a \sum_i x_i}{n} \\ a = \frac{nMe}{n \left( \sum_i x_i^2 \right) - \left( \sum_i x_i \right)^2} \end{cases}$$

Queste formule entrano però in crisi quando la correzione è negativa e superiore alla massa originaria, quando cioè

$$m_i + \Delta m_i < 0$$

condizione che si raggiunge se la eccentricità “e” supera un certo valore di soglia, dipendente dal problema in esame.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

### 3.8.12 Multipiano

**COMANDO:** Edit-Multipiano

**[Ribbon-Pre]**



Questo comando serve a definire i livelli di un edificio multipiano. Per definizione dei livelli qui si intende la definizione del numero dei livelli e la definizione, per ciascun livello, della sua quota (valore della coordinata z).

Queste informazioni sono usate dal programma per identificare vari elementi tra cui le colonne. Per “colonna” si intende un elemento trave verticale che vada da un livello ad un altro livello immediatamente adiacente al primo. L’identificazione automatica delle colonne è necessaria per eseguire una serie di calcoli previsti dalle norme per tipi di elemento (ad esempio il calcolo dell’interstorey drift).

Il comando può essere eseguito o rieseguito in qualsiasi momento. Alla esecuzione del comando compare un opportuno dialogo ([Multipiano](#)<sup>[106]</sup>) che chiede di specificare i dati relativi ai livelli.

La definizione dei livelli per una struttura multipiano tramite questo comando è necessaria solo se si vogliono usare i comandi che sfruttano questa informazione.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento.

### 3.8.12.1 Multipiano (Dialogo)

#### MULTIPIANO (DIALOGO)

Questo dialogo consente di specificare al programma il numero di piani ed i loro livelli nel caso in cui la struttura sia un edificio multipiano.

Per prima cosa occorre stabilire il numero di piani al di sopra del suolo. Fatto questo si preme il bottone “**Assegna**”, al fine di creare un vettore di quote, che inizialmente sono nulle. Appena assegnato il numero di piani compare una serie di quote nella finestra “**Quote piani**”, pari al numero di piani più una. La lettera **L** identifica il livello, la lettera **Z** identifica la quota. La quota (assoluta) va specificata nella unità di lunghezza attiva al momento di esecuzione del comando. Il livello  $L=0$  è il “piano terra”, che non deve essere conteggiato nel numero di piani. Il piano terra ha in generale una quota diversa da 0, pertanto occorre specificare anche la quota del livello 0.

Completate le quote si preme il tasto OK.

### 3.8.13 Gruppi

#### COMANDO: Edit-Gruppi

[Ribbon-Pre]

**G**

Questo comando serve ad aggiungere e modificare i gruppi. Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[107]</sup> che consente sia di aggiungere nuovi gruppi a quelli esistenti, sia di modificare i gruppi esistenti cambiando il colore loro associato e/o la descrizione. Il comando è usato anche per avere informazioni sui gruppi esistenti.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento.



### 3.8.13.1 Gruppi (Dialogo)

#### GRUPPI (DIALOGO)

Questo dialogo è usato da vari comandi. Esso riepiloga i gruppi disponibili mostrando in blu (selezionato) il gruppo attivo. Se il gruppo selezionato viene cambiato cambierà il gruppo attivo. Il gruppo attivo è il gruppo al quale vengono assegnati i nuovi elementi, con i comandi di aggiunta diretta, copia, rotazione, mirroring.

La scelta del gruppo al quale assegnare gli oggetti selezionati si fa scegliendo il gruppo tra quelli disponibili e poi uscendo con OK.

Si possono anche cancellare i gruppi NON REFERENZIATI, ovvero i gruppi che non sono assegnati ad alcun nodo o elemento. Non è possibile cancellare i gruppi se questi sono referenziati, per evitare di perdere informazioni sull'altro gruppo che fosse assegnato agli elementi e nodi "orfani" del gruppo cancellato.

Questo dialogo consente anche di accedere ad un altro [dialogo](#)<sup>1107</sup>, il quale consente di modificare gruppi esistenti (tasto **Modifica...**) o di aggiungerne di nuovi (tasto **Aggiungi...**).

#### 3.8.13.1.1 Definizione di un gruppo (Dialogo)

#### DEFINIZIONE DI UN GRUPPO (DIALOGO)

In questo dialogo è possibile specificare il nome del gruppo corrente e il suo colore. Per modificare il colore bisogna cliccare nel rettangolo con il colore corrente.

## 3.9 Menu Post, Ribbon: Post 1, Post 2

### 3.9.1 Deformata

#### 3.9.1.1 Con Indeformata

#### COMANDO: Post-Deformata-Con Indeformata

**[Ribbon-Post 1]**

Questo comando è un flag che dice che si vuole vedere la deformata e l'indeformata.

**3.9.1.2 Senza Indeformata****COMANDO: Post-Deformata-Senza Indeformata****[Ribbon-Post 1]**

Questo comando è un flag che dice che si vuole vedere la sola deformata.

**3.9.1.3 Mappa****COMANDO: Post-Deformata-Mappa****[Ribbon-Post 1]**

Questo comando serve a vedere una mappa a colori con la rappresentazione di una delle componenti dello spostamento. Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[1108]</sup> che consente di scegliere la componente di interesse.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** vista

**3.9.1.3.1 Scelta di una componente (Dialogo)****SCELTA DI UNA COMPONENTE (DIALOGO)**

Questo dialogo è usato da vari comandi. Esso serve a scegliere quale componente dello spostamento verrà visualizzata. Si può scegliere una componente traslazionale, una componente rotazionale o la risultante delle traslazioni.

#### 3.9.1.4 Interroga

##### **COMANDO: Post-Deformata-Interroga**

**[Ribbon-Post 1]**



Questo comando dà informazioni sugli spostamenti nodali nel caso o nella combinazione attiva.

##### 3.9.1.4.1 Spostamenti nodali (Dialogo)

##### **SPOSTAMENTI NODALI (DIALOGO)**

Questo dialogo dà il numero del nodo più vicino al cursore, le traslazioni di quel nodo e le rotazioni di quel nodo nel caso di carico o nella combinazione attiva.

Le rotazioni sono in radianti, le traslazioni sono nella unità di misura attiva.

#### 3.9.1.5 Interno

##### **COMANDO: Post-Deformata-Interno**

**[Ribbon-Post 1]**



Questo comando dà informazioni sugli spostamenti interni agli elementi trave, nel caso o nella combinazione attiva.

## 3.9.1.5.1 Spostamenti interni (Dialogo)

**SPOSTAMENTI INTERNI (DIALOGO)**

Questo dialogo dà:

- Il numero N della trave scelta.
- Il punto corrispondente al cursore all'interno della trave: x è la distanza del punto dal primo nodo, csi è la ascissa adimensionale dal primo nodo.
- Le tre traslazioni del punto interno rispetto al sistema globale (**SX, SY, SZ**).
- Le tre traslazioni del punto interno rispetto al sistema di riferimento locale (**T1, T2, T3**).
- La risultante del vettore traslazione (S).

## 3.9.1.6 Estremi...

**COMANDO: Post-Deformata-Estremi**

[Ribbon-Post 1]



Questo comando stampa i massimi e minimi spostamenti assoluti, per ogni componente, dei nodi selezionati al momento della esecuzione del comando. Dato un insieme di nodi (quelli selezionati) il programma cerca, nel caso o nella combinazione attiva, quali siano i nodi che massimizzano o minimizzano le componenti di spostamento nelle tre direzioni e di rotazione attorno ai tre assi globali.

## 3.9.1.7 Involuppo estremi...

**COMANDO: Post-Deformata-Involuppo estremi**

[Ribbon-Post 1]



Questo comando stampa i massimi e minimi spostamenti assoluti, per ogni componente, dei nodi selezionati al momento della esecuzione del comando. Dato un insieme di nodi (quelli selezionati) il programma cerca, al variare delle combinazioni, quali siano i nodi e le combinazioni che massimizzano o minimizzano le componenti di spostamento nelle tre direzioni e di rotazione attorno ai tre assi globali.

### 3.9.1.8 Inviluppo estremi (relativi)

#### COMANDO: Post-Deformata-Inviluppo estremi (relativi)

[Ribbon-Post 1]



Questo comando stampa i massimi e minimi spostamenti relativi, per ogni componente, all'interno dei nodi selezionati al momento della esecuzione del comando. Dato un insieme di nodi (quelli selezionati) il programma cerca, al variare delle combinazioni, quali siano le coppie di nodi e le combinazioni che massimizzano o minimizzano le componenti di spostamento relativo nelle tre direzioni e di rotazione attorno ai tre assi globali.

Nel caso particolare in cui siano selezionati solo due nodi, il programma dà gli inviluppi degli spostamenti relativi dei due nodi.

Il comando può essere utile, ad esempio, per verificare il valore di azioni assiali, o per verificare il livello di spostamenti relativi, ad esempio per situazioni di “gap” tra nodi di limitata entità.

### 3.9.1.9 Scala

#### COMANDO: Post-Deformata-Scala

[Ribbon-Post 1]



Questo comando consente di variare la scala degli spostamenti.

## 3.9.1.9.1 Moltiplicatore degli spostamenti (Dialogo)

**MOLTIPLICATORE DEGLI SPOSTAMENTI (DIALOGO)**

Questo dialogo chiede se usare o no la scala automatica degli spostamenti. Se non si sceglie di usarla verrà usata la scala specificata (x).

**3.9.2 Sforzi BT****3.9.2.1 Azione assiale****COMANDO: Post-Sforzi BT-Azione Assiale - Tx**

[Ribbon-Post 1]

**N Tx**

Questo comando fa vedere i diagrammi di azione assiale o la componente secondo l'asse x globale delle forze interne. Quale delle due cose dipende dal comando [Locale](#)<sup>1120</sup>.

La regola seguita per calcolare queste azioni è la seguente. Si immagini di rompere la trave nel punto di lettura: si hanno due pezzi e due facce libere. Le azioni interne sulle due facce sono eguali e contrarie e mettono in equilibrio entrambi i pezzi in cui si è divisa l'asta. *Il programma dà le azioni interne riferite alla terna locale o a quella globale, sulla faccia che appartiene al pezzo che ha in sé il primo estremo.*

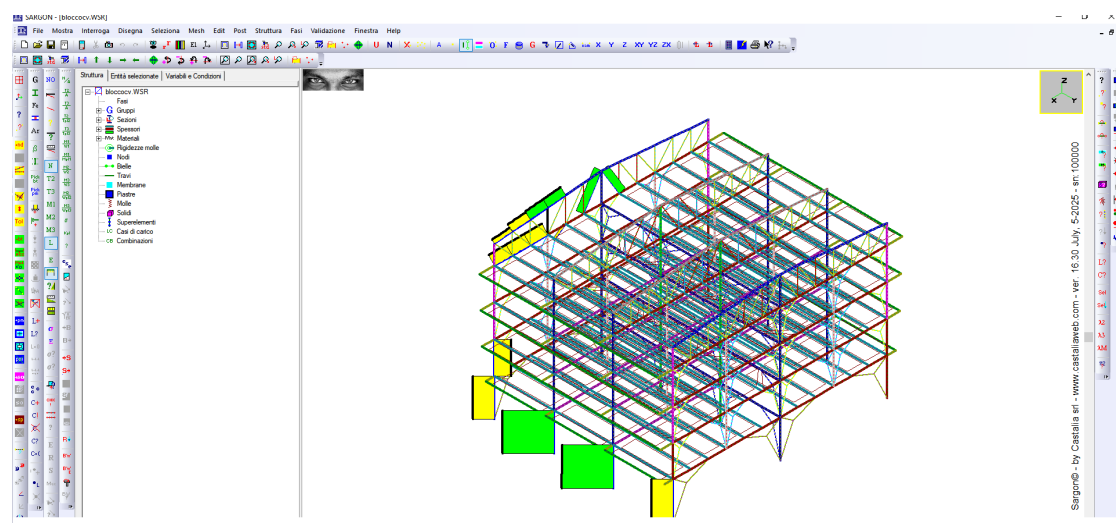
Per capire come sono dirette si applichi la terna locale per N, T2, T3, M1, M2, M3 o quella globale per Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz sulla faccia appartenente al pezzo che include il primo estremo dell'asta. Le azioni interne là applicate, quelle fornite dal programma, sono dirette come gli assi corrispondenti (N, T2, T3, M1, M2, M3 come gli assi 1, 2, 3, 1, 2, 3, locali; Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz come gli assi x, y, z, x, y, z globali) ed hanno segno positivo se equiverse con gli assi corrispondenti. Per esempio una N positiva è una trazione (infatti è diretta come l'asse 1 positivo sulla faccia che appartiene al pezzo che ha in sé il primo estremo).

Nota bene.

A partire dalla versione 16.30 il colore del diagramma è il seguente.

- 1) Se si usano le componenti globali, se il valore è positivo si usa il primo colore dei diagrammi, se è negativo il secondo.
- 2) Se si usano le componenti locali, e dunque è rappresentata la azione assiale il colore è lo stesso dello sfruttamento calcolato come  $|N|/(Af_y)$ . Ciò dà subito una idea della importanza, per quell'elemento, del valore della azione interna. Per distinguere il segno si deve osservare il bordo del diagramma. Se è inspessito il valore è negativo (compressione). Se no ha spessore sottile. Si veda la figura sottostante.

A partire dalla versione 16.40, con scelta da farsi mediante il comando [Post-Sforzi BT - Numero di sezioni](#)<sup>1131</sup> è possibile scegliere tra questa modalità di rappresentazione e quella a linee, la quale, non nascondendo completamente la immagine sottostante, è più adatta in presenza di strutture vaste e complesse.



### 3.9.2.2 Taglio 2

**COMANDO: Post-Sforzi BT-Taglio 2 - Ty**

**[Ribbon-Post 1]****T2 Ty**

Questo comando fa vedere i diagrammi di taglio T2 o la componente secondo l'asse y globale delle forze interne. Quale delle due cose dipende dal comando [Locale](#)<sup>[120]</sup>.

La regola seguita per calcolare queste azioni è la seguente. Si immagini di rompere la trave nel punto di lettura: si hanno due pezzi e due facce libere. Le azioni interne sulle due facce sono eguali e contrarie e mettono in equilibrio entrambi i pezzi in cui si è divisa l'asta. *Il programma dà le azioni interne riferite alla terna locale o a quella globale, sulla faccia che appartiene al pezzo che ha in sé il primo estremo.*

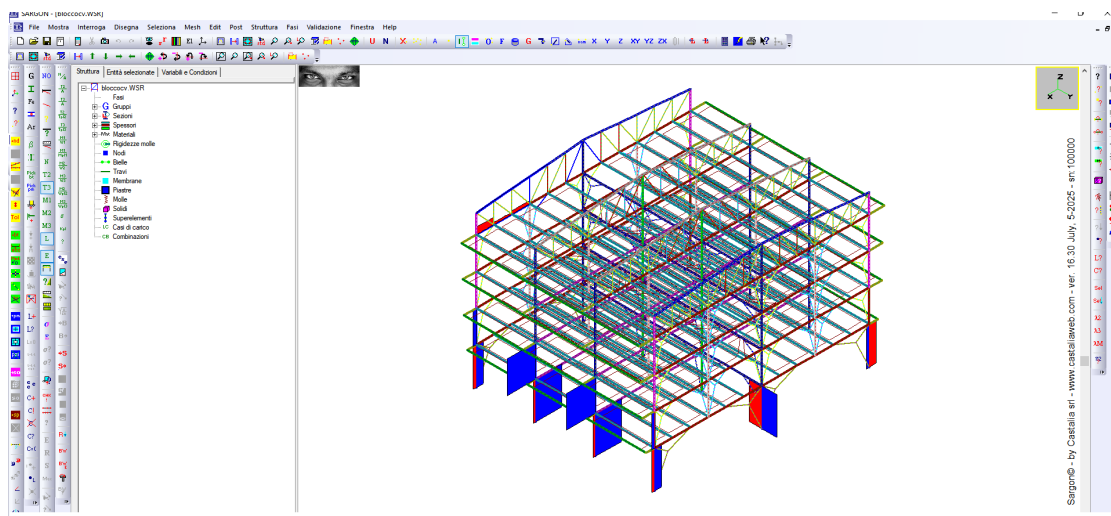
Per capire come sono dirette si applichi la terna locale per N, T2, T3, M1, M2, M3 o quella globale per Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz sulla faccia appartenente al pezzo che include il primo estremo dell'asta. Le azioni interne là applicate, quelle fornite dal programma, sono dirette come gli assi corrispondenti (N, T2, T3, M1, M2, M3 come gli assi 1, 2, 3, 1, 2, 3, locali; Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz come gli assi x, y, z, x, y, z globali) ed hanno segno positivo se equiverse con gli assi corrispondenti. Per esempio una N positiva è una trazione (infatti è diretta come l'asse 1 positivo sulla faccia che appartiene al pezzo che ha in sé il primo estremo).

Nota bene.

A partire dalla versione 16.30 il colore del diagramma è il seguente.

1) Se il valore è positivo si usa il primo colore dei diagrammi, se è negativo il secondo.





### 3.9.2.3 Taglio 3

#### COMANDO: Post-Sforzi BT-Taglio 3 - Tz

[Ribbon-Post 1]

**T3 Tz**

Questo comando fa vedere i diagrammi di taglio T3 o la componente secondo l'asse z globale delle forze interne. Quale delle due cose dipende dal comando [Locale](#) <sup>f120</sup>.

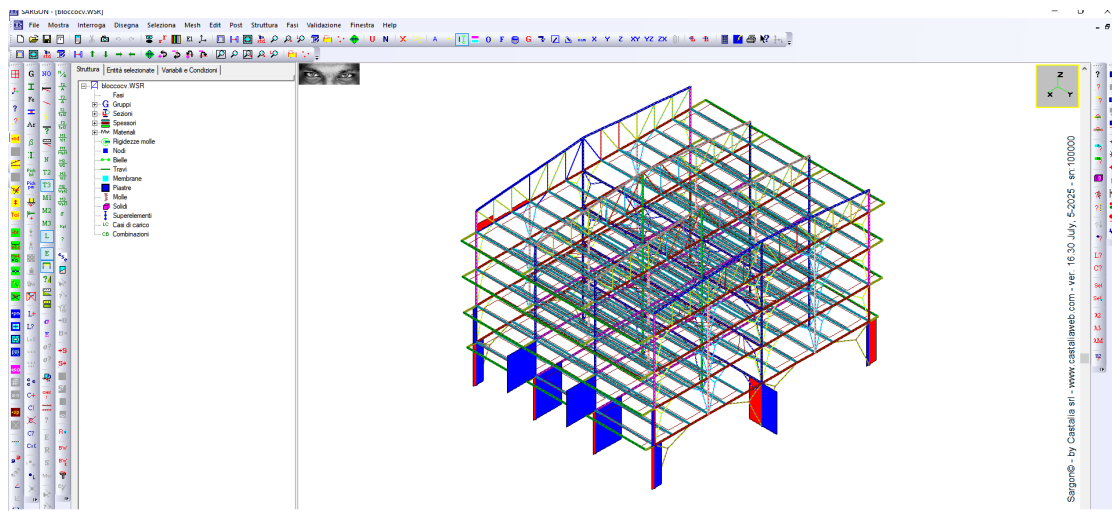
La regola seguita per calcolare queste azioni è la seguente. Si immagini di rompere la trave nel punto di lettura: si hanno due pezzi e due facce libere. Le azioni interne sulle due facce sono eguali e contrarie e mettono in equilibrio entrambi i pezzi in cui si è divisa l'asta. *Il programma dà le azioni interne riferite alla terna locale o a quella globale, sulla faccia che appartiene al pezzo che ha in sé il primo estremo.*

Per capire come sono dirette si applichi la terna locale per N, T2, T3, M1, M2, M3 o quella globale per Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz sulla faccia appartenente al pezzo che include il primo estremo dell'asta. Le azioni interne là applicate, quelle fornite dal programma, sono dirette come gli assi corrispondenti (N, T2, T3, M1, M2, M3 come gli assi 1, 2, 3, 1, 2, 3, locali; Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz come gli assi x, y, z, x, y, z globali) ed hanno segno positivo se equiverse con gli assi corrispondenti. Per esempio una N positiva è una trazione (infatti è diretta come l'asse 1 positivo sulla faccia che appartiene al pezzo che ha in sé il primo estremo).

Nota bene.

A partire dalla versione 16.30 il colore del diagramma è il seguente.

1) Se il valore è positivo si usa il primo colore dei diagrammi, se è negativo il secondo.



### 3.9.2.4 Momento Torcente

**COMANDO: Post-Sforzi BT-Momento Torcente -  $M_x$**

**[Ribbon-Post 1]**

**M1  $M_x$**

Questo comando fa vedere i diagrammi di momento torcente o la componente secondo l'asse x globale del momento interno all'asta. Quale delle due cose dipende dal comando [Locale](#)<sup>1120</sup>.

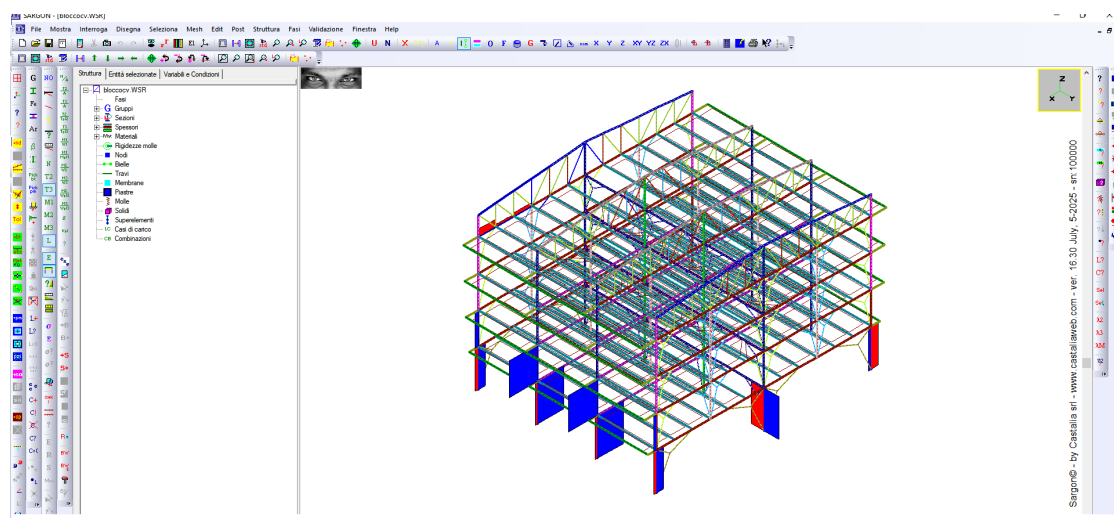
La regola seguita per calcolare queste azioni è la seguente. Si immagini di rompere la trave nel punto di lettura: si hanno due pezzi e due facce libere. Le azioni interne sulle due facce sono eguali e contrarie e mettono in equilibrio entrambi i pezzi in cui si è divisa l'asta. *Il programma dà le azioni interne riferite alla terna locale o a quella globale, sulla faccia che appartiene al pezzo che ha in sé il primo estremo.*

Per capire come sono dirette si applichi la terna locale per N, T2, T3, M1, M2, M3 o quella globale per Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz sulla faccia appartenente al pezzo che include il primo estremo dell'asta. Le azioni interne là applicate, quelle fornite dal programma, sono dirette come gli assi corrispondenti (N, T2, T3, M1, M2, M3 come gli assi 1, 2, 3, 1, 2, 3, locali; Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz come gli assi x, y, z, x, y, z globali) ed hanno segno positivo se equiverse con gli assi corrispondenti. Per esempio una N positiva è una trazione (infatti è diretta come l'asse 1 positivo sulla faccia che appartiene al pezzo che ha in sé il primo estremo).

Nota bene.

A partire dalla versione 16.30 il colore del diagramma è il seguente.

1) Se il valore è positivo si usa il primo colore dei diagrammi, se è negativo il secondo.



### 3.9.2.5 Momento 2

**COMANDO: Post-Sforzi BT-Momento 2 - My**

**[Ribbon-Post 1]**

**M2 My**

Questo comando fa vedere i diagrammi di momento M2 o la componente secondo l'asse y globale del momento interno all'asta. Quale delle due cose dipende dal comando [Locale](#)<sup>[120]</sup>.

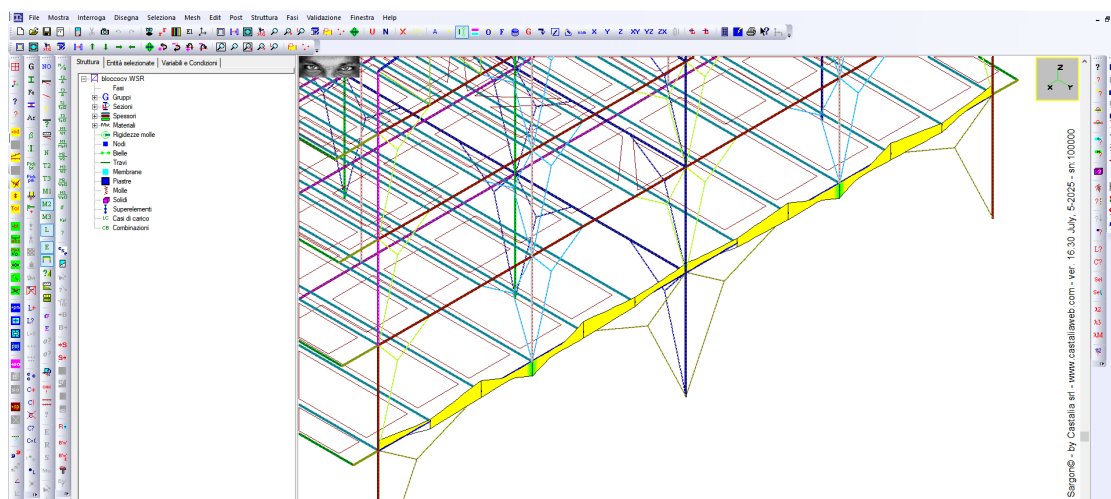
La regola seguita per calcolare queste azioni è la seguente. Si immagini di rompere la trave nel punto di lettura: si hanno due pezzi e due facce libere. Le azioni interne sulle due facce sono eguali e contrarie e mettono in equilibrio entrambi i pezzi in cui si è divisa l'asta. *Il programma dà le azioni interne riferite alla terna locale o a quella globale, sulla faccia che appartiene al pezzo che ha in sé il primo estremo.*

Per capire come sono dirette si applichi la terna locale per N, T2, T3, M1, M2, M3 o quella globale per Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz sulla faccia appartenente al pezzo che include il primo estremo dell'asta. Le azioni interne là applicate, quelle fornite dal programma, sono dirette come gli assi corrispondenti (N, T2, T3, M1, M2, M3 come gli assi 1, 2, 3, 1, 2, 3, locali; Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz come gli assi x, y, z, x, y, z globali) ed hanno segno positivo se equiverse con gli assi corrispondenti. Per esempio una N positiva è una trazione (infatti è diretta come l'asse 1 positivo sulla faccia che appartiene al pezzo che ha in sé il primo estremo).

Nota bene.

A partire dalla versione 16.30 il colore del diagramma è il seguente.

- 1) Se si usano le componenti globali, se il valore è positivo si usa il primo colore dei diagrammi, se è negativo il secondo.
- 2) Se si usano le componenti locali, e dunque è rappresentatop il momento flettente secondo un asse principale il colore è lo stesso dello sfruttamento calcolato come  $|M_2|/(W_{2,el} f_y)$ . Ciò dà subito una idea della importanza, per quell'elemento, del valore della azione interna. Per distinguere il segno si deve osservare da che parte è diagrammato il valore della azione interna: esso è sempre riportato dalla parte delle fibre tese. Si veda la figura successiva (involuppo):



### 3.9.2.6 Momento 3

#### COMANDO: Post-Sforzi BT-Momento 3 - Mz

[Ribbon-Post 1]

**M3 Mz**

Questo comando fa vedere i diagrammi di momento M3 o la componente secondo l'asse z globale del momento interno all'asta. Quale delle due cose dipende dal comando [Locale](#)<sup>[120]</sup>.

La regola seguita per calcolare queste azioni è la seguente. Si immagini di rompere la trave nel punto di lettura: si hanno due pezzi e due facce libere. Le azioni interne sulle due facce sono eguali e contrarie e mettono in equilibrio entrambi i pezzi in cui si è divisa l'asta. *Il programma dà le azioni interne riferite alla terna locale o a quella globale, sulla faccia che appartiene al pezzo che ha in sé il primo estremo.*

Per capire come sono dirette si applichi la terna locale per N, T2, T3, M1, M2, M3 o quella globale per Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz sulla faccia appartenente al pezzo che include il primo estremo dell'asta. Le azioni interne là applicate, quelle fornite dal programma, sono dirette come gli assi corrispondenti (N, T2, T3, M1, M2, M3 come gli assi 1, 2, 3, 1, 2, 3, locali; Fx, Fy, Fz, Mx, My, Mz come gli assi x, y, z, x, y, z globali) ed hanno segno positivo se equiverse con gli assi corrispondenti. Per esempio una N positiva è una trazione (infatti è

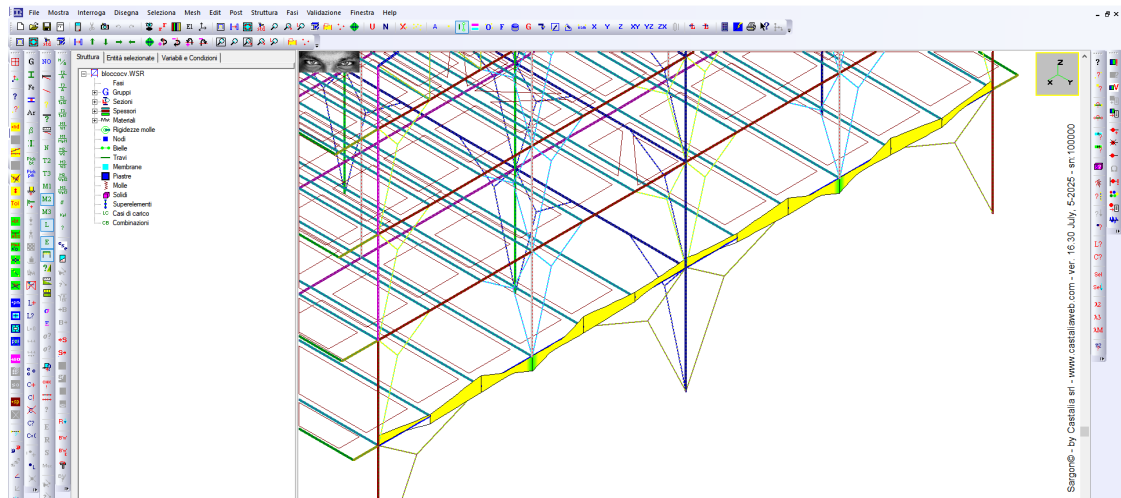
diretta come l'asse 1 positivo sulla faccia che appartiene al pezzo che ha in sé il primo estremo).

Nota bene.

A partire dalla versione 16.30 il colore del diagramma è il seguente.

1) Se si usano le componenti globali, se il valore è positivo si usa il primo colore dei diagrammi, se è negativo il secondo.

2) Se si usano le componenti locali, e dunque è rappresentato il momento flettente secondo un asse principale il colore è lo stesso dello sfruttamento calcolato come  $|M_3|/(W_{3,el}f_y)$ . Ciò dà subito una idea della importanza, per quell'elemento, del valore della azione interna. Per distinguere il segno si deve osservare da che parte è diagrammato il valore della azione interna: esso è sempre riportato dalla parte delle fibre tese. Si veda la figura successiva (involuppo):



### 3.9.2.7 Locale

#### COMANDO: Post-Sforzi BT-Locale

[Ribbon-Post 1]



Questo comando attiva o disattiva la rappresentazione locale delle azioni interne degli elementi. Se il flag è attivo (compare un segno di spunta ed il pulsante “L” nella barra POST è

abbassato) le azioni interne verranno mostrate nel riferimento locale, ed i comandi di interrogazione si riferiscono alle azioni interne nel sistema locale. Se il flag è disattivato (manca il segno di spunta ed il bottone è alzato) allora le azioni interne verranno rappresentate ed interrogate nel sistema globale.

Nell'intento di rendere più immediatamente comprensibile il senso dei diagrammi, è stata dunque aggiunta la possibilità di mostrare il diagramma delle azioni interne nel riferimento globale. In pratica le azioni interne vengono composte per dare le azioni dirette secondo l'asse X, Y, Z. Le azioni risultanti coincidono con quelle interne solo se le due terne (quella locale e quella globale) hanno gli assi ordinatamente paralleli, per esempio se l'asse 2 è parallelo all'asse Y,  $MY=M2$ , mentre se l'asse 1 coincide con l'asse Z,  $MZ=M1$ , e così via.

Se le terne non si corrispondono in qualche modo le azioni globali non rappresentano fisicamente azioni taglianti, flettenti, assiali o torsionali, bensì una certa composizione vettoriale degli stessi.

Il comando è utile quando interessa conoscere, indipendentemente dalla orientazione locale, una certa componente globale della sollecitazione.

Se ad esempio per una trave l' $M2$  è un  $MY$ , e per un'altra è l' $M3$  ad essere  $MY$ , ora si possono vedere contemporaneamente i due diagrammi semplicemente chiedendo "MY".

I comandi che attivano questi diagrammi sono gli stessi che attivano i diagrammi locali. I comandi in questione cambiano il loro funzionamento sulla base di un nuovo pulsante che è stato aggiunto alla barra post: questo pulsante "L" (locale) serve a stabilire se i diagrammi sono locali (pulsante premuto) o globali (pulsante sollevato). Quando il pulsante è sollevato anziché N, T2, T3, M1, M2, M3 sui pulsanti soliti compaiono le sigle Tx, Ty, Tz, Mx, My, Mz.

### 3.9.2.8 Interroga azioni interne

#### COMANDO: Post-Sforzi BT-Interroga Azioni Interne

[Ribbon-Post 1]



Questo comando dà informazioni sul valore delle azioni interne degli elementi, agli estremi ed all'interno degli elementi stessi. Si riferisce al caso o alla combinazione attiva.

#### 3.9.2.8.1 Travi o bielle? (Dialogo)

### TRAVI O BIELLE? (DIALOGO)

Questo dialogo chiede se riferirsi alle travi o alle bielle.

#### 3.9.2.8.1.1 Azioni interne (Dialogo)

### AZIONI INTERNE (DIALOGO)

Questo dialogo dà:

- il numero dell'elemento beam o trave scelto (indicato dal pallino rosso);
- il punto interno all'elemento corrispondente alla posizione del cursore (  $x$  e  $cs$ );
- le sei azioni interne nel sistema locale (nel caso delle bielle tutti i campi sono nulli eccetto l'azione assiale)

#### 3.9.2.8.1.2 Involuppo azioni interne (Dialogo)

### INVILUPPO AZIONI INTERNE (DIALOGO)

Questo dialogo dà gli involuppi delle azioni interne sulla trave (numero  $n$ ) prescelta.

#### 3.9.2.9 Scala

### COMANDO: Post-Sforzi BT-Scala

[Ribbon-Post 1]





Questo comando consente di variare la scala dei diagrammi.

#### 3.9.2.9.1 Scala dei diagrammi (Dialogo)

### SCALA DEI DIAGRAMMI (DIALOGO)

Questo dialogo chiede se occorre usare la scala automatica oppure no. Se no, farà corrispondere ai cm indicati le unità indicate.

#### 3.9.2.10 Selezionati

### COMANDO: Post-Sforzi BT-Selezionati

[Ribbon-Post 1]



Questo comando fa vedere i diagrammi sui soli elementi selezionati. E' un flag.

#### 3.9.2.11 N/A

### COMANDO: Post-Sforzi BT-N/A

[Ribbon-Post 1]



Sforzi assiali con segno. Questo comando mostra la mappa a colori con gli sforzi corrispondenti. Il comando funziona anche in modalità involuppo (così come i diagrammi) ed è sensibile al numero di sezioni indicate per campionare i diagrammi. Se ci sono elementi estratti, la mappa si vedrà solo su quelli.

**3.9.2.12 T2/A****COMANDO: Post-Sforzi BT-T2/A****[Ribbon-Post 1]**

$$\frac{T2}{A}$$

Indicatore di sforzo relativo al taglio T2, con segno. Questo comando mostra la mappa a colori con gli sforzi corrispondenti. Il comando funziona anche in modalità involuppo (così come i diagrammi) ed è sensibile al numero di sezioni indicate per campionare i diagrammi. Se ci sono elementi estratti, la mappa si vedrà solo su quelli.

Questo indicatore funziona ovviamente con qualsiasi forma sezionale. Estraendo gli elementi con filtro sul tipo sezionale e evidenziando gli involuppi è facile dare un limite superiore ed inferiore alla tensione tangenziale effettiva, che risulterà pari all'indicatore per un opportuno fattore costante. Il comando risulta così utile per eseguire verifiche semplificate che aiutino a fare cross-checks con quanto realizzato, in modo più preciso, dai verificatori.

**3.9.2.13 T3/A****COMANDO: Post-Sforzi BT-T3/A****[Ribbon-Post 1]**

$$\frac{T3}{A}$$

Indicatore di sforzo relativo al taglio T3, con segno. Questo comando mostra la mappa a colori con gli sforzi corrispondenti. Il comando funziona anche in modalità involuppo (così come i diagrammi) ed è sensibile al numero di sezioni indicate per campionare i diagrammi. Se ci sono elementi estratti, la mappa si vedrà solo su quelli.

Questo indicatore funziona ovviamente con qualsiasi forma sezionale. Estraendo gli elementi con filtro sul tipo sezionale e evidenziando gli involuppi è facile dare un limite superiore ed inferiore alla tensione tangenziale effettiva, che risulterà pari all'indicatore per un opportuno fattore costante. Il comando risulta così utile per eseguire verifiche semplificate che aiutino a fare cross-checks con quanto realizzato, in modo più preciso, dai verificatori.

### 3.9.2.14 T2/Tpl2

#### COMANDO: Post-Sforzi BT-T2/Tpl2

[Ribbon-Post 1]

$\frac{T2}{Tpl2}$

Sfruttamento plastico semplificato relativo al taglio T2. Questo comando mostra la mappa a colori con gli sforzi corrispondenti. Il comando funziona anche in modalità involuppo (così come i diagrammi) ed è sensibile al numero di sezioni indicate per campionare i diagrammi. Se ci sono elementi estratti, la mappa si vedrà solo su quelli.

Nel caso della maggior parte dei profili si usa un taglio limite coerente con Eurocodice 3. In altri casi un taglio limite semplificato. In altri casi ancora si usa convenzionalmente un'area resistente a taglio pari alla metà dell'area totale.

Eurocodice 3: Hsm, Ipn, O, Rhs, Thsm, Usm

Area resistente a taglio pari alla metà di quella totale: Composed, Generiche, Lcf, Lsh, L2CR, Poli, Zcf

Semplificata basata sulla direzione dei piatti: Hsh, Ush, Tsh, Tsm, Osh, Lsm, L2T, L4CR, Ucf, Omcf, Psh

### 3.9.2.15 T3/Tpl3

#### COMANDO: Post-Sforzi BT-T3/Tpl3

[Ribbon-Post 1]

$\frac{T2}{Tpl3}$

Sfruttamento plastico semplificato relativo al taglio T3. Questo comando mostra la mappa a colori con gli sforzi corrispondenti. Il comando funziona anche in modalità involuppo

(così come i diagrammi) ed è sensibile al numero di sezioni indicate per campionare i diagrammi. Se ci sono elementi estratti, la mappa si vedrà solo su quelli.

Nel caso della maggior parte dei profili si usa un taglio limite coerente con Eurocodice 3. In altri casi un taglio limite semplificato. In altri casi ancora si usa convenzionalmente un'area resistente a taglio pari alla metà dell'area totale.

Eurocodice 3: Hsm, Ipn, O, Rhs, Thsm, Usm

Area resistente a taglio pari alla metà di quella totale: Composed, Generiche, Lcf, Lsh, L2CR, Poli, Zcf

Semplificata basata sulla direzione dei piatti: Hsh, Ush, Tsh, Tsm, Osh, Lsm, L2T, L4CR, Ucf, Omcf, Psh

### 3.9.2.16 M1/W1

**COMANDO: Post-Sforzi BT-M1/W1**

**[Ribbon-Post 1]**

**M1**  
**W1**

Indicatore di sforzo relativo al momento torcente M1. Questo comando mostra la mappa a colori con gli sforzi corrispondenti. Il comando funziona anche in modalità involuppo (così come i diagrammi) ed è sensibile al numero di sezioni indicate per campionare i diagrammi. Se ci sono elementi estratti, la mappa si vedrà solo su quelli.

Normalmente (sezioni aperte composte da piatti in parete sottile) viene usato come W1 il valore  $J_t/t_{max}$ . Per i tondi pieni si usa  $J_p/r$ . Per le sezioni chiuse in parete sottile (tubi, Rhs, Osh) si usa la formula di Bredt. Per altre sezioni il W1 non è definito. Esse sono:

Sezioni composte, composte da poligonali, e generiche.

### 3.9.2.17 M1/Mpl1

**COMANDO: Post-Sforzi BT-M1/Mpl1**

**[Ribbon-Post 1]**

$$\frac{M1}{Wp11}$$

Sfruttamento plastico elementare relativo al momento torcenteo M1. Questo comando mostra la mappa a colori con gli sforzi corrispondenti. Il comando funziona anche in modalità involuppo (così come i diagrammi) ed è sensibile al numero di sezioni indicate per campionare i diagrammi. Se ci sono elementi estratti, la mappa si vedrà solo su quelli.

Normalmente (sezioni aperte composte da piatti in parete sottile) viene usato come Wp11 il valore  $1,5Jt/t_{max}$ . Per i tondi pieni si usa  $1,5Jp/r$ . Per le sezioni chiuse in parete sottile (tubi, Rhs, Osh) si usa la formula di Bredt (con  $Wp11 = W1$ ). Per altre sezioni il Wp11 non è definito. Esse sono:

Sezioni composte, composte da poligonali, e generiche.

### 3.9.2.18 M2/W2

**COMANDO: Post-Sforzi BT-M2/W2**

**[Ribbon-Post 1]**

$$\frac{M2}{W2}$$

Massimi sforzi flessionali con segno. Questo comando mostra la mappa a colori con gli sforzi corrispondenti. Il comando funziona anche in modalità involuppo (così come i diagrammi) ed è sensibile al numero di sezioni indicate per campionare i diagrammi. Se ci sono elementi estratti, la mappa si vedrà solo su quelli.

### 3.9.2.19 M3/W3

**COMANDO: Post-Sforzi BT-M3/W3**

**[Ribbon-Post 1]**

$$\frac{M3}{W3}$$

Massimi sforzi flessionali con segno. Questo comando mostra la mappa a colori con gli sforzi corrispondenti. Il comando funziona anche in modalità involuppo (così come i diagrammi) ed è sensibile al numero di sezioni indicate per campionare i diagrammi. Se ci sono elementi estratti, la mappa si vedrà solo su quelli.

#### 3.9.2.20 M2/Wpl2

##### **COMANDO: Post-Sforzi BT-M2/Wpl2**

**[Ribbon-Post 1]**

M2  
Wpl2

Tensione di snervamento corrispondente alla piena plasticizzazione con il momento di calcolo. Questo comando mostra la mappa a colori con gli sforzi corrispondenti. Il comando funziona anche in modalità involuppo (così come i diagrammi) ed è sensibile al numero di sezioni indicate per campionare i diagrammi. Se ci sono elementi estratti, la mappa si vedrà solo su quelli.

#### 3.9.2.21 M3/Wpl3

##### **COMANDO: Post-Sforzi BT-M3/Wpl3**

**[Ribbon-Post 1]**

M3  
Wpl3

Tensione di snervamento corrispondente alla piena plasticizzazione con il momento di calcolo. Questo comando mostra la mappa a colori con gli sforzi corrispondenti. Il comando funziona anche in modalità involuppo (così come i diagrammi) ed è sensibile al numero di sezioni indicate per campionare i diagrammi. Se ci sono elementi estratti, la mappa si vedrà solo su quelli.

### 3.9.2.22 $|N/A|+|M2/W2|+|M3/W3|$

**COMANDO: Post-Sforzi BT- $|N/A|+|M2/W2|+|M3/W3|$**

**[Ribbon-Post 1]**



Tensione normale semplificata. Per i tubi e i profili circolari pieni la formula adottata è la seguente:  $|N/A|+|M/W|$  essendo M la risultante dei momenti flettenti applicati. Per i profili non doppiamente simmetrici la formula porta in generale ad una sovrastima della tensione massima. Questo comando mostra la mappa a colori con gli sforzi corrispondenti. Il comando funziona anche in modalità inviluppo (così come i diagrammi) ed è sensibile al numero di sezioni indicate per campionare i diagrammi. Se ci sono elementi estratti, la mappa si vedrà solo su quelli.

### 3.9.2.23 $|N/Npl|+|M2/Mpl2|+|M3/Mpl3|$

**COMANDO: Post-Sforzi BT- $|N/Npl|+|M2/Mpl2|+|M3/Mpl3|$**

**[Ribbon-Post 1]**



Sfruttamento plastico semplificato. Il valore è in genere una sovrastima. I limiti plastici sono calcolati usando  $f_y$  senza alcun coefficiente correttivo. Questo comando mostra la mappa a colori con gli sfruttamenti corrispondenti. Il comando funziona anche in modalità inviluppo (così come i diagrammi) ed è sensibile al numero di sezioni indicate per campionare i diagrammi. Se ci sono elementi estratti, la mappa si vedrà solo su quelli.

### 3.9.2.24 Interroga sforzi

**COMANDO: Post-Sforzi BT-Interroga sforzi**

**[Ribbon-Post 1]**

Questo comando consente di interrogare il programma sui valori degli sforzi interni agli elementi. Il comando funziona sia con gli sforzi del caso o della combinazione attiva, sia con gli sforzi di inviluppo. Nei due casi vengono attivati dialoghi diversi. Il comando funziona anche in modalità inviluppo (così come i diagrammi) ed è sensibile al numero di sezioni indicate per campionare i diagrammi. Se ci sono elementi estratti, la mappa si vedrà solo su quelli.

**3.9.2.25 Inviluppo****COMANDO: Post-Sforzi BT-Inviluppo****[Ribbon-Post 1]**

Questo comando fa vedere gli inviluppi del diagramma richiesto al variare delle combinazioni, o l'inviluppo dello sforzo richiesto al variare delle combinazioni.

**3.9.2.26 Inviluppo dell'inviluppo****COMANDO: Post-Sforzi BT-Inviluppo dell'inviluppo****[Ribbon-Post 1]**

Questo comando dà una tabella con i valori massimi e minimi delle sollecitazioni al variare delle combinazioni ed al variare delle aste selezionate. E' un comando utilissimo per il predimensionamento dei collegamenti: basta selezionare aste affini per avere le azioni utili per il dimensionamento dei collegamenti (a meno di ulteriori fattori amplificativi di progetto).



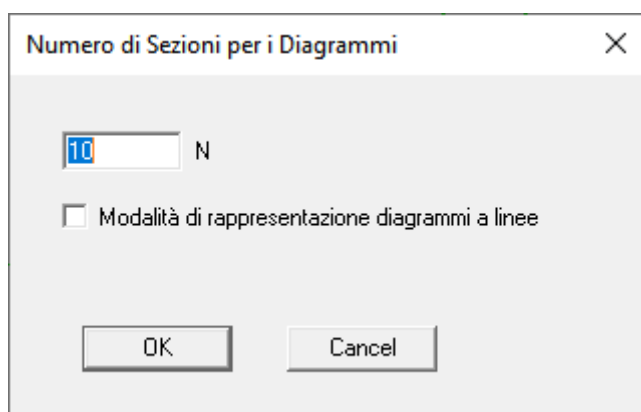
### 3.9.2.27 Numero sezioni

#### COMANDO: Post-Sforzi BT-Numero sezioni

[Ribbon-Post 1]



Questo comando fa variare il numero di sezioni con il quale campionare i diagrammi o gli sforzi interni agli elementi. Il numero [qui](#)<sup>[131]</sup> specificato ha influenza anche sul file stampato da Sargon: la campionatura dei diagrammi qui definita è presente anche nel file di stampa.



A partire dalla versione 16.40, il comando serve anche per scegliere tra la rappresentazione dei diagrammi con campitura colorata piena, e la rappresentazione a linee. La scelta, con il comando [File-Salva Configurazione](#)<sup>[614]</sup>, può essere resa definitiva.

#### 3.9.2.27.1 Numero di sezioni per i diagrammi (Dialogo)

#### NUMERO DI SEZIONI PER I DIAGRAMMI (DIALOGO)

I diagrammi possono essere rappresentati più o meno fitti.

Questo dialogo chiede in quante sezioni dell'elemento campionare i diagrammi.

### 3.9.3 Sforzi PM e SO

#### 3.9.3.1 Sforzi...

##### COMANDO: Post-Sforzi PM e SO-Sforzi

[Ribbon-Post 1]



Questo comando attiva una modalità di visualizzazione che mostra gli elementi bidimensionali e tridimensionali colorati con bande di colore variabili a seconda della intensità della quantità che si è deciso di vedere. Per una discussione sul modo usato dal programma per rendere queste informazioni si veda [Sforzi in Piastre Membrane e Solidi](#)<sup>[321]</sup>.

Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[1132]</sup> che consente di scegliere che componente di sforzo vedere e con quale criterio.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** vista

##### 3.9.3.1.1 Scelta sforzi, invarianti e modalità di rappresentazione (Dialogo)

### SCELTA SFORZI, INVARIANTI E MODALITÀ DI RAPPRESENTAZIONE (DIALOGO)

Questo dialogo serve a scegliere lo sforzo da rappresentare ed il modo in cui rappresentarlo. Serve anche a scegliere di vedere gli scarti quadratici medi nodali in modo da avere una stima della precisione della analisi.

Il dialogo è diviso in sei sezioni: **invarianti, tensore di riferimento globale, tensore riferimento locale, sforzi piastra, modalità piastre e accuratezza.**

Le prime quattro sezioni servono a scegliere lo sforzo da visualizzare, mentre le ultime due decidono come visualizzarlo.

Il significato sei simboli contenuti nei primi quattro riquadri è chiaro. Le quantità  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  sono rispettivamente il primo, il secondo ed il terzo invariante del tensore degli sforzi.

Negli "sforzi piastra" sono elencati sia gli sforzi nel sistema di riferimento locale ( $m_{11}$ ,  $m_{22}$ ,  $m_{12}$ ,  $v_{33}$ ) che quelli del riferimento globale ( $m_{xx}$ ,  $m_{yy}$ ,  $m_{zz}$ ,  $m_{xy}$ ,  $m_{yz}$ ,  $m_{zx}$ ). I tagli di piastra non sono presentemente resi dal programma in quanto l'elemento DKT non fornisce tale informazione. Il momento  $m_{xx}$  è positivo se genera una tensione normale  $\sigma_{xx}$  positiva (trazione) sulla faccia superiore della piastra. Analogamente, il momento  $m_{11}$  è positivo se genera una tensione normale  $\sigma_{11}$  positiva sulla faccia superiore della piastra. Analogamente per  $m_{22}$ ,  $m_{yy}$ ,  $m_{zz}$ . Il momento  $m_{12}$  è positivo se genera una  $\tau_{12}$  positiva sulla faccia superiore. Non è detto che la faccia superiore sia quella visibile. Le tensioni sono positive se di trazione.

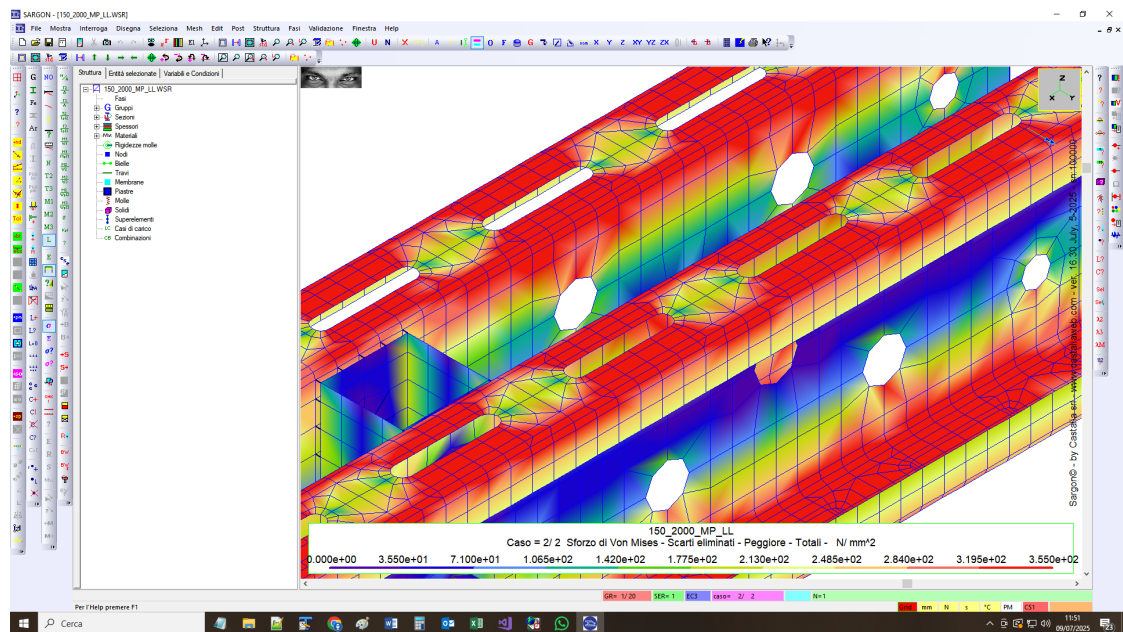
La **deformazione plastica equivalente** è una misura del grado di plasticizzazione ed è calcolata solo per analisi di tipo non lineare. Se si prende un valore costante e prefissato come valore massimo, il superamento di questo valore può essere fatto coincidere con la crisi. L'Eurocodice 3 stabilisce una soglia pari al 5%.

Il quinto riquadro è dedicato agli elementi piastra. In esso sono presenti dei controlli che consentono di scegliere quale sia la faccia sulla quale calcolare lo sforzo (**visibile**, **nascosta**, **piano medio**, **peggiore**), se quella peggiore (come avviene per default) o quella visibile o quella nascosta. E' inoltre possibile depurare il tensore della parte flessionale o di quella membranale (**totali**, **membranali**, **flessionali**).

Il sesto riquadro, molto importante, serve a stabilire la precisione del calcolo degli sforzi. Attivando l'opzione **elimina scarti** si fa un *global smoothing* eseguendo, su ogni nodo, la media dei valori calcolati dai vari elementi attaccati a quel nodo. Questa opzione è tanto potente ed utile quanto pericolosa (si veda [Sforzi in Piastre e Membrane](#)<sup>[321]</sup>). Attivando l'opzione **entità scarti** ciò che verrà rappresentato è lo scarto quadratico medio dello sforzo richiesto, diagrammato usando le stesse funzioni interpolanti impiegate per gli sforzi stessi. A partire dal valore calcolato ai nodi si genera una mappa in falsi colori che dà un'idea delle zone a minor precisione.

Il flag **Se Von Mises adimensionale**, serve a rappresentare un numero puro dato dal rapporto tra la tensione di Von Mises e la tensione di snervamento. Tale flag è utile in specie quando vi sono diversi materiali, aventi diversi livelli di snervamento.

Per una discussione sul modo usato dal programma per rendere queste informazioni, e sul significato delle varie procedure si veda [Sforzi in Piastre e Membrane](#)<sup>[321]</sup>.



**Sforzo di Von Mises di una analisi in NL di materiale e materiale perfettamente plastico.  
Distribuzione limite.**

### 3.9.3.2 Inviluppo

#### COMANDO: Post-Sforzi PM e SO-Inviluppo

[Ribbon-Post 1]



Questo comando gestisce un flag che può essere attivo o meno. Se il flag è attivo allora le mappe degli sforzi ed i comandi di interrogazione, sempre relativi agli sforzi di piastre, membrane ed elementi solidi, saranno riferiti agli inviluppi al variare delle combinazioni. Se

invece il flag non è attivo, i comandi di rappresentazione delle mappe e di interrogazione si riferiranno al caso di carico o alla combinazione attiva.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista

### 3.9.3.3 Interroga PM

#### COMANDO: Post-Sforzi PM e SO-Interroga PM

[Ribbon-Post 1]



Questo comando attiva la interrogazione degli elementi piastra e membrana sugli sforzi in essi presenti. Per poter eseguire il comando è necessario che sia stato fatto il solving e che sia attiva una modalità di visualizzazione che rappresenta una delle componenti di sforzo degli elementi (comando [Sforzi](#)<sup>[1132]</sup>). Appena eseguito si entra in una fase non modale per cui, muovendo il mouse si passa da elemento ad elemento. Il comando dà accesso a informazioni diverse a seconda che il flag [Inviluppo](#)<sup>[1134]</sup> sia attivo o meno. Un opportuno [dialogo](#)<sup>[1135]</sup> (o [dialogo](#)<sup>[1136]</sup> se è attivo l'inviluppo) mostra, per l'elemento prescelto il valore della quantità correntemente rappresentata a video per ogni nodo. Per una discussione sul modo usato dal programma per rendere queste informazioni si veda [Sforzi in Piastre e Membrane](#)<sup>[321]</sup>.

**Tipo:** non modale

**Destinazione:** vista

#### 3.9.3.3.1 Sforzi piastre/membrane (Dialogo)

#### SFORZI PIASTRE/MEMBRANE (DIALOGO)

Questo dialogo serve a dare informazioni sugli sforzi ai nodi dell'elemento correntemente prescelto. Dell'elemento vengono dati: il suo numero, il suo tipo (piastra o

membrana), il numero dei suoi nodi, per ciascuno dei nodi il valore dello sforzo correntemente visualizzato nella unità attiva.

Per una discussione sul modo usato dal programma per rendere queste informazioni si veda [Sforzi in PIAstre e Membrane](#)<sup>[321]</sup>.

#### 3.9.3.3.2 Inviluppo sforzi (piastre/membrane) (Dialogo)

### INVILUPPO SFORZI: PIASTRE/MEMBRANE (DIALOGO)

Questo dialogo serve a dare informazioni sugli sforzi di inviluppo ai nodi dell'elemento correntemente prescelto. Dell'elemento vengono dati: il suo numero, il suo tipo (piastra o membrana), il numero dei suoi nodi, per ciascuno dei nodi il valore dello sforzo di inviluppo correntemente visualizzato nella unità attiva e la combinazione in cui si verifica.

Per una discussione sul modo usato dal programma per rendere queste informazioni si veda [Sforzi in PIAstre e Membrane](#)<sup>[321]</sup>.

#### 3.9.3.4 Interroga SO

### COMANDO: Post-Sforzi PM e SO-Interroga SO

[Ribbon-Post 1]



Questo comando attiva la interrogazione degli elementi solidi sugli sforzi in essi presenti. Per poter eseguire il comando è necessario che sia stato fatto il solving e che sia attiva una modalità di visualizzazione che rappresenta una delle componenti di sforzo degli elementi (comando [Sforzi](#)<sup>[1132]</sup>). Appena eseguito si entra in una fase non modale per cui, muovendo il mouse si passa da elemento ad elemento. Il comando dà accesso a informazioni diverse a seconda che il flag [Inviluppo](#)<sup>[1134]</sup> sia attivo o meno. Un opportuno [dialogo](#)<sup>[1137]</sup> (o [dialogo](#)<sup>[1137]</sup> se è attivo l'inviluppo) mostra, per l'elemento prescelto il valore della quantità correntemente rappresentata a video per ogni nodo. Per una discussione sul modo usato dal programma per rendere queste informazioni si veda [Sforzi in PIAstre Membrane e Solidi](#)<sup>[321]</sup>.

**Tipo:** non modale

**Destinazione:** vista

#### 3.9.3.4.1 Sforzi: solidi (Dialogo)

### **SFORZI: SOLIDI (DIALOGO)**

Questo dialogo riporta, nelle unità di misura attive, il valore dello sforzo in ciascun nodo dell'elemento correntemente selezionato. Lo sforzo indicato è quello attualmente visibile a schermo (quello richiesto: Von Mises, principale, o componente del tensore, ecc.).

Ad una riga contenente i numeri di nodo segue una riga contenente il valore degli sforzi in quel nodo.

#### 3.9.3.4.2 Involuppo sforzi: solidi (Dialogo)

### **INVILUPPO SFORZI: SOLIDI (DIALOGO)**

Questo dialogo riporta, nelle unità di misura attive, il valore dello sforzo di involuppo in ciascun nodo dell'elemento correntemente selezionato, e la combinazione in cui si verifica. Lo sforzo indicato è quello attualmente visibile a schermo (quello richiesto: Von Mises, principale, o componente del tensore, ecc.).

Ad una riga contenente i numeri di nodo segue una riga contenente il valore degli sforzi di involuppo in quel nodo ed una riga contenente il numero della combinazione in cui si verifica l'involuppo. Il primo gruppo di tre righe si riferisce ai primi quattro nodi, il secondo gruppo ai successivi quattro nodi (se presenti).

## **3.9.4 Snervamento PM**

**COMANDO: Post-Sforzi PM e SO-Snervamento PM**

**[Ribbon-Post 1]**



Questo comando dà un report sulla ampiezza delle zone plasticizzate. Si considerano solo gli elementi piastra e membrana, e l'involuppo non regolarizzato dello sforzo di Von Mises. Per le piastre, viene letto lo sforzo di Von Mises sulle due facce esterne e sul piano medio, dove nel caso di piastra spessa il valore della tensione tangenziale dovuta al taglio, è massimo.

In pratica, utilizzando delle interpolazioni lineari, viene valutata la superficie nella quale la tensione di Von Mises supera quella di snervamento. La misura è utile per stabilire se eventuali superamenti della tensione di snervamento si riferiscono solo a zone molto localizzate e quindi possono essere considerati trascurabili a causa della redistribuzione plastica. Se sono presenti dei gruppi, il comando dà le informazioni anche gruppo per gruppo.

Il testo può essere copiato e incollato. Un esempio è il seguente:

YIELDED SURFACE OF THE MODEL (PLATE AND MEMBRANES ONLY, ENVELOPE, UNSMOOTHED)

```
Group:P1   VM,min = 1.573e-002 (kip/ in²) VM,max = 1.381e+001 (kip/ in²) Expl,max =      0.38
YieldedSurf = 0.000e+000 ( in²)
Group:P2   VM,min = 1.490e-005 (kip/ in²) VM,max = 2.854e+001 (kip/ in²) Expl,max =      0.79
YieldedSurf = 0.000e+000 ( in²)
Group:P3   VM,min = 9.534e-003 (kip/ in²) VM,max = 8.362e+000 (kip/ in²) Expl,max =      0.23
YieldedSurf = 0.000e+000 ( in²)
Group:P4   VM,min = 1.103e-002 (kip/ in²) VM,max = 8.425e+000 (kip/ in²) Expl,max =      0.23
YieldedSurf = 0.000e+000 ( in²)
```

```
Overall Result VM,min = 1.490e-005 (kip/ in²) VM,max = 2.854e+001 (kip/ in²) Expl,max =
0.79 YieldedSurf = 0.000e+000 in²
```

VM,min        è la minima tensione di Von Mises di involuppo.

VM,max        è la massima.

Expl,max      è il rapporto tra la VM,max e la tensione di snervamento del materiale.

YieldedSurf   è la superficie dove si ha un superamento della tensione di snervamento.



### 3.9.5 Sforzi molle

#### 3.9.5.1 Interroga

**COMANDO: Post-Sforzi molle-Sforzi**

**[Ribbon-Post 1]**



Consente di conoscere gli sforzi all'interno delle molle via via selezionate. Funziona sulla base del caso/combinazione attiva.

**Tipo:** non modale

**Destinazione:** vista

#### 3.9.5.2 Inviluppo dell'inviluppo

**COMANDO: Post-Sforzi molle-Inviluppo dell'inviluppo**

**[Ribbon-Post 1]**



Consente di conoscere gli sforzi di inviluppo delle molle selezionate (inviluppo dell'inviluppo). Alla esecuzione del comando si apre una finestra che dà l'inviluppo desiderato sulle molle selezionate.

**Tipo:** non modale

**Destinazione:** vista

#### 3.9.5.3 Somma

**COMANDO: Post-Sforzi molle-Somma**

**[Ribbon-Post 1]**



Questo dialogo dà la somma delle forze nelle molle selezionate, considerando solo le molle allineate agli assi globali, e per ogni componente, nel caso di carico o nella combinazione attiva.

**Tipo:** non modale

**Destinazione:** vista

#### 3.9.5.4 Massimo

**COMANDO:** Post-Sforzi molle-Massimo

[Ribbon-Post 1]



Questo comando consente di avere il valore massimo e minimo degli sforzi agenti sulle molle selezionate, considerando la loro direzione.

**Tipo:** non modale

**Destinazione:** vista

#### 3.9.6 Verifiche

##### 3.9.6.1 Verifica

**COMANDO:** Post-Verifiche-Verifica

[Ribbon-Post 1]



Questo comando lancia le verifiche sugli elementi selezionati con la norma attiva. Prima di eseguire le verifiche accertarsi di aver assegnato correttamente i coefficienti di libera inflessione e di aver aggiunto i superelementi eventualmente necessari.

### 3.9.6.2 CSE!

#### COMANDO: Post-Verifiche-CSE!

[Ribbon-Post 1]



Questo comando lancia il programma [CSE](#) fornendogli in input, per l'importazione, il modello corrente.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** n.r.

### 3.9.6.3 RCSTUDIO!

#### COMANDO: Post-Verifiche-RCSTUDIO!

[Ribbon-Post 1]



Questo comando lancia il programma [RCSTUDIO](#) fornendogli in input, per l'importazione, il modello corrente.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** n.r.

### 3.9.6.4 Numero sezioni

#### COMANDO: Post-Verifiche-Numero sezioni

[Ribbon-Post 1]



Questo comando decide il numero di sezioni usate per campionare i diagrammi nel corso delle verifiche.

#### 3.9.6.4.1 Numero di sezioni per le verifiche (Dialogo)

#### NUMERO DI SEZIONI PER LE VERIFICHE (DIALOGO)

Questo dialogo chiede in quante sezioni campionare i diagrammi nel corso delle verifiche.

### 3.9.6.5 Interroga

#### COMANDO: Post-Verifiche-Interroga

[Ribbon-Post 1]



Questo comando dà informazioni sui coefficienti di sfruttamento del tipo scelto al momento della esecuzione del comando (involuppo, resistenza, stabilità, massimo).

Se é visualizzato l'[involuppo degli sfruttamenti](#)<sup>[1145]</sup>, si accede al dialogo [Coefficienti di sfruttamento di involucro](#)<sup>[1143]</sup>.

Se sono visualizzate la [resistenza](#)<sup>[1145]</sup> o la [stabilità](#)<sup>[1145]</sup> nella combinazione corrente si accede al dialogo [Coefficienti di sfruttamento](#)<sup>[1143]</sup>.

#### 3.9.6.5.1 Coefficienti di sfruttamento di involuppo (Dialogo)

### COEFFICIENTI DI SFRUTTAMENTO DI INVILUPPO (DIALOGO)

Questo dialogo dà:

- Il numero dell'elemento N ed il tipo.
- Il coefficiente di sfruttamento di involuppo.
- La causa che ha determinato quello sfruttamento.
- La combinazione corrispondente.
- Il numero di verifica (indica la formula che ha generato quel coefficiente di sfruttamento).
- La classe massima (indica - per le verifiche secondo l'EC3 - la massima classe del profilo).

Il tasto **Informazioni** dà informazioni sul significato del numero di verifica.

#### 3.9.6.5.2 Coefficienti di sfruttamento (Dialogo)

### COEFFICIENTI DI SFRUTTAMENTO (DIALOGO)

Questo dialogo dà informazioni sul coefficiente di sfruttamento attinto nella combinazione attiva nell'asta scelta dall'utente.

#### 3.9.6.6 Statistiche

### COMANDO: Post-Verifiche-Statistiche

[Ribbon-Post 1]



Questo comando dà informazioni statistiche sui coefficienti di sfruttamento delle aste selezionate. Il coefficiente di sfruttamento è quello mostrato a schermo (involuppo, resistenza, stabilità, o massimo). Se non è mostrato nulla il comando non è attivo.

Preso l'insieme delle aste selezionate ed i loro coefficienti di sfruttamento, viene eseguito un insieme di calcoli tesi a stabilire il massimo, il minimo, il valor medio, eccetera. I dati sono riepilogati in un opportuno [dialogo](#)<sup>1144</sup>.

#### 3.9.6.6.1 Statistiche (Dialogo)

### STATISTICHE (DIALOGO)

Questo dialogo è usato per elencare una serie di dati statistici calcolati da Sargon a partire dagli elementi selezionati. I dati si riferiscono al tipo di coefficiente di sfruttamento correntemente mostrato a schermo.

#### **Valore Massimo      Numero      Tipo**

Su questa linea si ha il massimo sfruttamento tra quelli degli elementi selezionati, il numero dell'elemento ove si ha il massimo ed il tipo di elemento corrispondente.

#### **Valore Minimo      Numero      Tipo**

Su questa linea si ha il minimo sfruttamento tra quelli degli elementi selezionati, il numero dell'elemento ove si ha il minimo ed il tipo di elemento corrispondente.

#### **Valore Medio**

Viene indicato il valor medio di sfruttamento ottenuto con l'insieme degli sfruttamenti degli elementi selezionati.

#### **Varianza**

Viene indicata la varianza dello sfruttamento del campione costituito dall'insieme degli sfruttamenti degli oggetti selezionati.

#### **Scarto quadratico medio**

Viene indicato lo scarto quadratico medio del campione costituito dall'insieme degli sfruttamenti degli oggetti selezionati.

#### **Fattore di impiego del materiale**

Supponiamo che lo sfruttamento di un elemento sia  $k$  ( $k < 1$  se la struttura è verificata). Definiamo peso sfruttato  $W_k$ , il valore ottenuto moltiplicando il peso dell'elemento  $W$  per il suo coefficiente di sfruttamento

$$W_k = kW$$

Facendo la somma di tutti i pesi sfruttati degli elementi e dividendo per il peso totale si ottiene un indice della bontà di impiego del peso, ovvero di quanto peso è stato impiegato in percentuale sul totale.

### 3.9.6.7 Inviluppo

**COMANDO: Post-Verifiche-Inviluppo**

**[Ribbon-Post 1]**

**E**

Questo comando fa vedere gli inviluppi dei coefficienti di sfruttamento.

### 3.9.6.8 Resistenza

**COMANDO: Post-Verifiche-Resistenza**

**[Ribbon-Post 1]**

**R**

Questo comando fa vedere i coefficienti di sfruttamento a resistenza nella combinazione attiva.

### 3.9.6.9 Stabilità

**COMANDO: Post-Verifiche-Stabilità**

**[Ribbon-Post 1]**

**S**

Questo comando fa vedere i coefficienti di sfruttamento a stabilità nella combinazione attiva.

### 3.9.6.10 Massimo

**COMANDO: Post-Verifiche-Massimo****[Ribbon-Post 1]****Max**

Questo comando fa vedere i coefficienti di sfruttamento massimi tra resistenza e stabilità nella combinazione attiva.

**3.9.6.11 Verifiche utente****COMANDO: Post-Verifiche-Verifiche utente****[Ribbon-Post 1]**

Questo comando consente di gestire, attraverso un apposito [dialogo](#)<sup>[147]</sup>, il file EC3DATA.txt necessario all'esecuzione delle verifiche utente di sezioni in classe 4 e/o sezioni non standard in accordo all'Eurocodice 3 o alle NTC2008 / NTC2018.

È comunque possibile modificare anche manualmente il file EC3DATA.txt aprendolo con programmi quali "Blocco Note" e simili, così come avveniva per versioni di Sargon precedenti alla 9.60.

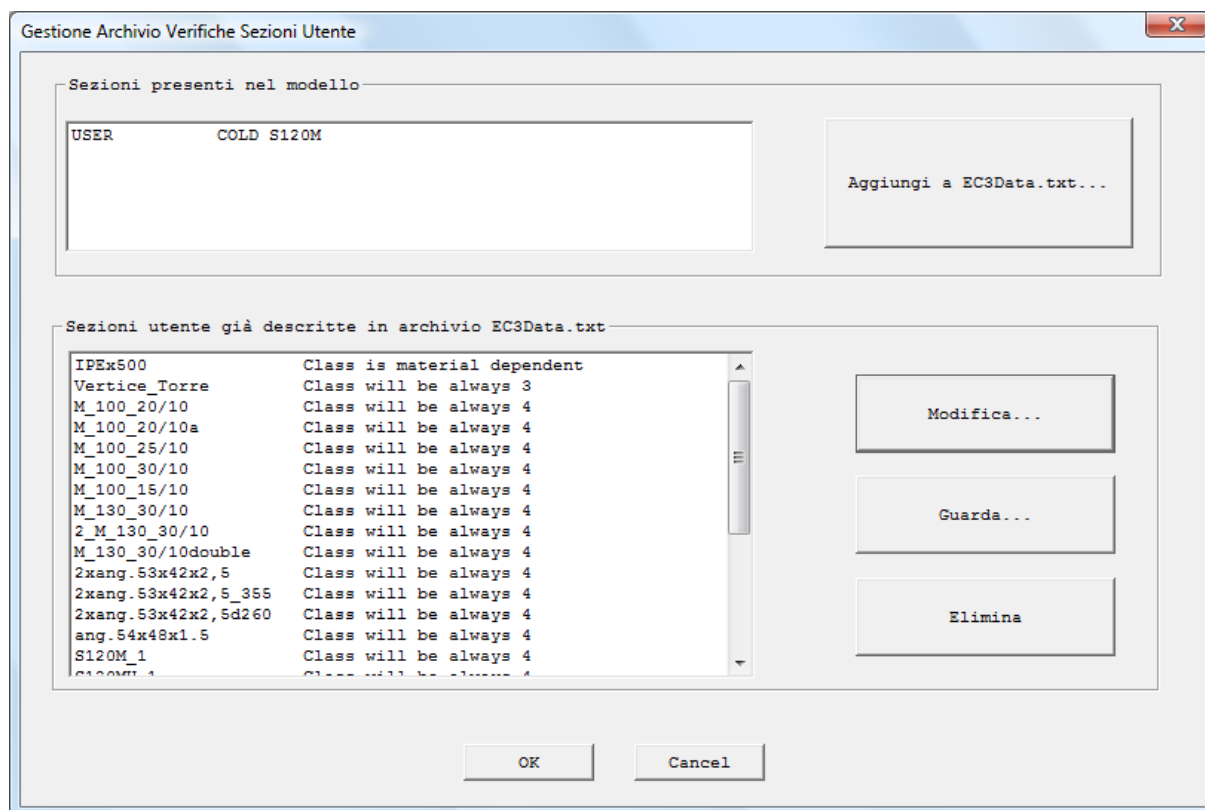
Per comprendere l'utilizzo e la gestione di questo file si rimanda alla [Guida tecnica alle verifiche secondo EC3](#)<sup>[1366]</sup> e in particolare alla descrizione delle [verifiche utente](#)<sup>[1380]</sup>.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** file EC3DATA.txt contenuto nella cartella di installazione del programma (es. C:\WSARGON\EC3DATA.txt)



## 3.9.6.11.1 Gestione archivio verifiche sezioni utente (Dialogo)

**GESTIONE ARCHIVIO VERIFICHE SEZIONI UTENTE (DIALOGO)**

Per comprendere la gestione delle verifiche utente si rimanda alla [Guida tecnica alle verifiche secondo EC3](#)<sup>[1380]</sup>.

Questo dialogo consente di governare il file [EC3DATA.txt](#)<sup>[1388]</sup> presente nella **cartella di installazione** di Sargon. Nel box in alto a sinistra sono riportate tutte le forme sezionali presenti nel modello Sargon corrente; é possibile selezionare con il mouse una di esse e premere il bottone "Aggiungi a EC3Data.txt..." per aggiungere al file la sezione desiderata. Una volta premuto il bottone, si apre un opportuno [property sheet](#)<sup>[1148]</sup> che consente all'utente di compilare in modo guidato tutti i parametri necessari alla verifica del profilo scelto.

Nel box in basso a sinistra sono riportate tutte le sezioni già presenti nel file EC3DATA.txt e le sezioni del modello corrente appena aggiunte al file.

Selezionando un profilo da questa lista, é possibile

- cancellarlo dal file (bottone "Elimina", vengono eliminate dal file tutte le schede relative al profilo scelto)
- guardare le sue caratteristiche senza modificarle (bottone "Guarda", che dà accesso al [property sheet](#)<sup>[1148]</sup> sopracitato)
- modificare le sue caratteristiche attraverso il medesimo [property sheet](#)<sup>[1148]</sup> (bottone "Modifica")

**La pressione di OK in questo dialogo comporta la riscrittura del file EC3DATA.txt, aggiornata in base ai profili aggiunti, eliminati o modificati.**

N.B. quando si utilizza il comando [Verifiche utente](#)<sup>[1146]</sup>, tutti i dati dimensionali di tutti i profili presenti nel file EC3DATA.txt vengono convertiti ed espressi nel [property sheet](#)<sup>[1148]</sup> nelle unità di [misura correnti](#)<sup>[156]</sup>.

Per omogeneità e chiarezza, la riscrittura del file con il comando di Sargon comporta la scrittura di tutti i dati in Newton, millimetri e unità derivate, indipendentemente dalle unità presenti nel file prima del comando e indipendentemente dalle unità correnti.

#### 3.9.6.11.1.1 Classificazione (Property page)

### CLASSIFICAZIONE (PROPERTY PAGE)

Classificazione [Valori plastici \(1\)](#)<sup>[1150]</sup> [Valori plastici \(2\)](#)<sup>[1151]</sup> [Valori elastici](#)<sup>[1152]</sup> [Valori efficaci](#)<sup>[1153]</sup> [Instabilità](#)<sup>[1155]</sup> [Altro](#)<sup>[1157]</sup>

Classificazione | Valori plastici (1) | Valori plastici (2) | Valori elastici | Valori efficaci | Instabilità | Altro

Scelta della modalità di classificazione

- ☐ Usa le soglie di eps = RADQ(235/fy) [fy in MPa]
- ☐ Classe 1: si useranno i valori plastici
- ☐ Classe 2: si useranno i valori plastici
- ☐ Classe 3: si useranno i valori elastici
- ☒ Classe 4: si useranno i valori efficaci

Valori limite di eps per classi e sollecitazioni elementari

Limite classe 2 - classe 3		Limite classe 3 - classe 4	
0	N	0	N
0	M2 > 0	0	M2 > 0
0	M2 < 0	0	M2 < 0
0	M3 > 0	0	M3 > 0
0	M3 < 0	0	M3 < 0

$(b/t) = K \cdot \epsilon \rightarrow \epsilon(\text{lim}) = (b/t) / K$

OK Annulla Applica ?

I parametri in questa property page sono gestiti dalle schede \_CLASSIFICATION23, \_CLASSIFICATION34 e \_FIXEDCLASS del file EC3DATA.txt e sono descritti nella [Guida tecnica alle verifiche](#)<sup>[1393]</sup>. Essi servono a imporre una classe per il profilo in esame o a determinare i parametri per il calcolo automatico della classe da parte di Sargon.

Compilando opportunamente i campi di questa property page, i valori indicati verranno scritti nelle relative schede del file EC3DATA.txt.

Se si sceglie, ad esempio, la classe 1, 2, 3 o 4 nella sezione a sinistra, nella scheda \_FIXEDCLASS della sezione corrente verrà scritto il valore 1, 2, 3 o 4 (in questi casi la classe viene imposta e i parametri a sinistra sono inutilizzati).

Se si sceglie invece di usare le soglie di  $\epsilon_{ps} = \text{RADQ}(235/f_y)$ , in `_FIXEDCLASS` verrà scritto il valore 0 e la classe verrà [calcolata](#)<sup>[1566]</sup> in funzione dei valori limite di  $\epsilon_{ps}$  definiti a sinistra.

### 3.9.6.11.1.2 Valori plastici 1 (Property page)

## VALORI PLASTICI 1 (PROPERTY PAGE)

[Classificazione](#)<sup>[1148]</sup> Valori plastici (1) [Valori plastici \(2\)](#)<sup>[1151]</sup> [Valori elastici](#)<sup>[1152]</sup> [Valori efficaci](#)<sup>[1153]</sup> [Instabilità](#)<sup>[1155]</sup> [Altro](#)<sup>[1157]</sup>

**Dominio plastico**

☒ Lineare

☐ Non lineare

0	A	0	M
0	B	0	N
0	C	0	O
0	D	0	P
0	E	0	Q
0	F	0	R
0	G	0	S
0	H	0	T
0	I	0	U
0	L	0	V

$$\frac{N}{N_{pl}} + \frac{M_2}{M_{2,pl}} + \frac{M_3}{M_{3,pl}} \leq 1$$

$$\left( \frac{M_2}{M_{N,2,Rd}} \right)^\alpha + \left( \frac{M_3}{M_{N,3,Rd}} \right)^\beta \leq 1$$

$$n = \frac{N}{N_{pl,Rd}}$$

$$M_{N,2,Rd} = M_{pl,2,Rd} \cdot (A + Bn + Cn^2)$$

$$M_{N,3,Rd} = M_{pl,3,Rd} \cdot (D + En + Fn^2)$$

$$\alpha = \frac{G + Hn + In^2}{L + Mn + Nn^2} \geq 0$$

$$\beta = \frac{P + Qn + Rn^2}{S + Tn + Un^2} \geq V$$

OK Annulla Applica ?

I parametri in questa property page sono riportati nell'immagine a destra e sono descritti nella [Guida tecnica alle verifiche](#)<sup>[1394]</sup>. Essi definiscono il comportamento plastico per azione assiale e flessione dei profili in classe 1 e 2.

La scelta di un dominio lineare comporta la scrittura del valore '1' per il parametro "kind" della scheda [\\_PLASTICNMDOMAIN](#)<sup>[1394]</sup> del file EC3DATA.txt, la scelta di un dominio non lineare comporta invece il valore '2'. La compilazione delle caselle da A a V comporterà la scrittura dei valori specificati nei campi da "datum1" a "datum20" della scheda [\\_PLASTICNMDOMAIN](#).

### 3.9.6.11.1.3 Valori plastici 2 (Property page)

## VALORI PLASTICI 2 (PROPERTY PAGE)

[Classificazione](#)<sup>[1148]</sup> [Valori plastici \(1\)](#)<sup>[1150]</sup> Valori plastici (2) [Valori elastici](#)<sup>[1152]</sup> [Valori efficaci](#)<sup>[1153]</sup> [Instabilità](#)<sup>[1155]</sup> [Altro](#)<sup>[1157]</sup>

The screenshot shows a software window titled 'Valori plastici (2)' with several tabs: 'Classificazione', 'Valori plastici (1)', 'Valori plastici (2)', 'Valori elastici', 'Valori efficaci', 'Instabilità', and 'Altro'. The 'Valori plastici (2)' tab is active.

**Interazione con il taglio**

Input fields (all set to 1):

- av2
- av3
- av2'
- av3'
- w2plAv2'
- w2plAv3'
- w3plAv2'
- w3plAv3'

**Torsione plastica**

Input fields:

- W1pl (non nullo): 842.5
- a: 1

**Formulas displayed:**

- $A_{V,2}$  shear modulus, for shear 2
- $A_{V,3}$  shear modulus, for shear 3
- $A_{V,2}'$  shear resistant area, for shear 2
- $A_{V,3}'$  shear resistant area, for shear 3
- $W_{ipl,Av}$  plastic modulus around axis i of shear resistant area for shear j
- $$a_{v2} = \frac{A_{V,2}}{A} \leq 1 \quad a_{v3} = \frac{A_{V,3}}{A} \leq 1 \quad a_{v2}' = \frac{A_{V,2}'}{A} \leq 1 \quad a_{v3}' = \frac{A_{V,3}'}{A} \leq 1$$
- $$w_{2pl,av2'} = \frac{W_{2pl,Av2'}}{W_{2pl}} \leq 1 \quad w_{2pl,av3'} = \frac{W_{2pl,Av3'}}{W_{2pl}} \leq 1$$
- $$w_{3pl,av2'} = \frac{W_{3pl,Av2'}}{W_{3pl}} \leq 1 \quad w_{3pl,av3'} = \frac{W_{3pl,Av3'}}{W_{3pl}} \leq 1$$
- $$N_{pl,red} = (1 - a_{v2'} \cdot \rho_2 - a_{v3'} \cdot \rho_3)$$
- $$M_{2,pl,red} = M_{2,pl} (1 - w_{2pl,av2'} \cdot \rho_2 - w_{2pl,av3'} \cdot \rho_3)$$
- $$M_{3,pl,red} = M_{3,pl} (1 - w_{3pl,av2'} \cdot \rho_2 - w_{3pl,av3'} \cdot \rho_3)$$
- $$\rho_i = \left( \frac{2 V_i}{V_{i,plT}} \right)^2 \quad i = 2, 3$$
- $$V_{i,plT} = V_{i,pl} \sqrt{1 - \frac{M_1}{a \cdot M_{1pl}}}$$
- $$M_{1,pl} = \frac{W_{1pl} \cdot f_y}{\gamma_{M,0}}$$
- $$V_{i,pl} = \frac{A_{V,i} \cdot f_y}{\gamma_{M,0}}$$

Buttons at the bottom: OK, Annulla, Applica, ?

I parametri in questa property page sono riportati nell'immagine a destra e sono descritti nella [Guida tecnica alle verifiche](#)<sup>[1396]</sup>. Essi definiscono il comportamento plastico a taglio e a torsione dei profili in classe 1 e 2.

La compilazione delle varie caselle comporterà la scrittura dei valori specificati nei campi delle schede [SHEAR](#)<sup>[1396]</sup> e [TORSION](#)<sup>[1397]</sup> del file EC3DATA.txt.

#### 3.9.6.11.1.4 Valori elastici (Property page)

### VALORI ELASTICI (PROPERTY PAGE)

[Classificazione](#)<sup>[1148]</sup> [Valori plastici \(1\)](#)<sup>[1150]</sup> [Valori plastici \(2\)](#)<sup>[1151]</sup> Valori elastici [Valori efficaci](#)<sup>[1153]</sup> [Instabilità](#)<sup>[1155]</sup> [Altro](#)<sup>[1157]</sup>

**Sezione**

Punto prec: << >> Punto succ

**Punti di verifica (in verde)**

x2= 5.547e+001	x3=-2.725e+001	At22= 0.000e+000	At32= 0.000e+000
x2= 3.003e+001	x3=-3.321e+001	At22= 0.000e+000	At32= 0.000e+000
x2= 2.675e+001	x3=-3.735e+001	At22= 0.000e+000	At32= 0.000e+000
x2= 2.675e+001	x3=-6.197e+001	At22= 0.000e+000	At32= 0.000e+000
x2= 3.100e+001	x3=-6.622e+001	At22= 0.000e+000	At32= 0.000e+000
x2= 4.050e+001	x3=-6.622e+001	At22= 0.000e+000	At32= 0.000e+000

**Punto di verifica: moduli di resistenza e posizione**

X2: -40.5  
X3: -67.223007  
At22: 0  
At32: 0  
W12: 0  
At23: 0  
At33: 0  
W13: 0

Leggi coordinate punto  
Aggiungi...  
Rimuovi  
Carica valori  
Aggiorna

**Formule calcolo sforzi**

$$\tau_2 = \frac{V_2}{A_{2,22}} + \frac{V_3}{A_{2,32}} + \frac{M_1}{W_{12}}$$

$$\tau_3 = \frac{V_2}{A_{2,23}} + \frac{V_3}{A_{2,33}} + \frac{M_1}{W_{13}}$$

OK Annulla Applica ?

I parametri in questa property page sono descritti nella [Guida tecnica alle verifiche](#)<sup>[1397]</sup>. Essi definiscono il comportamento elastico dei profili in classe 3.

Compilando gli 8 campi nella sezione "Punto di verifica" (espressi nelle unità di misura correnti) e premendo il bottone "Aggiungi!" a destra, l'insieme dei valori viene aggiunti a quelli eventualmente già presenti per il profilo in esame. Tutti gli insiemi già definiti compaiono nel box in basso.

Ogni insieme viene scritto in una scheda [ELASTICPOINT](#)<sup>11397</sup> nel file EC3DATA.txt.

Utilizzando i bottoni "Punto prec." e "Punto succ." è possibile selezionare (pallino rosso) il punto desiderato e, premendo il bottone "Leggi coordinate punto", le sue coordinate verranno scritte nelle caselle X2 e X3.

Selezionando un insieme nel box in basso, è possibile eliminarlo con il bottone "Rimuovi!"; è anche possibile modificare un insieme esistente selezionandolo, premendo "Carica valori", quindi apportando le necessarie modifiche e premendo infine il bottone "Aggiorna".

N.B. l'immagine del profilo viene mostrata nei seguenti casi: si sta aggiungendo un nuovo profilo presente nel modello Sargon corrente o si sta guardando/modificando un profilo già presente nel file EC3DATA.txt e presente anche nel modello Sargon corrente. Se si guarda/modifica un profilo presente nel file ma non nel modello, l'immagine non è disponibile.

#### 3.9.6.11.1.5 Valori efficaci (Property page)

### VALORI EFFICACI (PROPERTY PAGE)

[Classificazione](#)<sup>11481</sup> [Valori plastici \(1\)](#)<sup>11501</sup> [Valori plastici \(2\)](#)<sup>11511</sup> [Valori elastici](#)<sup>11521</sup> Valori efficaci [Instabilità](#)<sup>11551</sup> [Altro](#)<sup>11571</sup>

I parametri in questa property page sono descritti nella [Guida tecnica alle verifiche](#)<sup>[1398]</sup>. Essi definiscono le caratteristiche efficaci dei profili in classe 4.

Compilando gli 8 campi nella sezione "Nuovo insieme di valori efficaci" (espressi nelle unità di misura correnti) e premendo il bottone "Aggiungi!" a destra, l'insieme dei valori viene aggiunto a quelli eventualmente già presenti per il profilo in esame. Tutti gli insiemi già definiti compaiono nel box in basso.

Ogni insieme viene scritto in una scheda [EFFECTIVE](#)<sup>[1398]</sup> nel file EC3DATA.txt; è possibile definire più schede per lo stesso profilo, ad esempio in funzione di diversi materiali.

Selezionando un insieme nel box in basso, è possibile eliminarlo con il bottone "Rimuovi!"; è anche possibile modificare un insieme esistente selezionandolo, premendo "Carica valori", quindi apportando le necessarie modifiche e premendo infine il bottone "Aggiorna".



N.B. l'immagine del profilo viene mostrata nei seguenti casi: si sta aggiungendo un nuovo profilo presente nel modello Sargon corrente o si sta guardando/modificando un profilo già presente nel file EC3DATA.txt e presente anche nel modello Sargon corrente. Se si guarda/modifica un profilo presente nel file ma non nel modello, l'immagine non é disponibile.

### 3.9.6.11.1.6 Instabilità (Property page)

## INSTABILITÀ (PROPERTY PAGE)

[Classificazione](#) [Valori plastici \(1\)](#) [Valori plastici \(2\)](#) [Valori elastici](#) [Valori efficaci](#) **Instabilità** [Altro](#)

Asse 2  
 Alpha (fattore di imperfezione)  
 Curva a0 Curva a Curva b  
 Curva c Curva d

Asse 3  
 Alpha (fattore di imperfezione)  
 Curva a0 Curva a Curva b  
 Curva c Curva d

Instabilità torsionale e flessione-torsionale (Ncr,T Ncr,TF)  
☐ Nessun asse di simmetria (nessuna verifica)  
☒ Asse 2  
☐ Asse 3  
☐ Asse 2 e 3

Centro di Taglio  
 x2 (y0)  
 x3 (z0)  
 lw (costante ingobbamento)

Svergolamento  
 Asse (2 o 3)  
 Alpha,LT  
 par. 6.3.2.4. (EC3)  
 i.f.z (cfr 6.3.2.4)  
 kfi (6.3.2.4.(2))  
 W

Metodo M critico  
 lw  
 lz  
 lt  
 zs  
 zj

Se i.f.z=0 e anche lz=lt=0 allora la verifica è omessa  
 Se i.f.0 e lz e lt sono tutti diversi da 0 allora metodo Mcritico  
 Se lz o lt = 0 allora metodo piattabanda compressa (6.3.2.4. EC3)  
 Se i.f.z = 0 allora metodo Mcritico

i.f.z raggio di inerzia piattabanda compressa  
 W modulo di resistenza a flessione piattabanda compressa  
 lw costante di ingobbamento  
 lz momento di inerzia asse debole (non asse flessione)  
 lt momento di inerzia flessionale

OK Annulla Applica ?

I parametri in questa property page sono descritti nella [Guida tecnica alle verifiche secondo EC3, NTC](#) [1399](#). Essi governano le verifiche di instabilità e sono coerenti con le schede definite

nel file EC3DATA.TXT, [BUCKLCURVE](#)<sup>[1399]</sup>, [LATERALTORSIONAL](#)<sup>[1399]</sup>, [2LATERALTORSIONAL](#)<sup>[1400]</sup> e [TORFLEX](#)<sup>[1401]</sup>; compilando le varie caselle, i valori specificati verranno scritti nelle relative schede.

Il riquadro **Asse 2** si riferisce alla instabilità flessionale (euleriana) attorno all'asse 2.

Cliccando uno dei bottoni "Curva a0" - "Curva d", viene automaticamente scritto nella relativa casella il valore di alpha corrispondente alla curva scelta.

Il riquadro **Asse 3** si riferisce alla instabilità flessionale (euleriana) attorno all'asse 3.

Cliccando uno dei bottoni "Curva a0" - "Curva d", viene automaticamente scritto nella relativa casella il valore di alpha corrispondente alla curva scelta.

Il riquadro **Instabilità torsionale o flesso-torsionale** ( $N_{cr,T}$ ,  $N_{cr,TF}$ ) si riferisce alla instabilità torsionale o flesso-torsionale in presenza di azione assiale.

Se i campi  $I_z$  e  $I_t$  sono entrambi non nulli, verrà utilizzato il metodo dell'Mcr.

Se  $I_z$  e/o  $I_t$  sono nulli e il campo  $i_{f,z}$  è non nullo verrà utilizzato il metodo della piattabanda compressa.

Se i valori precedenti sono tutti nulli, la verifica di svergolamento verrà omessa.

Il riquadro **Svergolamento** si riferisce alla instabilità latero-torsionale causata da momento flettente.

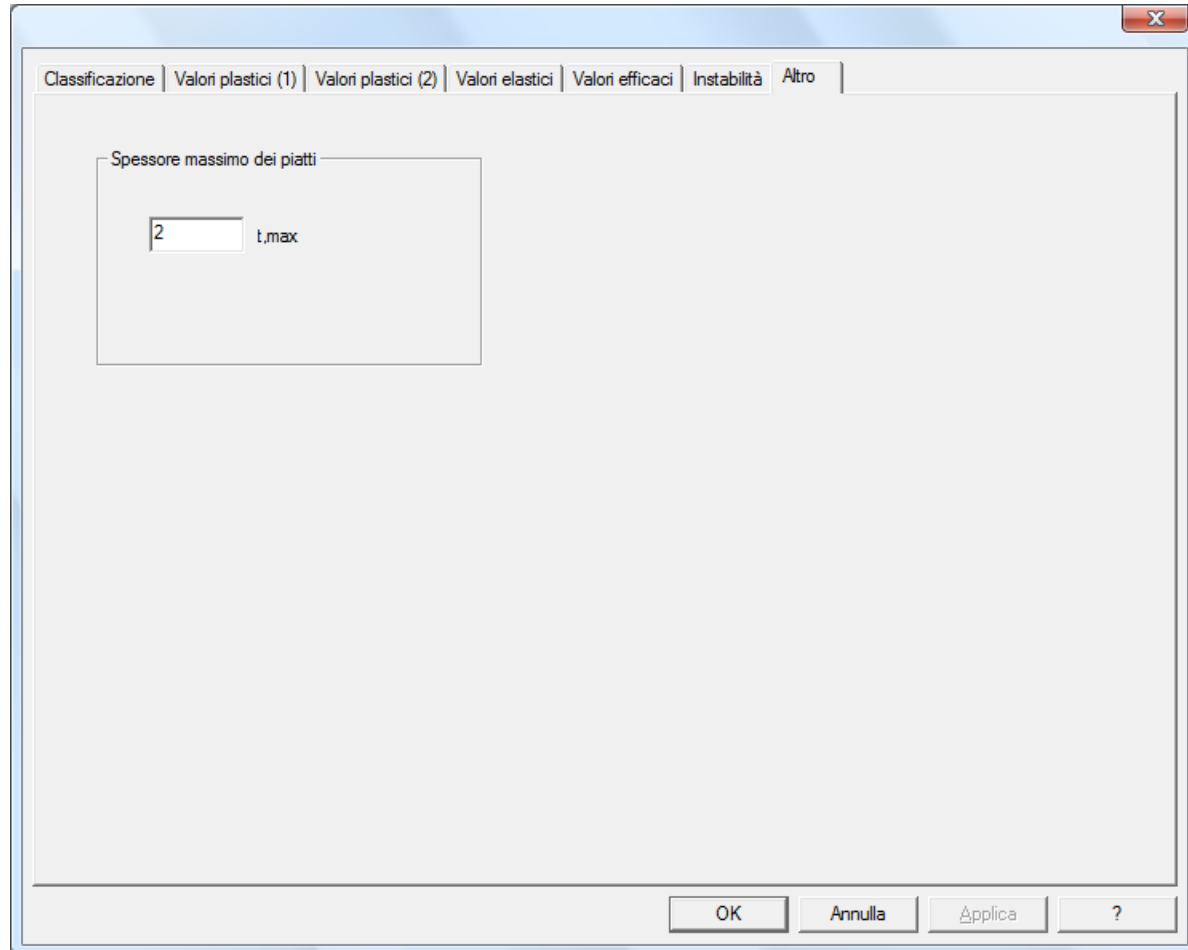
Se non esiste alcun asse di simmetria le verifiche per instabilità torsionale o flesso-torsionale saranno omesse, e, viceversa,

se si vogliono omettere le verifiche in questione è sufficiente indicare che non esiste alcun asse di simmetria. La costante di ingobbamento va introdotta nelle unità di misura attive (ha una dimensione di  $L^6$ ).

3.9.6.11.1.7 Altro (Property page)

## ALTRO (PROPERTY PAGE)

[Classificazione](#) <sup>f148</sup> [Valori plastici \(1\)](#) <sup>f150</sup> [Valori plastici \(2\)](#) <sup>f151</sup> [Valori elastici](#) <sup>f152</sup> [Valori efficaci](#) <sup>f153</sup> [Instabilità](#) <sup>f155</sup> [Altro](#)



Il parametro in questa property page é descritto nella [Guida tecnica alle verifiche](#) <sup>f1402</sup>.

### 3.9.7 Verifiche Libere

#### 3.9.7.1 Aggiungi Variabile

### COMANDO: Post-Verifiche Libere-Aggiungi Variabile

**[Ribbon-Post 1]**

Questo comando serve ad aggiungere una nuova variabile alla lista delle variabili esistenti. Dopo averla aggiunta, la variabile potrà essere referenziata nelle espressioni che definiscono altre variabili, o nelle espressioni che definiscono condizioni. Benchè il nome sia libero, si consiglia di seguire la seguente regola:

SCOPO.NOME

Dove scopo può essere una breve sigla.

Si tenga presente che le variabili SCOPO.NOME saranno rese nel report come  $NOME_{SCOPO}$ .

Tra gli scopi già esistenti utilizzabili, si ricordano:

- Nd     variabile nodale
- Mt     variabile associata a un materiale
- Cs     variabile associata a una sezione trasversale
- El     Variabile associata a un elemento (biella o trave) o a un superelemento.

Non è possibile aggiungere variabili con nome identico a quello di una variabile già esistente. Le variabili che dipendono da sezioni trasversali, materiali elementi o nodi, saranno materialmente aggiornate nel corso delle verifiche, ed avranno valore diverso di volta in volta nel corso delle verifiche stesse.

E' possibile aggiungere variabili a valore determinato, queste non saranno riaggornate.

Alla esecuzione del comando compare un [opportuno dialogo](#)<sup>[1159]</sup> al quale si rimanda per le istruzioni di dettaglio.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

## 3.9.7.1.1 Aggiunta di una variabile (dialogo)

**DIALOGO: Aggiunta di una variabile**

Nome della variabile:  = Formula che definisce la variabile:

Dimensionalità:  Descrizione della variabile:

Variabili disponibili:

- gl.pi - Pi - greco
- gl.2pi - 2 Pi - greco
- gl.deg - Grado
- gl.sin30 - sin 30°
- gl.sin45 - sin 45°
- gl.sin60 - sin 60°
- gl.cos30 - cos 30°
- gl.cos45 - cos 45°
- gl.cos60 - cos 60°
- gl.tan30 - tan 30°
- gl.tan45 - tan 45°
- gl.tan60 - tan 60°
- gl.sqrt2 - Radice quadrata di 2
- gl.sqrt3 - Radice quadrata di 3
- gl.gM0 - Gamma M0
- gl.gM1 - Gamma M1
- gl.gM2 - Gamma M2
- gl.fib - Fattore di resistenza per bulloni
- gl.fiw - Fattore di resistenza per saldature
- gl.fibr - Fattore di resistenza per rifollamento

Operatori e funzioni disponibili:

+	-	*	/	^	(	)	SIN	COS	TAN
ASIN	ACOS	ATAN	DEG	RAD	RADQ	RAD3	SQRE	CUBE	HYP
MIN	MAX	CEIL	FLOR	ABS	VMIS	CHIA	CHIB	CHIC	CHID
GETX	GETY	GETZ	WFEL	WFPL	WVEL	WVPL	WTEL	WTPL	

CLEAR

OK Cancel

Il dialogo per l'aggiunta di una nuova variabile non é altro che l'interfaccia di un vero e proprio compilatore interno a SARGON: l'utente compila i campi descritti di seguito e il programma converte i dati immessi in una stringa alfanumerica e calcola il valore della variabile.

**Nome della variabile**

Il nome della variabile non deve contenere spazi. E' possibile fare in modo che nel report le lettere greche siano correttamente decodificate. In questo caso bisogna scrivere:

alpha	per ottenere $\alpha$
beta	per ottenere $\beta$
chi	per ottenere $\chi$

delta	per ottenere $\delta$
Delta	per ottenere $\Delta$
phi	per ottenere $\phi$
Phi	per ottenere $\Phi$
gamma	per ottenere $\gamma$
Gamma	per ottenere $\Gamma$
eta	per ottenere $\eta$
iota	per ottenere $\iota$
kappa	per ottenere $\kappa$
lambda	per ottenere $\lambda$
Lambda	per ottenere $\Lambda$
mu	per ottenere $\mu$
nu	per ottenere $\nu$
pi	per ottenere $\pi$
Pi	per ottenere $\Pi$
theta	per ottenere $\theta$
Theta	per ottenere $\Theta$
rho	per ottenere $\rho$
sigma	per ottenere $\sigma$
Sigma	per ottenere $\Sigma$
tau	per ottenere $\tau$
upsilon	per ottenere $\upsilon$
Upsilon	per ottenere $Y$
zeta	per ottenere $\zeta$
xi	per ottenere $\xi$
Xi	per ottenere $\Xi$
psi	per ottenere $\psi$
Psi	per ottenere $\Psi$
omega	per ottenere $\omega$
Omega	per ottenere $\Omega$

Se ad esempio in questo dialogo il nome della variabile è "El.tauP", nel report sarà riportato come  $\tau_{P,El}$

### Formula che definisce la variabile

I termini della formula possono essere numeri, variabili predefinite e/o variabili aggiuntive precedentemente inserite, opportunamente combinati tra loro tramite operatori.

Cliccando il nome di una variabile nella lista in basso al centro questa viene trascritta nella formula; alla destra, un tastierino è disponibile per agevolare l'inserimento di operatori. Alternativamente la formula può essere scritta digitando da tastiera.

**Il bottone "?"** serve ad avere una valutazione della formula per verificare che sia stata definita correttamente. Nota bene: certe variabili assumono valori diversi a seconda dell'elemento o della combinazione in cui sono definite (per esempio **EL.Ns**): in questo caso il valore restituito non ha significato specifico.

### **Dimensionalità**

Attraverso il menu a tendina deve essere specificato se si tratta di una lunghezza, di uno sforzo, di una superficie, di un numero puro, ecc.

### **Descrizione della variabile**

Consente di fornire una descrizione della variabile (opzionale).

Quando i campi sono stati opportunamente compilati, cliccando *OK* si inserisce la variabile, che sarà visualizzabile nella vista alfanumerica pannello variabili e condizioni con il suo corrispondente valore numerico calcolato da Sargon e sarà utilizzabile per definire ulteriori variabili o condizioni.

***NOTA: i numeri con una dimensione fisica eventualmente utilizzati nella definizione delle variabili, se sono dimensionali, devono essere sempre espressi in Newton, millimetri e unità derivate, qualsiasi siano le unità attive. Per rendere più chiara la definizione delle variabili si sconsiglia l'uso di costanti dimensionali: al loro posto si possono introdurre le costanti adimensionali per le corrispondenti variabili globali associate alle unità di***

*misura desiderate (gl.kN, gl.kip, gl.in, ecc.). Ad esempio per introdurre 50 (mm) o 50 (pollici), si potrà scrivere "50\*gl.mm" o "50\*gl.in". Le unità native di Sargon sono mm e N, e unità derivate. In assenza di unità il numero dimensionale sarà interpretato con N, mm e unità derivate.*

### 3.9.7.2 Aggiungi Variabile con If

#### COMANDO: Post-Verifiche Libere-Aggiungi Variabile con If

##### [Ribbon-Post 1]

Questo comando serve ad aggiungere una nuova variabile con if alla lista delle variabili esistenti. Dopo averla aggiunta, la variabile potrà essere referenziata nelle espressioni che definiscono altre variabili, o nelle espressioni che definiscono condizioni.

La definizione di una variabile con IF, dipende dal verificarsi di certe condizioni. La variabile assume diverse definizioni a seconda che certe condizioni siano vere o false.

Benchè il nome sia libero, si consiglia di seguire la seguente regola:

SCOPO.NOME

Dove scopo può essere una breve sigla.

Si tenga presente che le variabili SCOPO.NOME saranno rese nel report come  $NOME_{SCOPO}$ .

Tra gli scopi già esistenti utilizzabili, si ricordano:

- Nd     variabile nodale
- Mt     variabile associata a un materiale
- Cs     variabile associata a una sezione trasversale
- El     Variabile associata a un elemento (biella o trave) o a un superelemento.

Non è possibile aggiungere variabili con nome identico a quello di una variabile già esistente.



Le variabili che dipendono da sezioni trasversali, materiali elementi o nodi, saranno materialmente aggiornate nel corso delle verifiche, ed avranno valore diverso di volta in volta nel corso delle verifiche stesse.

E' possibile aggiungere variabili a valore determinato, queste non saranno riaggornate.

Alla esecuzione del comando compare un [opportuno dialogo](#)<sup>1163</sup> al quale si rimanda per le istruzioni di dettaglio.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

#### 3.9.7.2.1 Aggiunta di una variabile con if (dialogo)

**DIALOGO: Aggiunta di una variabile con if**

Aggiunta di una variabile con "if"

condizioni	Nome della variabile	Formula che definisce la variabile
If( )		=
Else if	"	=
Else if	"	=
Else if	"	=
Else if	"	=
Else if	"	=
Else if	"	=
Else if	"	=
Else if	"	=
Else	"	=

Le condizioni "Else if" e le relative espressioni possono essere nulle. La condizione "Else" e la relativa espressione non può essere nulla

Dimensionalità:  Descrizione della variabile:

Variabili disponibili

- gl.pi - Pi - greco
- gl.2pi - 2 Pi - greco
- gl.deg - Grado
- gl.sin30 - sin 30°
- gl.sin45 - sin 45°
- gl.sin60 - sin 60°
- gl.cos30 - cos 30°
- gl.cos45 - cos 45°
- gl.cos60 - cos 60°
- gl.tan30 - tan 30°
- gl.tan45 - tan 45°
- gl.tan60 - tan 60°
- gl.sqrt2 - Radice quadrata di 2
- gl.sqrt3 - Radice quadrata di 3
- gl.gM0 - Gamma M0
- gl.gM1 - Gamma M1
- gl.gM2 - Gamma M2
- gl.fib - Fattore di resistenza per bulloni
- gl.fiw - Fattore di resistenza per saldature
- gl.fibr - Fattore di resistenza per rifollamento

Il dialogo per l'aggiunta di una variabile con "if" consente di definire una variabile che assume valori diversi a seconda che si verifichino o meno determinate condizioni.

Come per le variabili aggiuntive senza if, vanno definiti un nome, la dimensionalità e una descrizione facoltativa. Anche qui è disponibile il tastierino ed è possibile fare doppio click nelle variabili della lista in basso a sinistra. Per questi aspetti si rimanda al [dialogo](#) <sup>1159</sup> delle variabili senza if.

A differenza delle variabili senza if, per le quali si assegna direttamente un valore, qui il valore della variabile dipende dal verificarsi di alcune condizioni. La struttura minima è di

questo tipo: se una certa condizione è verificata, la variabile assume il valore dato dalla formula A, altrimenti assume il valore dato dalla formula B:

*if condition is true, var=A*

*else var =B*

dove A e B possono essere numeri o funzioni di altre variabili.

La struttura minima può essere ampliata con l'utilizzo di istruzioni *else if* (fino a 9), in modo da ottenere una struttura del seguente tipo: se la condizione A\* è verificata, la variabile assume il valore dato dalla formula A; altrimenti, se la condizione B\* è verificata, la variabile assume il valore dato dalla formula B; altrimenti [...]; altrimenti, se nessuna condizione è verificata, la variabile assume il valore dato dalla formula E.

*if condition A\* is true, var=A*

*(else if condition B\* is true, var=B)*

*(else if condition C\* is true, var=C)*

*(else if condition D\* is true, var=D)*

*else var=E*

Vediamo ora un esempio semplice per chiarire meglio.

Se lo spessore della flangia della sezione (Cs.tf) è minore o uguale a 40(mm), la variabile El.f\_rif è uguale alla tensione di snervamento del materiale della sezione stessa (Mt.fy), altrimenti tale valore viene ridotto di 20N/mm<sup>2</sup> (Mt.fy - 20).

La variabile precedente potrà essere utilizzata per una verifica utente aggiuntiva in cui la tensione di riferimento della sezione varia in funzione dello spessore della flangia della sezione stessa. In questo modo, se si modificasse lo spessore della flangia del profilo da 40 a 45 millimetri, la verifica utente non richiederebbe di essere modificata, perché è già prevista una diminuzione del valore della variabile in funzione dello spessore.

Se si volesse aggiungere una ulteriore condizione, si potrebbe ad esempio definire:

If	$Cs.tf \leq 40$	$El.f_{rif} = Mt.fy$
Else if	$Cs.tf \leq 80$	$El.f_{rif} = Mt.fy - 20$
Else		$El.f_{rif} = Mt.fy - 40$

in modo che se lo spessore fosse minore o uguale a 40mm la variabile assumerebbe il valore di  $Cs.fy$ , se lo spessore fosse maggiore di 40mm ma minore o uguale a 80mm la variabile sarebbe uguale a  $fy - 20N/mm^2$  e se lo spessore fosse maggiore di 80mm la variabile varrebbe  $fy - 40N/mm^2$ .

Le condizioni devono essere costituite da un primo membro, da un operatore e da un secondo membro; si possono usare i seguenti operatori:

=	uguale
!=	diverso
<	minore
>	maggiore
<=	minore o uguale
>=	maggiore o uguale

Nota: il doppio click su una variabile nella lista in basso o il click su un bottone del tastierino inseriscono la variabile o l'operatore desiderato nella casella di condizione o di formula che definisce la variabile in cui si trova il cursore. Se il cursore si trova in un altro tipo di casella (nome, descrizione, ecc.) la variabile o l'operatore verranno aggiunti nell'ultima casella di condizione o formula in cui è stato il cursore.

### 3.9.7.3 Aggiungi Condizione

#### COMANDO: Post-Verifiche Libere-Aggiungi Condizione

##### [Ribbon-Post 1]

Questo comando consente di aggiungere una *condizione*.

Una condizione è normalmente espressa da una disequazione, nella quale un Primo Membro (P) deve essere verificato superiore o inferiore, o superiore o eguale, o inferiore o eguale, a un Secondo Membro (S). Può anche essere una eguaglianza (=) o una disequaglianza (!=).

Il programma esegue la verifica che la condizione sia soddisfatta per tutte le entità coinvolte nella verifica, e per tutte le combinazioni di carico. La verifica è soddisfatta se la disequazione è verificata.

Il coefficiente di sfruttamento è calcolato come  $P/S$  (se  $P < S$ ) o  $S/P$  (se  $P > S$ ) a seconda della disequazione che deve essere soddisfatta.

Normalmente il primo membro P ed il secondo membro S hanno valori numerici che cambiano da entità a entità e da combinazione a combinazione.

Alla esecuzione del comando compare un [opportuno dialogo](#)<sup>[1168]</sup> che consente di introdurre tutte le informazioni necessarie.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

## 3.9.7.3.1 Aggiunta di una condizione (dialogo)

**DIALOGO: Aggiunta di una condizione**

Dialog

Primo membro      condizione      Secondo membro

?  <  ?

Tipo di condizione

Verifica      Verifica di compressione      Descrizione della condizione

Compressione      Significato primo membro

Massima Compressione      Significato secondo membro

Be1      Gruppo a cui si riferisce la condizione

Variabili

- gl.pi - Pi - greco
- gl.2pi - 2 Pi - greco
- gl.deg - Grado
- gl.sin30 - sin 30°
- gl.sin45 - sin 45°
- gl.sin60 - sin 60°
- gl.cos30 - cos 30°
- gl.cos45 - cos 45°
- gl.cos60 - cos 60°
- gl.tan30 - tan 30°
- gl.tan45 - tan 45°
- gl.tan60 - tan 60°
- gl.sqrt2 - Radice quadrata di 2
- gl.sqrt3 - Radice quadrata di 3
- gl.gM0 - Gamma M0
- gl.gM1 - Gamma M1
- gl.gM2 - Gamma M2
- gl.fib - Fattore di resistenza per bulloni
- gl.fiw - Fattore di resistenza per saldature
- gl.fibr - Fattore di resistenza per rifollamento
- gl.fisy - Fattore di resistenza per snervamento a taglio

OK      Cancel      CLEAR

Keypad: +, -, \*, /, ^, (, ), SIN, COS, TAN, ASIN, ACOS, ATAN, DEG, RAD, RADQ, RAD3, SQRE, CUBE, HYP, MIN, MAX, CEIL, FLOR, ABS, VMIS, CHIA, CHIB, CHIC, CHID, GETX, GETY, GETZ, WFEL, WFPL, WVPL, WTPL, WTPL.

Il dialogo per l'aggiunta di una nuova condizione non é altro che l'interfaccia di un vero e proprio compilatore interno a Sargon: l'utente compila i campi descritti di seguito e il programma converte i dati immessi in una stringa alfanumerica.

**Formula**

La formula che descrive la condizione viene fornita compilando i tre campi seguenti.

### ***Primo membro***

I termini del primo membro possono essere numeri, variabili predefinite e/o variabili aggiuntive precedentemente inserite, opportunamente combinati tra loro tramite operatori. **Il bottone "?"** posto a sinistra serve ad avere una valutazione del primo membro per verificare che sia corretto.

### ***Condizione***

Attraverso il menu a tendina si definisce se il primo membro deve essere uguale a, diverso da, minore di, maggiore di, minore o uguale a, maggiore o uguale al secondo membro.

### ***Secondo membro***

I termini del secondo membro possono essere numeri, variabili predefinite e/o variabili aggiuntive precedentemente inserite, opportunamente combinati tra loro tramite operatori. Cliccando il nome di una variabile nella lista in basso al centro questa viene trascritta nella formula; alla destra, un tastierino è disponibile per agevolare l'inserimento di operatori. Alternativamente anche il secondo membro può essere scritto digitando da tastiera. **Il bottone "?"** posto a destra serve ad avere una valutazione del secondo membro per verificare che sia corretto.

### ***Tipo di condizione***

Attraverso il menu a tendina si stabilisce se la condizione è una verifica o un prerequisito. In Sargon hanno al momento senso solo le verifiche.

Nel primo caso la formula verrà associata a una o più entità (nodi, elementi) e verificata automaticamente da Sargon in tutte le combinazioni.

**Gruppo/Entità/Componente a cui si riferisce la condizione**

Se la condizione è una condizione di verifica deve essere specificato a chi essa si riferisce. Ciò si fa specificando una serie di stringhe separate da ",".

Le stringhe possibili sono:

Stringa	Esempio	Si applica a
Be#	Be123	Elemento trave numero 123
Tr#	Tr123	Elemento biella 123
Nd#	Nd13	Nodo numero 13
Su#	Su88	Superelemento 88
Gr#	Gr8	Elementi e nodi del gruppo 8 (meglio usare o nodi o elementi)
Cs#	Cs3	Tutti gli elementi che hanno la sezione numero 3
Ma#	Ma2	Tutti gli elementi che hanno materiale numero 2
Na*	NaBePrimoPiano	Tutti gli elementi il cui nome comincia con "BePrimoPiano"
Alln	Alln	Tutti i nodi
Allt	Allt	Tutti gli elementi biella
Allb	Allb	Tutti gli elementi trave
Allsu	Allsu	Tutti i superelementi



Esempi:

**Be123,Be124,Be125**

elementi beam 123, 124 e 125

**Cs2,Cs3**

elementi che hanno la sezione trasversale numero 2 o 3

### **Descrizioni**

Opzionalmente si possono dare brevi descrizioni della condizione in generale, del primo membro e del secondo membro, riempiendo i rispettivi campi. Ciò è altamente consigliato per rendere il tabulato leggibile.

Quando i campi sono stati opportunamente compilati, cliccando *OK* si inserisce la condizione, che sarà visualizzabile nella vista alfanumerica pannello variabili e condizioni.

***NOTA: i numeri eventualmente utilizzati nella definizione delle condizioni, se sono dimensionali, devono essere sempre espressi in Newton, millimetri e unità derivate, qualsiasi siano le unità attive.***

#### **3.9.7.4 Esporta**


**COMANDO: Post-Verifiche Libere-Esporta**

**[Ribbon-Post 1]**

Questo comando esporta in formato testo, le istruzioni relative alla aggiunta delle variabili e delle condizioni attualmente presenti nel modello.

Sono tenute in conto solo le variabili aggiuntive, non quelle che il programma aggiunge in automatico.

La disponibilità di questo comando è di grande aiuto anche per poter intervenire sulle variabili e condizioni in modalità testo, usando il file creato come primo esempio e come avvio.

In seguito, con il comando [Importa](#)<sup>1172</sup>, si potranno importare nuove variabili e nuove condizioni che si andranno ad aggiungere a quelle esistenti.

Grazie a questo comando è anche possibile creare delle "biblioteche" di file che automatizzino certe verifiche ricorrenti, ad esempio relative a sezioni particolari o a normative particolari.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

### 3.9.7.5 Importa

**COMANDO: Post-Verifiche Libere-Importa****[Ribbon-Post 1]**

Questo comando importa in formato testo, le istruzioni relative alla aggiunta di variabili e di condizioni attualmente NON presenti nel modello. Non si possono aggiungere variabili con nome duplicato.

Alla esecuzione del comando si deve specificare un file TXT che contiene i blocchi con le istruzioni relative:

- alla aggiunta di variabili semplici
- alla aggiunta di variabili con if
- alla aggiunta di condizioni

Tra i blocchi è possibile inserire linee con \$ come primo carattere, che sono linee di commento.

Il formato dei singoli blocchi deve essere quello che si evince dall'esempio sottostante.

La disponibilità di questo comando è di grande aiuto anche per poter intervenire sulle variabili e condizioni in modalità testo, usando il file testo come contenitore delle istruzioni.

Il file può inizialmente essere generato con il comando [Esporta](#)<sup>1171</sup>, da quel file è poi possibile aggiungere nuovi blocchi.

Esempio:

```

ADDCHECK                                ; addition of a check
    Be1                                ; component name to which is applied (if is a
CHECK)
    Verifica di compressione            ; description
    El.Ncom < Cs.A * Mt.fy / gl.gM0      ; the condition
    Compressione                        ; explanation left side
    Massima Compressione                ; explanation right side
ADDVARIABLE                             ; addition of a variable
    DIM=SURFACE Area netta              ; dimension of the
variable, description
    El.Anet = Cs.A * El.redA            ; namevariable =
expression
ADDIFVARIABLE                           ; addition of a variable
    Mt.fyRed                           ; namevariable
    DIM=STRESS Tensione di snervamento ridotta ;
dimension of the variable, description
    if( Cs.tf <= 40 ) then Mt.fyRed = Mt.fy ;
    elseif( Cs.tf <= 60 ) then Mt.fyRed = Mt.fy-10*gl.MPa ;
    elseif( Cs.tf <= 80 ) then Mt.fyRed = Mt.fy-20*gl.MPa ;
    else                               Mt.fyRed = Mt.fy-30*gl.MPa ;

```

In questo esempio viene aggiunta una verifica, una variabile normale (El.Anet) e viene aggiunta una variabile con if (Mt.fyRed).

Valgono le seguenti regole:

1. Il ";" marca la fine della istruzione e l'inizio di un eventuale commento.
2. I commenti sono aggiunti automaticamente per spiegare il significato di ogni riga
3. Nel caso della variabile con IF la condizione iniziale (if) e finale (else) è sempre necessaria, mentre gli elseif sono opzionali (fino a un massimo di 8).
4. Nel caso di una variabile, occorre dare la DIMensione della variabile stessa. Le dimensioni possibili sono:
  - a. LEN                    lunghezza
  - b. SURFACE            superficie
  - c. AREA                superficie
  - d. SUPERFICIE        superficie
  - e. VOLUME            volume
  - f. INERZIA            momento di inerzia
  - g. FORZA              forza
  - h. MOMENTO          momento o coppia
  - i. STRESS             sforzo o pressione
  - j. SFORZO            sforzo o pressione
  - k. ROTAZIONE        rotazione (angolo)
  - l. NONE                nessuna dimensione, numero puro
  - m. NESSUNA          nessuna dimensione, numero puro
  - n. ADIMENSIONALE   nessuna dimensione, numero puro
  - o. FUL                forza per unità di lunghezza
  - p. FUV                forza per unità di volume
5. "Component name" è una stringa composta da sottostringhe separate da ",". Ogni sottostringa può essere scritta come si evince dalla seguente tabella:

Stringa	Esempio	Si applica a
Be#	Be123	Elemento trave numero 123

Tr#	Tr123	Elemento biella 123
Nd#	Nd13	Nodo numero 13
Su#	Su88	Superelemento 88
Gr#	Gr8	Elementi e nodi del gruppo 8 (meglio usare o nodi o elementi)
Cs#	Cs3	Tutti gli elementi che hanno la sezione numero 3
Ma#	Ma2	Tutti gli elementi che hanno materiale numero 2
Na*	NaBePrimoPiano	Tutti gli elementi il cui nome comincia con "BePrimoPiano"
Alln	Alln	Tutti i nodi
Allt	Allt	Tutti gli elementi biella
Allb	Allb	Tutti gli elementi trave

Ad esempio:

"Allt,Allb" (le virgolette vanno omesse).

"Tutte le bielle (truss) e tutte le travi (beam)"

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

### 3.9.7.6 Elimina tutto!

**COMANDO: Post-Verifiche Libere-Elimina Tutto!**

**[Ribbon-Post 1]**

Questo comando comporta la eliminazione:

- Di tutte le variabili aggiuntive rispetto a quelle preassegnate dal programma
- Di tutte le condizioni

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

### **3.9.7.7 Modifica Variabile o Condizione**

**COMANDO: Post-Verifiche Libere-Modifica Variabile o Condizione**

**[Ribbon-Post 1]**

Al comando si accede anche facendo doppio click sulla riga corrispondente alla variabile o condizione nel pannello alfanumerico.

Le variabili pre-definite non possono essere modificate.

Alla esecuzione del comando compare un dialogo che consente di modificare quanto serve. Il dialogo è lo stesso utilizzato per la aggiunta.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

### **3.9.7.8 Cancella Variabile o Condizione**

**COMANDO: Post-Verifiche Libere-Cancella Variabile o Condizione**

**[Ribbon-Post 1]**

Al comando si accede anche facendo premendo il tasto DEL sulla riga corrispondente alla variabile o condizione nel pannello alfanumerico.

Le variabili pre-definite non possono essere cancellate.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

### 3.9.7.9 Duplica Condizione!

**COMANDO: Post-Verifiche Libere-Duplica Condizione**

**[Ribbon-Post 1]**

Questo comando è usato per duplicare una condizione esistente. Si applica alla riga selezionata nel pannello alfanumerico ("Variabili e Condizioni").

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

### 3.9.7.10 Verifica!

**COMANDO: Post-Verifiche Libere-Verifica!**

**[Ribbon-Post 1]**

**CHK**  
**!**

Questo comando comporta la esecuzione delle verifiche libere.  
Perché il comando possa funzionare:

1. Deve essere stata eseguita la analisi statica.
2. Deve esistere almeno una condizione (una verifica) e non solo variabili.
3. Devono esistere delle combinazioni.

Per i dettagli su cosa avvenga si veda la sezione [Verifiche Libere](#)<sup>291</sup>. Alla fine delle verifiche viene creato un file binario FCK che contiene tutti i risultati pertinenti.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

### 3.9.7.11 Variabili Entità

Questo comando è utilizzato per gestire le variabili aggiuntive a corredo delle entità (nodi ed elementi monodimensionali, ovvero travi, bielle e superelementi).

Il comando serve per:

- Aggiungere, cancellare o modificare variabili a corredo dei nodi.
- Aggiungere, cancellare o modificare variabili e corredo degli elementi.

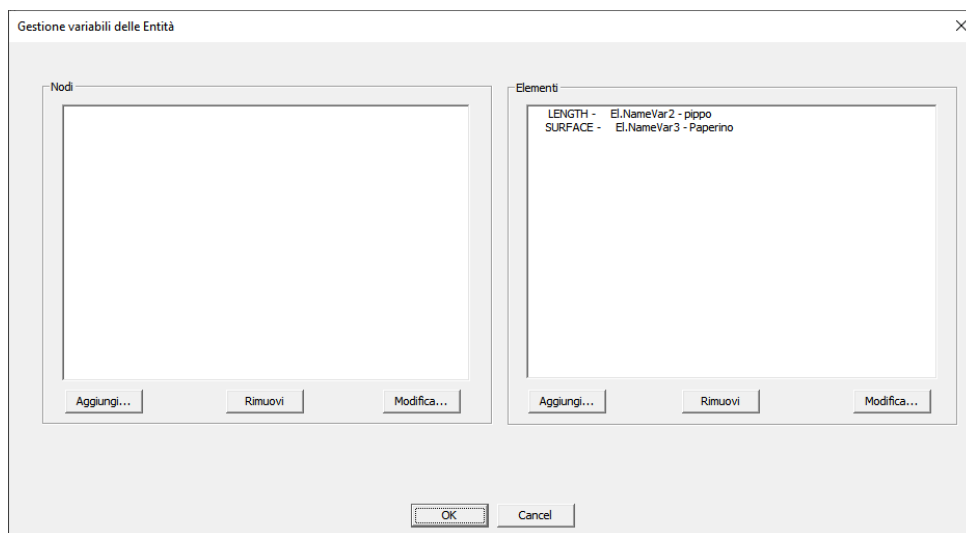
Alla esecuzione del comando compare un [opportuno dialogo](#)<sup>1178</sup>, che consente di eseguire le operazioni.

Questo comando *non serve a definire il valore delle variabili*, ma solo ad aggiungerle, rimuoverle, o modificarne nome, dimensione e descrizione.

#### 3.9.7.11.1 Gestione Variabili delle Entità (dialogo)

### **DIALOGO: Gestione delle Variabili delle Entità (dialogo)**





Il dialogo contiene due aree diverse e gemelle: una per i **Nodi**, una per gli **Elementi**.

I controlli lista enumerano le variabili attualmente presenti. A ogni variabile è associata una stringa composta da:

- la dimensione fisica della variabile
- il nome (completo di prefisso) della variabile
- la descrizione della variabile.

## ELEMENTI

Per aggiungere una variabile relativa agli elementi, premere il tasto **Aggiungi** posto a destra. Alla pressione del comando compare un [dialogo dedicato](#)<sup>1180</sup>, che serve a definire i dati della variabile.

Per cancellare una variabile relativa agli elementi, prima bisogna selezionare la variabile usando il controllo a lista posto a destra (cliccando su una riga diventa blu). Poi bisogna premere il tasto **Rimuovi** posto a destra. Le variabili si possono cancellare solo e soltanto se non sono mai referenziate nelle formule usate da altre variabili (aggiuntive) o da condizioni.

Per modificare una variabile relativa agli elementi, prima bisogna selezionare la variabile usando il controllo a lista posto a destra (cliccando su una riga diventa blu). Poi bisogna premere il tasto **Modifica** posto a destra. Alla esecuzione del comando compare [lo](#)

[stesso identico dialogo usato per la aggiunta](#)<sup>1180</sup>, con la differenza che i dati sono inizializzati al valore corrente.

## NODI

I comandi funzionano esattamente allo stesso modo, soltanto utilizzando i controlli posti a sinistra e non a destra.

## Nota bene

La rinominazione di una variabile che è stata usata in altre formule, può creare qualche problema e deve sempre essere fatta con attenzione. Per esempio, se esiste una variabile *Pippo* e una variabile *Pippo2*, la rinominazione di *Pippo* in *Pluto* potrebbe portare, in certi casi non intercettati come invece normalmente avviene, alla rinominazione nelle formule di *Pippo2* in *Pluto2*, anche se ciò non è voluto. Il programma è concepito per evitare il problema, ma bisogna controllare. Si consiglia quindi di usare questa opzione con attenzione e controllando le formule esistenti.

## Da notare

Il dialogo è anche usato in una versione nella quale resta visibile un solo controllo a lista. Ciò avviene quando l'unica cosa da fare è scegliere una delle variabili esistenti, al fine di modificarne il valore (comandi [Assegna Variabile Nodi](#)<sup>1181</sup> e [Assegna Variabile elementi](#)<sup>1182</sup>).

### 3.9.7.11.2 Variabile di Entità (dialogo)

## DIALOGO: Variabile di Entità (dialogo)

Dialog box titled "Variabile di Entità". It contains the following elements:

- A text input field labeled "NameVar" with the label "Nome" next to it.
- A text input field labeled "Undefined" with the label "Descrizione" next to it.
- A group box titled "Dimensione" containing a list of radio button options:
  - ☐ Lunghezza
  - ☐ Superficie
  - ☐ Volume
  - ☐ Inerzia
  - ☐ Forza
  - ☐ Momento
  - ☐ Sforzo
  - ☐ Angolo
  - ☒ Adimensionale
  - ☐ Forza per unità di lunghezza
  - ☐ Forza per unità di volume
- "OK" and "Cancel" buttons at the bottom right.

Il dialogo consente di definire:

- Il NOME della variabile (il cui nome finale completo sarà Nd.NOME, o El.NOME).
- La descrizione della variabile (che si consiglia di mantenere non troppo lunga).
- La dimensione fisica della variabile. Tale dimensione è fondamentale per le conversioni dei valori allorché il valore della variabile viene restituito, in qualsiasi forma, a schermo.

Se la variabile è già esistente, questo dialogo è usato per modificare i valori attualmente presenti per la variabile stessa.

#### 3.9.7.12 Assegna variabile nodi

Questo comando è attivo solo se ci sono nodi correntemente selezionati, e solo se esistono delle variabili di nodo, aggiunte in precedenza con il comando [Variabili Entità](#)<sup>[1178]</sup>.

Alla esecuzione del comando, compare [lo stesso dialogo](#)<sup>[1178]</sup> usato per il comando relativo alla gestione delle variabili, ma con visibile il solo controllo a lista relativo alle variabili di nodo. Ciò che occorre fare, è selezionare una delle variabili associate ai nodi,

perché in questo modo il programma sappia che variabile si intende modificare, sulle entità selezionate.

Immediatamente dopo appare un nuovo dialogo che chiede di specificare il valore per la variabile prescelta. Tale valore sarà assegnato, per quella variabile, a tutte le entità selezionate.

**Nota bene:** il valore deve essere dato considerando la dimensione della variabile e le unità di misura attive.

#### 3.9.7.13 Assegna variabile elementi

Questo comando è attivo solo se ci sono elementi (travi, o bielle o superelementi) correntemente selezionati, e solo se esistono delle variabili di elemento, aggiunte in precedenza con il comando [Variabili Entità](#)<sup>[1178]</sup>.

Alla esecuzione del comando, compare [lo stesso dialogo](#)<sup>[1178]</sup> usato per il comando relativo alla gestione delle variabili, ma con visibile il solo controllo a lista relativo alle variabili di elemento. Ciò che occorre fare, è selezionare una delle variabili associate agli elementi, perché in questo modo il programma sappia che variabile si intende modificare, sulle entità selezionate.

Immediatamente dopo appare un nuovo dialogo che chiede di specificare il valore per la variabile prescelta. Tale valore sarà assegnato, per quella variabile, a tutte le entità selezionate.

**Nota bene:** il valore deve essere dato considerando la dimensione della variabile e le unità di misura attive.

#### 3.9.8 Classe

**COMANDO: Post-Classe**

**[Ribbon-Post 1]**

1 3  
2 4

Questo comando fa vedere una mappa a colori con la classe del profilo. La classe è definita dalle norme EC3, mentre non viene esplicitamente definita dalle norme CNR e dalle AISC. La mappa a colori fa vedere in bianco le aste che soddisfano i limiti per i rapporti larghezza spessore, in rosso le aste che non li soddisfano. Nel caso dell'EC3 ad ogni colore corrisponde una classe. Bianco per la classe 1, verde per la classe 2, blu per la classe 3 e rosso per la classe 4.

### 3.9.9 Reazioni vincolari

#### 3.9.9.1 Mostra

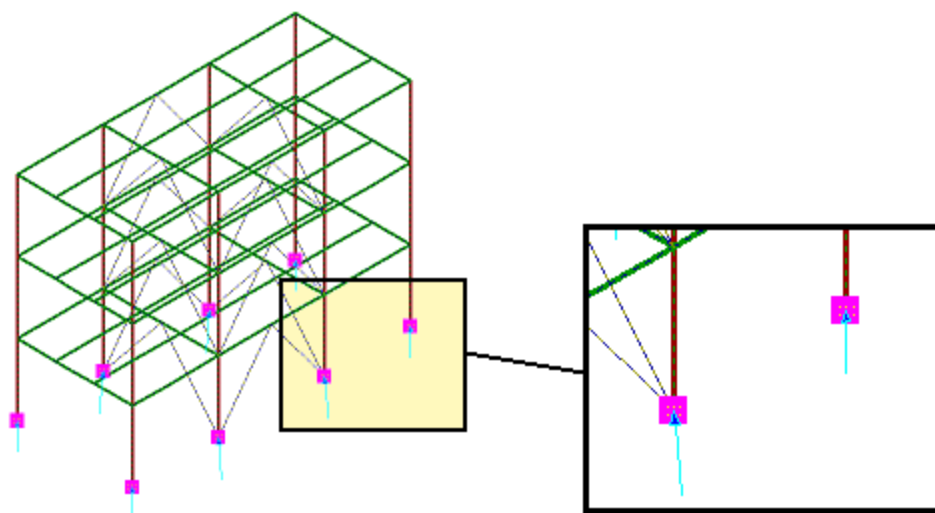
**COMANDO: Post-Reazioni vincolari-Mostra**

**[Ribbon-Post 1]**

**R↓**



Questo comando consente di attivare/disattivare la visualizzazione delle reazioni vincolari nel caso di carico o nella combinazione corrente. La direzione di ciascuna freccia dipende dal rapporto delle sue componenti in X, in Y e in Z. La lunghezza di ciascuna freccia è scalata in base alla massima reazione vincolare del caso o della combinazione corrente. Ad esempio, se su un nodo la reazione vincolare è di 100kN e su un altro di 50kN, la prima freccia sarà lunga il doppio della seconda.



**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista

### 3.9.9.2 Interroga

**COMANDO: Post-Reazioni vincolari-Interroga**

**[Ribbon-Post 1]**



Questo comando dà informazioni sulle reazioni vincolari dei nodi nel caso o nella combinazione attiva.

**Tipo:** non modale

**Destinazione:** vista

#### 3.9.9.2.1 Reazioni vincolari (Dialogo)

### REAZIONI VINCOLARI (DIALOGO)

Questo dialogo dà le reazioni vincolari sul nodo scelto nel caso o combinazione attiva.

### 3.9.9.3 Inviluppo dell'inviluppo

#### COMANDO: Post-Reazioni vincolari-Inviluppo dell'inviluppo

[Ribbon-Post 1]



Questo comando dà l'inviluppo dell'inviluppo delle reazioni vincolari sui nodi selezionati. Perché il comando abbia senso è necessario che siano precedentemente state definite delle combinazioni. Il comando è molto utile per stabilire i valori estremi che le reazioni vincolari di un insieme di nodi (al limite tutti o uno solo) hanno al variare di tutte le combinazioni presenti nel modello.

Ad esempio con questo comando è possibile verificare se esistono vincoli che vanno in trazione o quali siano i massimi e minimi delle reazioni vincolari sui plinti di fondazione.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** vista

### 3.9.9.4 Somma

#### COMANDO: Post-Reazioni vincolari-Somma

[Ribbon-Post 1]



Questo comando dà la somma delle reazioni vincolari dei nodi selezionati nel caso di carico o nella combinazione attiva. Nel caso in cui un grado di libertà sia libero, il programma dà il residuo e somma tale numero alle altre reazioni.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** vista

#### 3.9.9.5 Max Min

**COMANDO: Post-Reazioni vincolari-Max Min**

**[Ribbon-Post 1]**



Questo comando dà i valori massimi e minimi di ogni componente delle reazioni vincolari nel caso o combinazione attiva, considerando i nodi selezionati.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** vista

#### 3.9.9.6 Attrito

**COMANDO: Post-Reazioni vincolari-Attrito**

**[Ribbon-Post 1]**



Questo comando è utile per verificare se l'attrito sia sufficiente ad erogare le reazioni previste dai vincoli. Per fissare le idee, si consideri una struttura che in realtà è semplicemente appoggiata al suolo, senza altro che l'attrito a tenerla in posizione. Se nel modello i vincoli alla traslazione orizzontale sono stati aggiunti, facendo assegnamento proprio sull'attrito, è poi necessario verificare per ogni nodo selezionato:



- 1) Che non si abbia sollevamento, ovvero che la reazione vincolare di ciascun nodo sia diretta verso l'alto.
- 2) Che l'attrito sia sufficiente ad erogare le reazioni vincolari.

Nella ipotesi che la reazione vincolare stabilizzante sia diretta verso l'alto (+Z) e dette  $R_x$ ,  $R_y$  ed  $R_z$  le tre reazioni vincolari, e  $k$  il coefficiente di attrito, si dovrà verificare:

- a)  $R_z > 0$ . In caso contrario si ha sollevamento e lo "sfruttamento" è infinito
- b)  $k \cdot R_z \geq \sqrt{(R_x^2 + R_y^2)}$  definendo lo sfruttamento e come  $e = \sqrt{(R_x^2 + R_y^2)} / k \cdot R_z$

Alla esecuzione del comando si apre il dialogo sottostante.

**Attrito e sollevamento**

Direzione e verso reazione stabilizzante

☐ +X    ☐ -X

☐ +Y    ☐ -Y

☒ +Z    ☐ -Z

Coefficiente di attrito

0.3 K

Verifica:  $|k \cdot \text{Forza Stabilizzante}| > |\text{Forza instabilizzante}|$

Se la forza stabilizzante cambia segno, si ha "sollevamento" e sfruttamento = 99

Nel caso in cui la forza stabilizzante sia il peso, la reazione stabilizzante è +Z

OK Cancel

Il dialogo serve a indicare il coefficiente di attrito e la direzione ed il verso della componente stabilizzante (per strutture appoggiate con reazioni verticali, la reazione stabilizzante è diretta come +Z). Il comando è abbastanza generale da poter essere applicato anche a situazioni in cui la reazione stabilizzante sia diretta come ciascuno dei tre assi coordinati globali.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** vista

#### 3.9.9.7 Interroga forze mancanti

**COMANDO: Post-Reazioni vincolari - Interroga forze mancanti**

**[Ribbon-Post 1]**



Questo comando consente di interrogare i valori delle [forze mancanti](#)<sup>[542]</sup> da nodo a nodo.

Il comando è attivo solo in [modalità estrai](#)<sup>[750]</sup>.

Le "forze mancanti" sono ottenute sommando gli effetti sul nodo di tutti gli elementi non correntemente estratti e quindi "nascosti". In generale potranno essere più d'uno, e sono tutti gli elementi connessi al nodo in qualche modo (bielle, travi, piastre, membrane, molle e solidi).

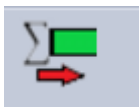
**Tipo:** non modale

**Destinazione:** vista

#### 3.9.9.8 Somma forze mancanti

**COMANDO: Post-Reazioni vincolari - Somma forze mancanti**

**[Ribbon-Post 1]**



Il comando è attivo solo in [modalità estrai](#)<sup>[750]</sup>.

Esso somma le [forze mancanti](#)<sup>[542]</sup> di tutti i nodi correntemente selezionati.

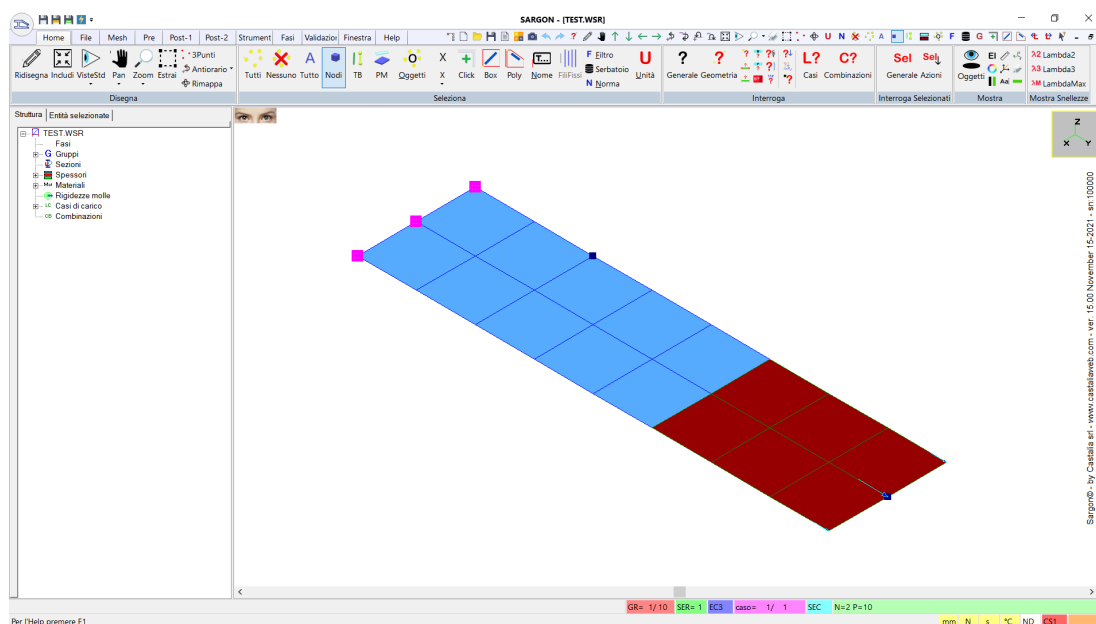
Il comando è lo strumento operativo fondamentale per ottenere le risultanti su sezioni che dividono la struttura in due parti.

Non è necessario che i nodi selezionati stiano su un piano.

Non è necessario che la struttura complessiva sia suddivisa, dalla operazione di estrazione, in due parti delle quali una visualizzata e l'altra no. E' anche possibile estrarre varie parti, e selezionare i nodi di una sezione alla volta con il comando.

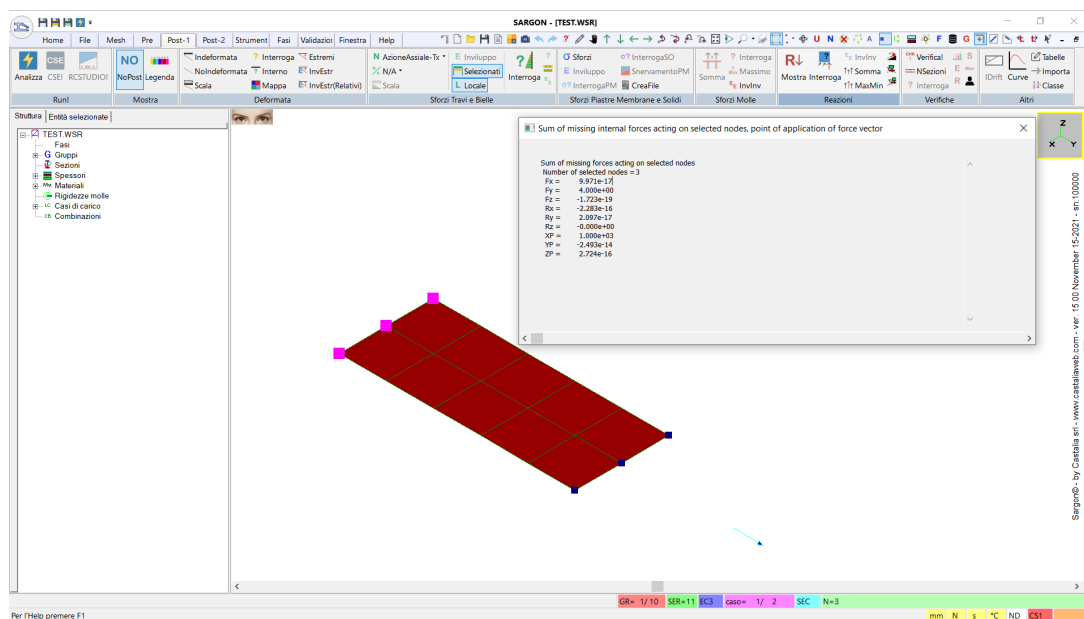
Alla esecuzione del comando compare un dialogo che dà:

- La somma delle forze mancanti agenti sui nodi selezionati in direzione X, Y e Z con le unità attive, ovvero il risultante **F**.
- La somma delle coppie mancanti agenti sui nodi selezionati, come vettore avente componente X, Y, Z, nelle unità attive.
- Le coordinate del punto di applicazione del risultante **F**, nelle unità attive.



Nell'esempio che precede, una membrana è caricata da tre forze dirette come Y all'estremo libero. Una forza di valore 2 al centro e due forze di valore 1 sui nodi di bordo, nella sezione di estremo.

Nella figura successiva sono selezionati i tre nodi che separano la parte visibile della membrana dalla parte nascosta, che prosegue.



Il punto di applicazione del risultante coincide con il nodo selezionato centrale, la risultante delle forze mancanti agenti sulla parte visibile è 4, in direzione +Y.

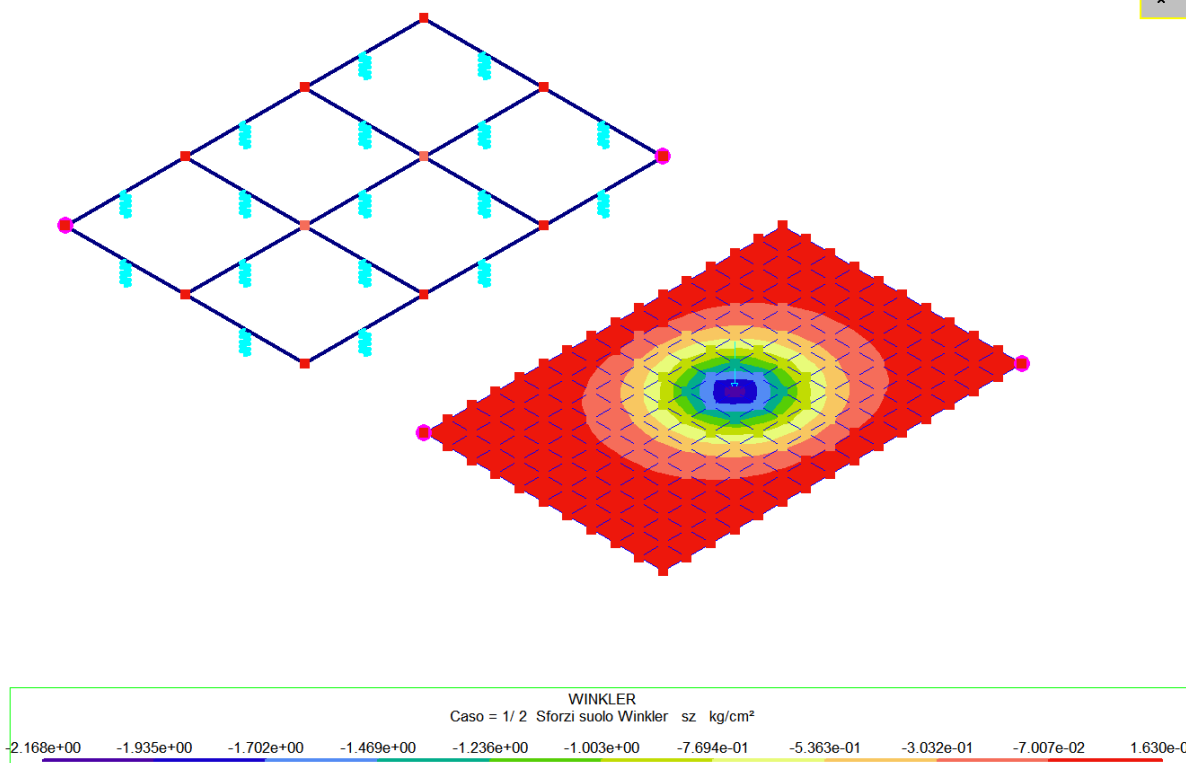
**Tipo:** modale

**Destinazione:** vista

### 3.9.9.9 Suolo Winkler

**COMANDO:** Post-Reazioni vincolari - Suolo Winkler

**[Ribbon-Post 1]**



Sargon© - by Castalia srl - www.castaliaweb.com - ver. 15.50 December 10-2022 - sn:100000

Questo comando consente di mappare sui nodi e sugli elementi plate-shell, le reazioni del suolo alla Winkler.

Perché il comando sia attivo è necessario:

- Che l'analisi statica sia stata eseguita
- Che esista almeno un nodo con attaccato:
  - Un elemento beam su suolo alla Winkler
  - Un elemento plate-shell su suolo alla Winkler

Il comando produce una mappa a colori con il valore dello sforzo preso dal terreno alla Winkler, secondo una delle tre possibili componenti, x, y, z. Lo sforzo ha le dimensioni di una forza per unità di superficie.

La scelta della componente (x, y, z) si fa con [lo stesso dialogo](#)<sup>[1108]</sup> che si attiva con il comando [Post-Spostamenti-Mappa](#)<sup>[1108]</sup>. Valgono le seguenti corrispondenze:

- Spostamento Tx, sforzo  $\sigma_x$ .
- Spostamento Ty, sforzo  $\sigma_y$
- Spostamento Tz, sforzo  $\sigma_z$

E' anche possibile attivare la modalità inviluppo. NON ha senso chiedere altre componenti, in questo caso il programma attiva la componente  $\sigma_z$ .

La modalità di restituzione della mappa colorata con gli sforzi cambia a seconda che il nodo sia o no attaccato a un elemento piastra su suolo alla Winkler.

- Se il nodo è attaccato a un elemento beam, la costante  $k_w$  viene ricostruita dividendo per B (per flessioni attorno all'asse 2), o H (per flessioni attorno all'asse 3), la costante  $k_2$  o  $k_3$  dell'elemento beam. Tali valori sono definiti solo per le seguenti sezioni:
  - rettangolari,
  - a T a spigoli vivi,
  - a C a spigoli vivi,
  - a cassone a spigoli vivi.

Si suppone, in sostanza, che la trave su suolo alla winkler abbia uno di questi tipi sezionali. Il programma cerca per ogni nodo il primo elemento beam su suolo alla Winkler e se lo trova determina:

1. Le componenti di spostamento nel sistema locale (1, 2, 3).
2. Le componenti di sforzo nel sistema locale (1, 2, 3) moltiplicando  $k_{w2}$  per w, e  $k_{w3}$  per v.
3. Le componenti di sforzo nel sistema globale (x, y, z), cambiando il sistema di riferimento.

Perché lo sforzo sia visibile come quadratino opportunamente colorato, deve essere visibile il simbolo dei "nodi" (comando [Mostra-Oggetti](#)<sup>[695]</sup>, dialogo [Oggetti](#)<sup>[696]</sup>).

- Se il nodo è attaccato a un elemento plate-shell, la costante  $k_w$  è quella del primo elemento plate-shell trovato. Lo sforzo è determinato moltiplicando lo spostamento del nodo nella direzione 3 del sistema locale della piastra per la costante  $k_w$  dell'elemento, e poi trasformando il vettore dal sistema locale (1, 2, 3) a quello globale (x, y, z). Rileva il primo elemento plate-shell trovato. Oltre a restituire il quadratino colorato del nodo (se la opzione di rappresentazione dei simboli dei nodi è attiva), il programma mostra anche una mappa a colori all'interno dell'elemento plate shell.
- Se un nodo appartiene sia a un elemento trave su suolo alla Winkler, sia a una piastra, rileva l'elemento beam per la determinazione di  $k_w$ .
- Non è buona pratica avere su un nodo più elementi alla Winkler con  $k_w$  diverso.
- Il comando è attivo:
  - Per i casi di carico
  - Per le combinazioni
  - Per gli involucri del combi set attivo.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista

### 3.9.10 Modale

#### 3.9.10.1 Mostra

**COMANDO:** Post-Modale-Mostra

**[Ribbon-Post 2]**



Questo comando fa vedere la deformate del modo scelto dall'utente.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista

#### 3.9.10.1.1 Deformata modale (Dialogo)

### DEFORMATA MODALE (DIALOGO)

Questo dialogo fa scegliere il modo del quale vedere la deformata.

#### 3.9.10.2 Mappa

### COMANDO: Post-Modale-Mappa

[Ribbon-Post 2]



Questo comando serve a vedere una mappa a colori con la rappresentazione di una delle componenti dello spostamento modale. Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>1194</sup> che consente di scegliere la componente di interesse.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** vista

#### 3.9.10.2.1 Scelta di una componente (Dialogo)

### SCELTA DI UNA COMPONENTE (DIALOGO)

Questo dialogo è usato da vari comandi. Esso serve a scegliere quale componente dello spostamento verrà visualizzata. Si può scegliere una componente traslazionale, una componente rotazionale o la risultante delle traslazioni.



### 3.9.10.3 Interroga

#### COMANDO: Post-Modale-Interroga

[Ribbon-Post 2]



Questo comando dà [informazioni](#)<sup>[1195]</sup> sui risultati della analisi modale. Si tratta di un comando molto importante perchè con questo comando si ha notizia di dati fondamentali ai fini della valutazione dei risultati della analisi: è con questo comando che si conosce la percentuale di massa partecipante di ogni modo e il totale raggiunto.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

#### 3.9.10.3.1 Informazioni sull'analisi modale (Dialogo)

#### INFORMAZIONI SULLA ANALISI MODALE (DIALOGO)

Questo dialogo dà informazioni sui risultati della analisi modale.

### 3.9.10.4 Modo successivo!

#### COMANDO: Post-Modale-Modo successivo

[Ribbon-Post 2]



Questo comando fa passare dal modo attualmente mostrato al modo successivo. E' attivo solo se vi è un modo correntemente rappresentato.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista

### 3.9.10.5 Modo precedente!

**COMANDO:** Post-Modale-Modo precedente

[Ribbon-Post 2]



Questo comando fa passare dal modo attualmente mostrato al modo precedente. E' attivo solo se vi è un modo correntemente rappresentato.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista

### 3.9.11 Buckling

#### 3.9.11.1 Mostra

**COMANDO:** Post-Buckling-Mostra

[Ribbon-Post 2]



Questo comando fa vedere la deformate del modo scelto dall'utente.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista

##### 3.9.11.1.1 Deformata modale critica (Dialogo)

### DEFORMATATA MODALE (DIALOGO)

Questo dialogo fa scegliere il modo del quale vedere la deformata.

### 3.9.11.2 Mappa

#### COMANDO: Post-Buckling-Mappa

[Ribbon-Post 2]



Questo comando serve a vedere una mappa a colori con la rappresentazione di una delle componenti dello spostamento della deformata critica. Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[1194]</sup> che consente di scegliere la componente di interesse.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** vista

#### 3.9.11.2.1 Scelta di una componente (Dialogo)

#### SCELTA DI UNA COMPONENTE (DIALOGO)

Questo dialogo è usato da vari comandi. Esso serve a scegliere quale componente dello spostamento verrà visualizzata. Si può scegliere una componente traslazionale, una componente rotazionale o la risultante delle traslazioni.

### 3.9.11.3 Interroga

#### COMANDO: Post-Buckling-Interroga

[Ribbon-Post 2]



Questo comando dà [informazioni](#)<sup>[1198]</sup> sui risultati della analisi di buckling. Si tratta di un comando molto importante perchè con questo comando si può conoscere il valore di ogni moltiplicatore critico in ogni combinazione.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

#### 3.9.11.3.1 Informazioni sull'analisi di buckling (Dialogo)\_2

### INFORMAZIONI SULLA ANALISI DI BUCKLING (DIALOGO)

Questo dialogo dà informazioni sui risultati della analisi di buckling, in particolare ogni moltiplicatore associato a ognuno dei modi critici di ogni combinazione.

Se il moltiplicatore vale 0 la combinazione non era selezionata al momento della esecuzione della analisi. Se il moltiplicatore vale (convenzionalmente) 10000, allora l'analisi di buckling avrebbe richiesto un moltiplicatore negativo (ovvero i carichi avrebbero dovuto cambiare segno: l'instabilità è giudicata impossibile e si pone il valore del moltiplicatore pari ad un numero molto alto).

#### 3.9.11.4 Metodo generale

### COMANDO: Post-Buckling-Metodo generale

[Ribbon-Post 2]



Questo comando può essere eseguito solo se è già stata eseguita una analisi statica ed una analisi di buckling. Si raccomanda di controllare che i primi modi della analisi di buckling siano positivi: se ciò non avviene si consiglia di rieseguire la medesima analisi di buckling chiedendo un ordine del sottospazio maggiore, in modo da includere anche modi con moltiplicatore positivo.

Il comando consente di usare il [metodo generale](#)<sup>368</sup> già descritto in precedenza e molto utile per lo studio dei fenomeni di instabilità globale o semi-globale (non locale ovvero di singole aste) delle strutture.

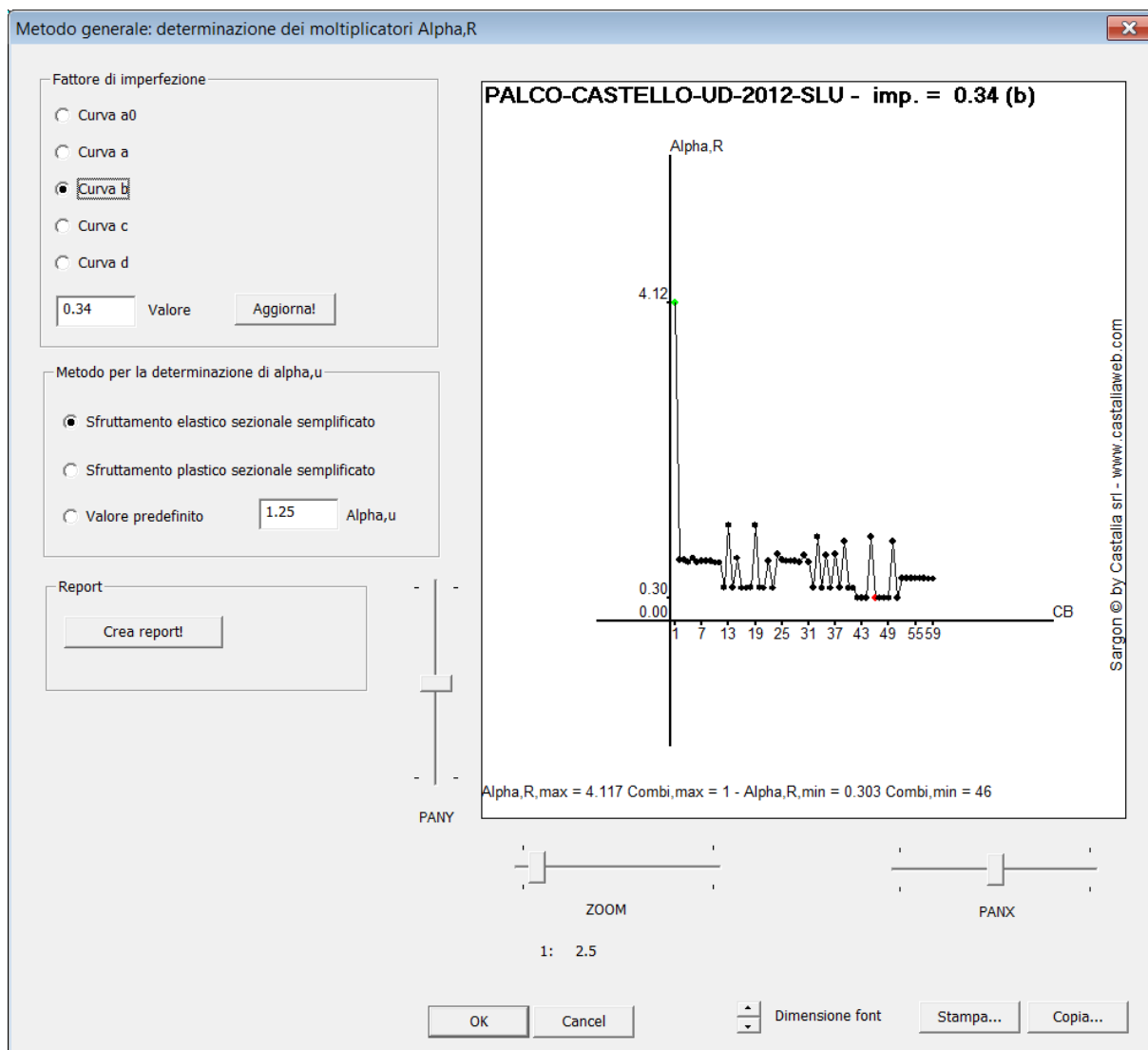
Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>1199</sup>, che consente di fare tutte le scelte necessarie.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** vista

3.9.11.4.1 Metodo generale: determinazione dei moltiplicatori Alpha,R (dialogo)

### **METODO GENERALE: DETERMINAZIONE DEI MOLTIPLICATORI ALPHA,R (DIALOGO)**



Il dialogo consente di avere i risultati sia in forma di grafico (nel grande riquadro a destra) che in formato testo (creando un file opportuno). Nel primo caso l'immagine può essere copiata negli appunti (**Copia**) e da lì incollata dove si vuole, o direttamente stampata (**Stampa**). Nel secondo caso il file, aperto automaticamente dopo aver premuto il bottone **Crea Report!**, può essere a sua volta copiato e incollato o direttamente stampato.

Per prima cosa si sceglie un **fattore di imperfezione**, o cliccando su uno dei bottoni relativi alle curve di stabilità ( $a_0$ , a, b, c, d) o introducendo direttamente il fattore di imperfezione desiderato e premendo il bottone **Aggiorna!**.

Poi si sceglie il modo con cui, per ogni combinazione, il programma valuta  $\alpha_u$ . Si danno tre possibilità:

1. Si usa un criterio elastico semplificato e il moltiplicatore desiderato è il numero che, moltiplicato per la combinazione dà luogo al raggiungimento del limite elastico in un elemento; ovviamente se la combinazione deve avere qualche speranza di essere sostenibile, tale moltiplicatore deve essere maggiore di 1. Si usano 11 sezioni per gli elementi trave. Il criterio è:  $|N/N_{el}| + |M_2/M_{2el}| + |M_3/M_{3el}| = 1$ , con  $N_{el} = Af_y$ , e  $M_{2el} = W_{2el}f_y$ , ecc.. Non sono applicati fattori  $\gamma_M$ .
2. Si usa un criterio plastico semplificato e il moltiplicatore desiderato è il numero che, moltiplicato per la combinazione, dà luogo al raggiungimento del limite plastico in una sezione di un certo elemento. Si usano 11 sezioni per gli elementi trave. Il criterio è:  $|N/N_{pl}| + |M_2/M_{2pl}| + |M_3/M_{3pl}| = 1$ , con  $N_{pl} = Af_y$ , e  $M_{2pl} = W_{2pl}f_y$ , ecc.. Non sono applicati fattori  $\gamma_M$ .
3. Si usa, per tutte le combinazioni, un medesimo moltiplicatore indicato nella casella "Alpha, u". Tale metodo può essere utile se si hanno migliori informazioni sui valori attesi di  $\alpha_u$  e li si vogliono utilizzare.

E' importante osservare che i primi due metodi analizzano ***solo gli elementi selezionati al momento della esecuzione del comando***. Se non ci sono elementi selezionati il moltiplicatore è indefinito. La possibilità di escludere dalla selezione elementi reputati non significativi consente di meglio valutare il moltiplicatore a cui si è interessati.

Il disegno riporta in ascissa le combinazioni ordinate da 1 a N, dove N è il numero totale di combinazioni. In ordinata è riportato l' $\alpha_R$  associato a ogni combinazione.

Nel disegno, il punto corrispondente alla combinazione con il massimo  $\alpha_R$  è verde, rosso quello corrispondente al minimo  $\alpha_R$ .

Per non avere un disegno troppo affollato di numeri vengono stampati solo circa 10 numeri di combinazione, ad intervallo circa eguale a  $N/10$ . La lista esatta dei valori può essere ottenuta dal report in formato testo.

Il diagramma riporta le curve relative ai primi tre modi critici. Il primo, per ogni combinazione, è quello che comporta il minore moltiplicatore critico. Il secondo ed il terzo sono i modi critici immediatamente successivi. Ciò consente, per qualche combinazione per la quale il primo modo critico non sia significativo, di osservare anche i risultati per il secondo e per il terzo modo critico.

#### 3.9.11.5 Modo successivo!

**COMANDO: Post-Buckling-Modo successivo**

[Ribbon-Post 2]



Questo comando fa passare dal modo critico attualmente mostrato al modo successivo. E' attivo solo se vi è un modo correntemente rappresentato e se è attiva una combinazione.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista

#### 3.9.11.6 Modo precedente!

**COMANDO: Post-Buckling-Modo precedente**

[Ribbon-Post 2]



Questo comando fa passare dal modo critico attualmente mostrato al modo precedente. E' attivo solo se vi è un modo correntemente rappresentato e se è attiva una combinazione.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista



### 3.9.12 Spettro di risposta

#### 3.9.12.1 Colloca periodi...

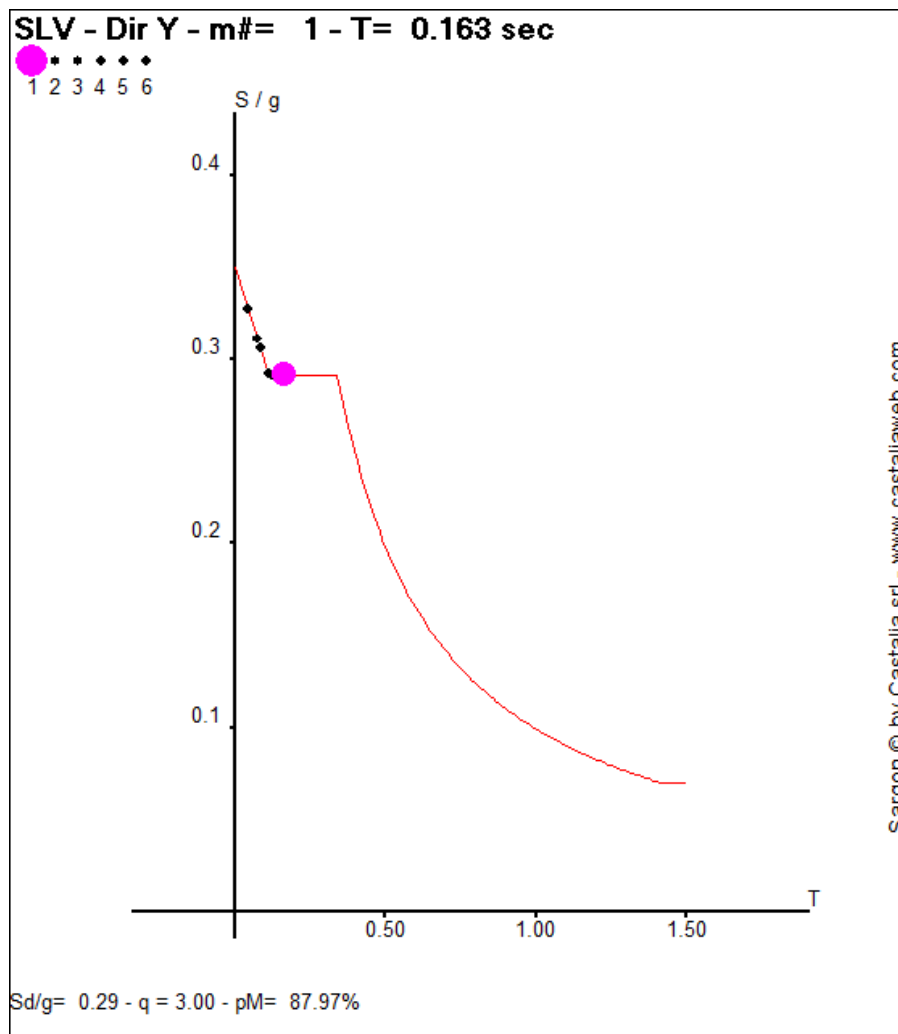
### Comando: Colloca periodi...

[Ribbon-Post 2]



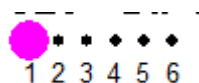
Questo comando è utile dopo aver eseguito una analisi modale, al fine di avere informazioni sui coefficienti di risposta associati a ciascun modo, insieme con la relativa massa partecipante.

Il comando è attivo solo se ci si posiziona in un caso di carico con etichetta "SISMA MODALE", solo se l'etichetta di tale caso di carico consente di scegliere tra uno dei sismi attualmente definiti, e solo se è stata eseguita la analisi modale. Non è necessario che sia (già) stata eseguita la analisi a spettro di risposta.



Una volta eseguito il comando compare un opportuno dialogo di tipo modale, all'interno del quale possono essere fatte alcune scelte. Le immagini di interesse vengono visualizzate all'interno del dialogo, e, da lì, possono essere stampate o copiate negli appunti per essere trasferite ad altre applicazioni (Word, Blocco Note, Paint, eccetera).

Nella figura precedente si vede uno spettro di risposta (associato alle norme NTC ) e la evidenziazione dei vari periodi corrispondenti ai modi estratti al di sopra della curva. La dimensione dei cerchi è in relazione con la percentuale di massa partecipante. Il pallino di colore magenta corrisponde al modo selezionato, che è anche indicato nel titolo "SLV - Dir Y - m# 1 - T = 0.163 sec". In questo caso il modo numero 1.



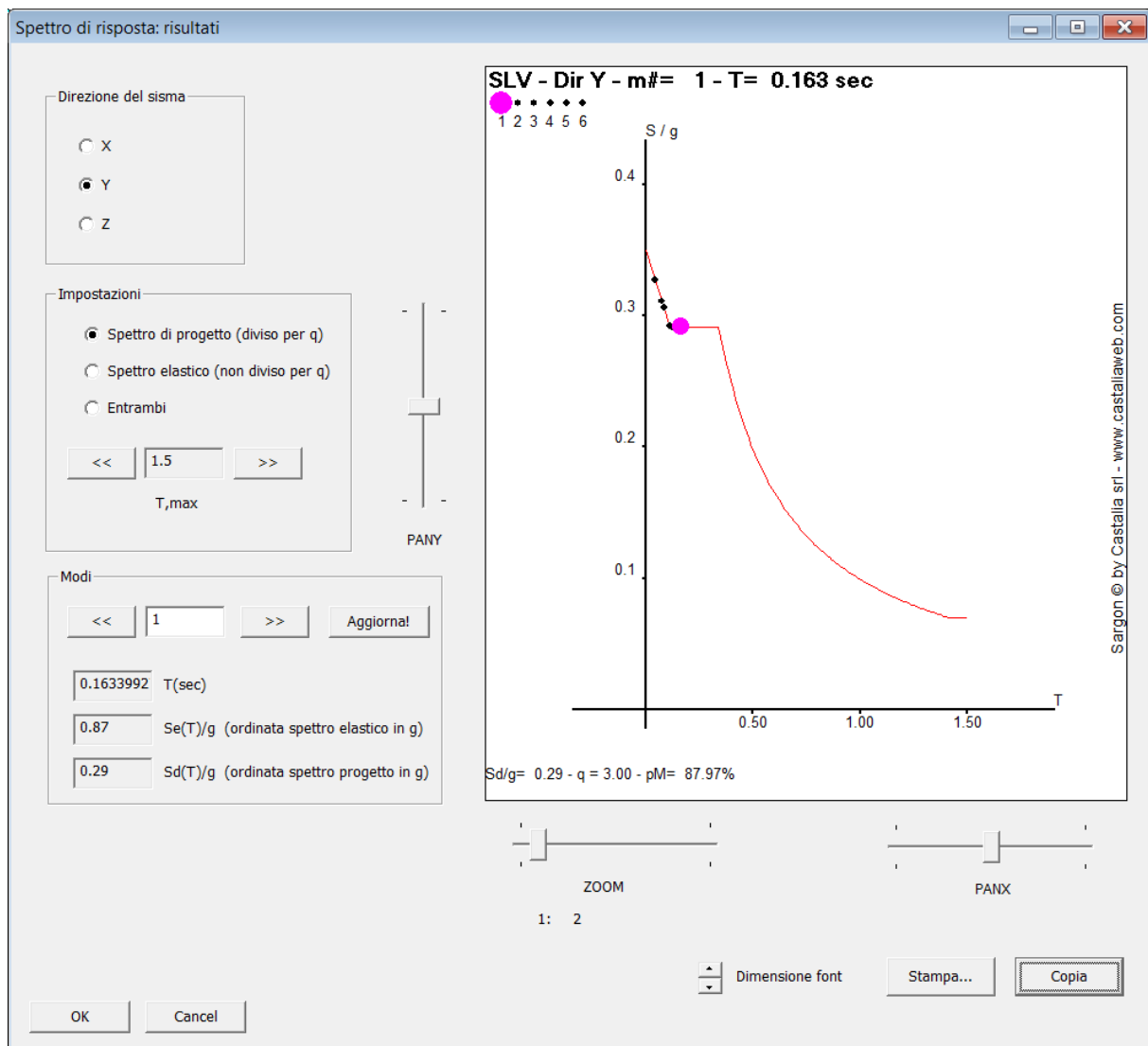
Sopra la rappresentazione dello spettro sono mostrate le percentuali di massa partecipante di ciascun modo estratto, sotto forma di cerchi di diversa dimensione.

Infine, in calce, è indicato il coefficiente di risposta,  $S_d/g$ , in unità g, il fattore di struttura, e la percentuale di massa partecipante del modo scelto.

Per il funzionamento del comando si rimanda alle note relative al dialogo Spettro di risposta: risultati.

#### 3.9.12.1.1 Spettro di risposta: risultati (dialogo)

Questo dialogo serve a estrarre in forma grafica alcuni risultati relativi alla analisi a spettro di risposta.



Per prima cosa si decide la direzione (**X, Y, Z**), il che consente di prendere lo spettro opportuno, tra i tre associati ad ogni sisma. Tra gli spettri definiti sarà scelto quello relativo al caso di carico attivo. Poi si sceglie se vedere lo spettro di progetto (ovvero diviso per il fattore di struttura) o quello elastico ( $q=1$ ). Si può anche scegliere di vedere entrambi gli spettri contemporaneamente.

Per evitare di vedere parti di spettro inutili, si può decidere sino a che massimo periodo **T,max** lo spettro sarà rappresentato.

I controlli "<<", ">>", "**Aggiorna!**", servono a determinare quale sia il modo selezionato. In corrispondenza ad esso, nei campi read only Se(T)/g ed Sd(T)/g si hanno i valori del coefficiente di risposta in unità g per lo spettro elastico e per quello di progetto (diviso per q), rispettivamente.

Il bottone "**Stampa...**" manda direttamente in stampa l'immagine.

Il bottone "**Copia**" copia l'immagine negli appunti.

I cursori "**Zoom**", "**Pan X**" e "**Pan Y**" servono a modificare il livello di zoom ed a spostare l'immagine.

Infine, le frecce associate alla "**Dimensione font**" servono a modificare la dimensione delle scritte nella finestra.

### 3.9.13 Fibre

#### 3.9.13.1 Sezione successiva

**COMANDO: Post-Fibre-Sezione successiva**

**[Ribbon-Post 2]**



Quando sono visualizzati i [risultati nelle sezioni a fibre](#)<sup>1208</sup>, questo comando fa passare alla sezione successiva dell'elemento corrente.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista

#### 3.9.13.2 Sezione precedente

**COMANDO: Post-Fibre-Sezione precedente**

**[Ribbon-Post 2]**



Quando sono visualizzati i [risultati nelle sezioni a fibre](#)<sup>1208</sup>, questo comando fa passare alla sezione precedente dell'elemento corrente.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista

### 3.9.13.3 Mostra sforzi sezione

**COMANDO: Post-Fibre-Mostra sforzi sezione**

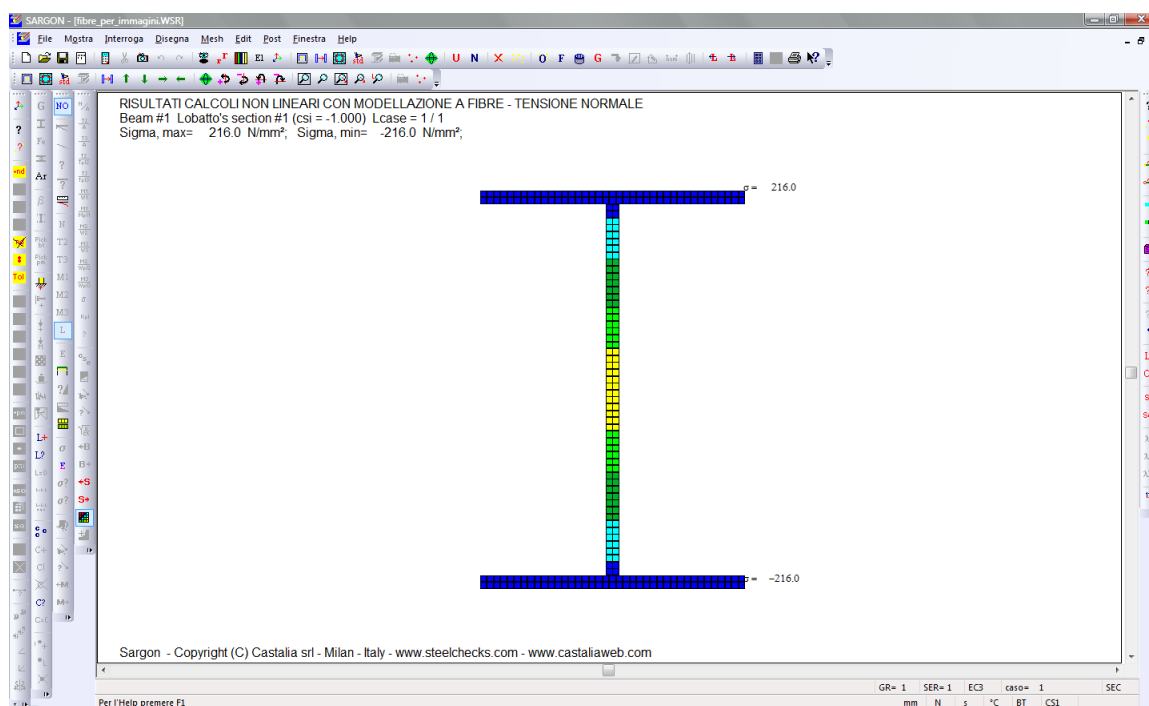
**[Ribbon-Post 2]**



Questo comando fa vedere gli **sforzi** nelle sezioni a fibre, calcolati con l'analisi nonlineare (solutore CURAN). Il comando è attivo quando:

1. è stata eseguita un'analisi nonlineare con Curan;
2. è selezionato uno e un solo elemento beam;
3. tale elemento è a fibre.

Se le condizioni suddette sono soddisfatte, nella vista di Sargon viene mostrata una sezione trasversale dell'elemento selezionato, modellata a fibre. La vista piana della sezione sostituisce la vista tridimensionale della struttura. Per tornare alla struttura, basta eseguire nuovamente questo comando oppure eseguire il comando [No post](#)<sup>[1261]</sup>. Per visualizzare la sezione di un altro elemento, è necessario tornare alla struttura, deselectare l'elemento corrente e selezionare l'elemento desiderato.



Con questo comando vengono mostrati gli sforzi; è disponibile un comando simile per visualizzare le [deformazioni](#)<sup>[1210]</sup>.

Per ogni elemento sono disponibili più sezioni, in numero pari al numero di [punti di Lobatto](#)<sup>[624]</sup> richiesto nelle impostazioni dell'analisi nonlineare. Ogni sezione è in corrispondenza di un punto di Lobatto. Per passare da una sezione all'altra si usano i comandi [Sezione successiva](#)<sup>[1207]</sup> e [Sezione precedente](#)<sup>[1207]</sup>, eseguibili anche con i bottoni **+S** **S+**. Inoltre, si possono usare anche i tasti destro e sinistro del mouse.

Durante la visualizzazione delle sezioni a fibre è possibile utilizzare i comandi di zoom e pan della vista (menu **Disegna**), nonché copiare negli appunti la vista corrente, con il comando [Copia](#)<sup>[883]</sup> del menu **Edit**.

Per informazioni dettagliate sulla resa grafica delle fibre e sull'interpretazione dei risultati, si veda la sezione dedicata alle fibre nell'argomento [Analisi non lineari con il solutore CURAN](#)<sup>[243]</sup>.

Le fibre plasticizzate sono in colore rosso. Quelle rotte sono in colore bianco.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista

### 3.9.13.4 Mostra deformazioni sezione

**COMANDO: Post-Fibre-Mostra deformazioni sezione**

**[Ribbon-Post 2]**

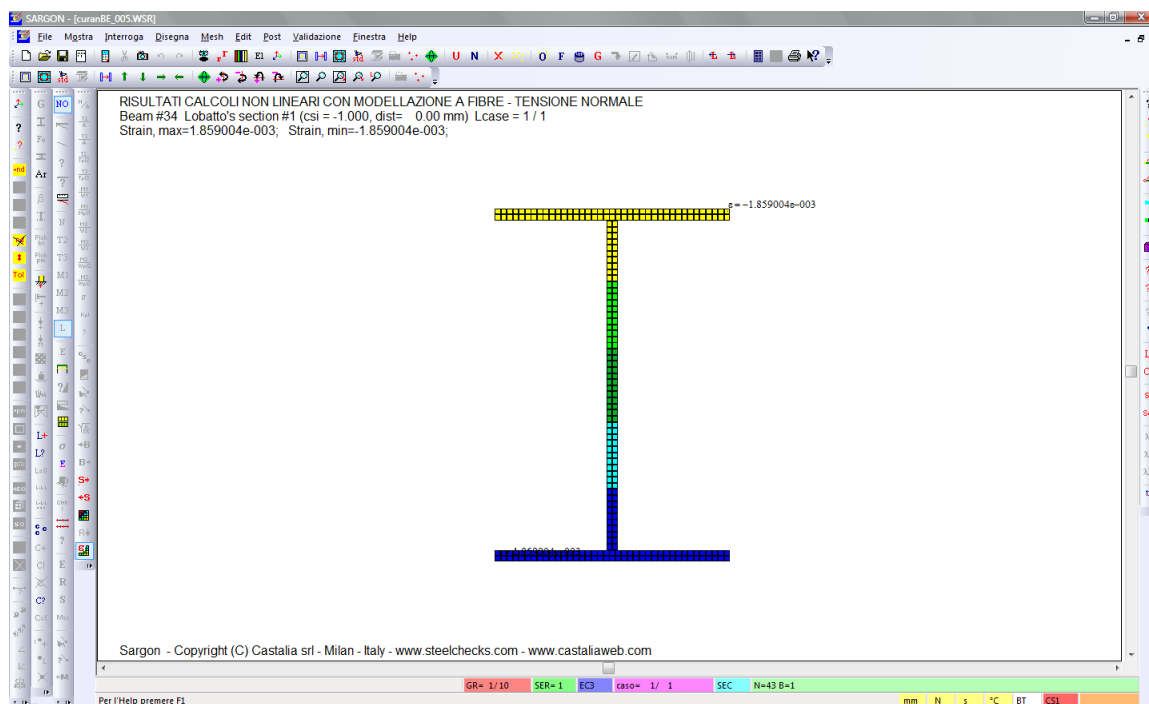


Questo comando fa vedere le **deformazioni** nelle sezioni a fibre, calcolate con l'analisi nonlineare (solutore CURAN). Il comando è attivo quando:

1. è stata eseguita un'analisi nonlineare con Curan;
2. è selezionato uno e un solo elemento beam;
3. tale elemento è a fibre.

Se le condizioni suddette sono soddisfatte, nella vista di Sargon viene mostrata una sezione trasversale dell'elemento selezionato, modellata a fibre. La vista piana della sezione sostituisce la vista tridimensionale della struttura. Per tornare alla struttura, basta eseguire nuovamente questo comando oppure eseguire il comando [No post](#)<sup>[1261]</sup>. Per visualizzare la sezione di una altro elemento, è necessario tornare alla struttura, deselegionare l'elemento corrente e selezionare l'elemento desiderato.





Con questo comando vengono mostrate le deformazioni; è disponibile un comando simile per visualizzare gli [sforzi](#)<sup>[1208]</sup>.

Per ogni elemento sono disponibili più sezioni, in numero pari al numero di [punti di Lobatto](#)<sup>[624]</sup> richiesto nelle impostazioni dell'analisi nonlineare. Ogni sezione è in corrispondenza di un punto di Lobatto. Per passare da una sezione all'altra si usano i comandi [Sezione successiva](#)<sup>[1207]</sup> e [Sezione precedente](#)<sup>[1207]</sup>, eseguibili anche con i bottoni **+S** **S+**. Inoltre, si possono usare anche i tasti destro e sinistro del mouse.

Durante la visualizzazione delle sezioni a fibre è possibile utilizzare i comandi di zoom e pan della vista (menu **Disegna**), nonché copiare negli appunti la vista corrente, con il comando [Copia](#)<sup>[883]</sup> del menu **Edit**.

Per informazioni dettagliate sulla resa grafica delle fibre e sull'interpretazione dei risultati, si veda la sezione dedicata alle fibre nell'argomento [Analisi non lineari con il solutore CURAN](#)<sup>[243]</sup>.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista

### 3.9.13.5 Mostra percentuale di plasticizzazione

**COMANDO:** Post-Fibre-Mostra percentuale di plasticizzazione

**[Ribbon-Post 2]**



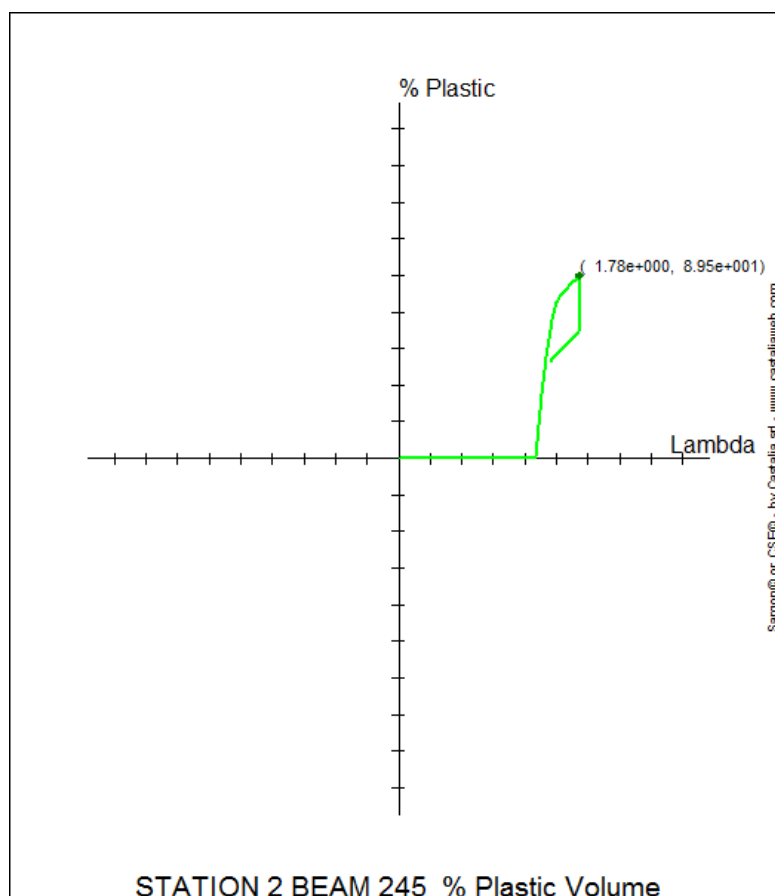
Questo comando mostra gli elementi beam colorati in funzione della loro percentuale di plasticizzazione. Per "percentuale di plasticizzazione" si intende il rapporto tra il volume plasticizzato ed il volume dell'elemento. Per gli elementi truss, il comando non ha senso dato che la plasticizzazione, se c'è, riguarda l'intero volume dell'elemento.

Gli elementi vengono colorati in funzione della loro percentuale di plasticizzazione nel modo che segue.

- Se non sono plasticizzati, sono disegnati in giallo.
- Se il loro volume plasticizzato è sotto il 20% sono colorati in rosso tenue (RGB(255, 119, 119)).
- Se il loro volume plasticizzato è sotto il 40% sono colorati in rosso medio (RGB(255, 60, 60)).
- Se il loro volume plasticizzato è sotto il 60% sono colorati in rosso (RGB(255, 0, 0)).
- Se il loro volume plasticizzato è sotto il 80% sono colorati in rosso scuro (RGB(200, 0, 0)).
- Altrimenti sono colorati in rosso cupo (RGB(150, 0, 0)).

Il volume plasticizzato è un indice di danneggiamento ed è utile per localizzare le cerniere plastiche che si sono eventualmente formate negli elementi beam a fibre. Il comando è attivo solo in corrispondenza a casi di carico (non combinazioni che in ambito non lineare non hanno senso) e presume che sia stata fatta una analisi non lineare con il solutore CURAN FULL.

Nell'esaminare le cerniere plastiche, e la loro diffusione lungo l'asse dell'elemento, si deve tenere presente che esse si riferiscono al punto in cui è terminata l'analisi nel caso di carico corrente. In particolare l'analisi può non aver applicato l'intero carico a causa di instabilità o rotture che hanno innescato un ramo discendente ed un eventuale scarico nelle cerniere plastiche eventualmente formate.



Ad esempio in questo caso l'elemento 245 presenta un volume plasticizzato al termine della analisi inferiore al massimo che è raggiunto per  $\lambda=1.78$ , ovvero nella seconda stazione ( $\lambda > 1$ ) quando era stato applicato il 78% del carico previsto. Il massimo "storicamente" raggiunto è del 89,5%, mentre il valore a fine analisi è solo pari al 47,7%.

### 3.9.13.6 Mostra percentuale di rottura

**COMANDO: Post-Fibre-Mostra percentuale di rottura**

**[Ribbon-Post 2]**



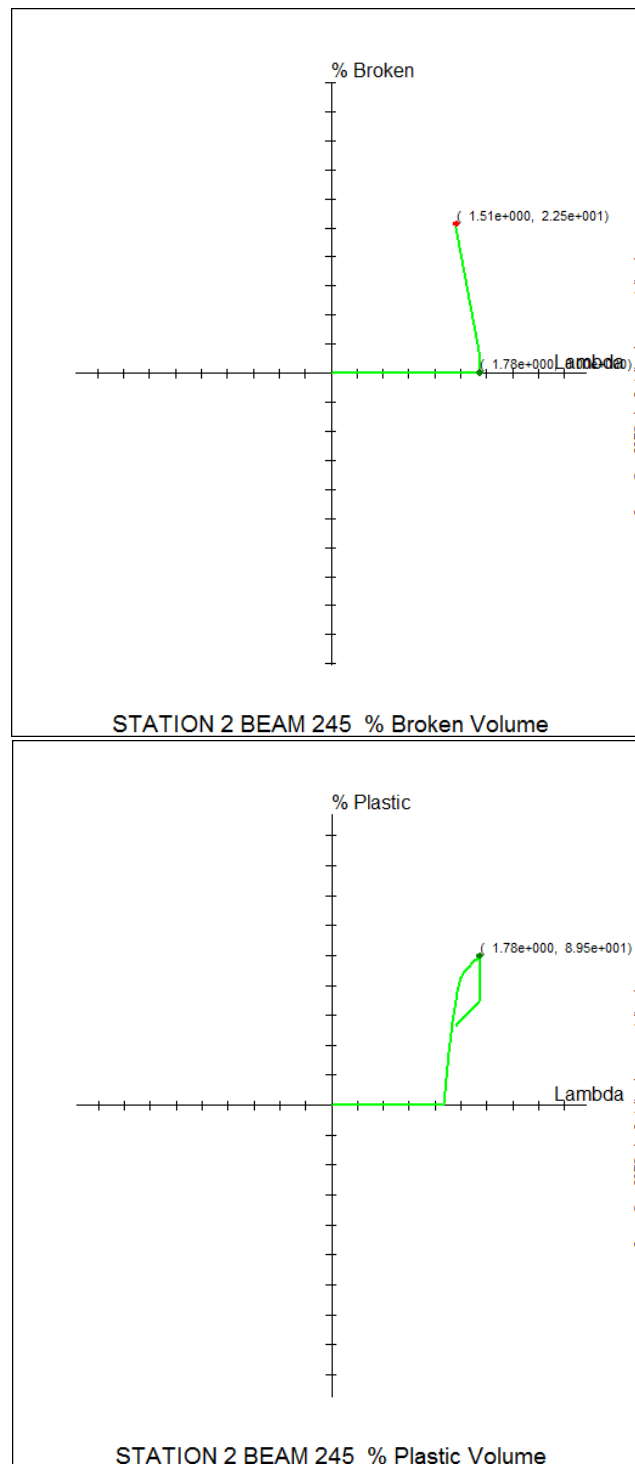
Questo comando mostra gli elementi beam colorati in funzione della loro percentuale di rottura. Per "percentuale di rottura" si intende il rapporto tra il volume plasticizzato ed il volume dell'elemento. Per gli elementi truss, il comando non ha senso dato che la rottura, se c'è, riguarda l'intero volume dell'elemento.

Gli elementi vengono colorati in funzione della loro percentuale di rottura nel modo che segue.

- Se non sono rotti, sono disegnati in giallo.
- Se il loro volume rotto è sotto il 20% sono colorati in rosso tenue (RGB(255, 119, 119)).
- Se il loro volume rotto è sotto il 40% sono colorati in rosso medio (RGB(255, 60, 60)).
- Se il loro volume rotto è sotto il 60% sono colorati in rosso (RGB(255, 0, 0)).
- Se il loro volume rotto è sotto il 80% sono colorati in rosso scuro (RGB(200, 0, 0)).
- Altrimenti sono colorati in rosso cupo (RGB(150, 0, 0)).

Il volume rotto è un indice di danneggiamento ed è utile per localizzare le aree nelle quali si è verificata una rottura negli elementi beam a fibre. Quando una fibra si rompe, essa resta rotta indipendentemente dalla evoluzione della analisi. Il comando è attivo solo in corrispondenza a casi di carico (non combinazioni, che in ambito non lineare non hanno senso) e presume che sia stata fatta una analisi non lineare con il solutore CURAN FULL su elementi con materiali non lineari.

La percentuale di volume rotto può soltanto crescere nel corso della analisi.



Ad esempio in questo caso l'elemento 245 presenta un volume rotto al termine della analisi pari al 22,5% . Confrontando l'immagine relativa alla percentuale di rottura con quella (a destra) relativa alla percentuale di plasticizzazione, si vede che quando avviene la prima rottura

( $\lambda=1.78$ , ovvero al 78% del carico della seconda stazione), la sezione incomincia uno scarico plastico (unloading).

### 3.9.14 Pushover

#### 3.9.14.1 Imposta

## Comando: Post-Pushover-Imposta

[Ribbon-Post 2]



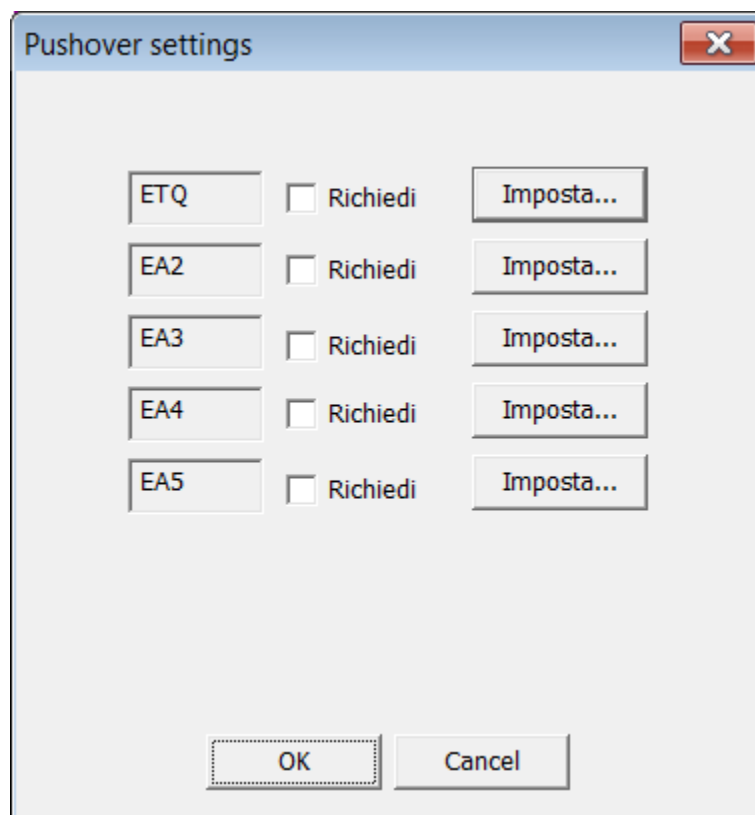
Questo comando consente di impostare le analisi di pushover, facendo alcune scelte che sono fondamentali ai fini delle analisi stesse. Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[1217]</sup> che consente di introdurre le scelte necessarie.

Perchè il comando sia disponibile deve essere stata eseguita una analisi statica, una analisi modale, e devono essere state definite delle combinazioni.

Il comando deve essere eseguito prima di lanciare la esecuzione delle analisi di pushover. Si veda anche

[come impostare la analisi di pushover](#)<sup>[439]</sup>

## 3.9.14.1.1 Pushover Settings (dialogo)



Questo dialogo serve a due scopi:

1. Scegliere per quali spettri attivare la analisi di pushover.
2. Per ciascuno spettro attivato, impostare l'analisi di pushover corrispondente, accedendo ad un successivo [dialogo](#)<sup>[1218]</sup>, mediante i pulsanti "**Imposta...**"

## 3.9.14.1.2 Impostazione Pushover (dialogo)

**Impostazione Pushover**

**Dati generali**

Tipo

☒ NTC

☐ Eurocodice 8

Nodo di controllo: 0, 1, 2

Modo per direzione X: 1, 2

Modo per direzione Y: 1, 2

Combinazione per i carichi: 1, 3

Fattore di amplificazione X: 3

Fattore di amplificazione Y: 3

**"Prestazione"**

Travi: 6 Theta,P / Theta,y

Bielle

7 Deformazione + / yield

4 Deformazione - / buckl

Interstorey Drift: 0.025

Drift: Importa!

1 Nup=152 Ndn=465 LEN= 4191.0

2 Nup=182 Ndn=152 LEN= 2750.0

3 Nup=465 Ndn=473 LEN= 5100.0

Suggestisci

SLD!

SLV!

SLC!

IO!

LS!

CP!

OK Cancel

Questo dialogo serve ad impostare le analisi di pushover.

Il dialogo è diviso in due parti: una parte dove si specificano i dati generali, ed una seconda in cui si specificano i livelli di prestazione corrispondenti allo spettro/stato limite associato alle analisi di pushover che si stanno impostando.

### Dati Generali

Occorre specificare:

1. Il criterio di linearizzazione della curva carico-spostamento di controllo. Sono possibili due possibilità: metodo NTC (norme italiane) e metodo Eurocodice 8.



2. Il numero del **nodo** di controllo, ovvero del nodo il cui spostamento sarà utilizzato per la curva di capacità.
3. Il numero del **modo** da usare per le pushover in direzione X. Se esso è nullo la direzione X non sarà considerata (telai piani).
4. Il numero del **modo** da usare per le pushover in direzione Y. Se esso è nullo la direzione Y non sarà considerata (telai piani).
5. Il numero della **combinazione** dalla quale saranno presi i carichi non sismici. Per ogni caso di carico **non sismico** referenziato nella combinazione, saranno presi i carichi di combinazione con il relativo moltiplicatore.
6. Il fattore amplificativo per il sisma X e per il sisma Y. Tali fattori amplificativi consentono di portare la struttura al collasso. In successive rianalisi, si può impostare il valore dei moltiplicatori in modo tale da generare una situazione finale che sposti lo spostamento obiettivo per lo stato limite desiderato, del nodo di controllo.

## Prestazione

Sono possibili tre famiglie di indicatori di prestazione:

1. Rotazioni plastiche rispetto alla corda (elementi beam dissipativi e non). In tal caso va introdotto il rapporto limite tra  $\theta_p$  e  $\theta_y$ , questa ultima essendo la rotazione rispetto alla corda al limite elastico (si veda [come impostare la analisi di pushover](#)<sup>[439]</sup>).
2. Rapporto tra la deformazione effettiva  $\varepsilon$  e quella limite elastica  $\varepsilon_y$  (elementi tesi) o limite di instabilità  $\varepsilon_c$  (elementi compressi), negli elementi biella.
3. Interstorey drift (spostamento relativo di interpiano).

I pulsanti posti alla estrema destra, suggeriscono i valori da usare per i vari stati limite, secondo le informazioni reperite nelle normative. "LS" sta per "life safety", "IO" per "immediate occupancy", e "CP" per "collapse prevention". Si tratta degli stati limite corrispondenti a SLV, SLD, SLC nelle norme americane.

## 3.9.14.2 Crea Modelli

**Comando: Post-Pushover-Crea Modelli****[Ribbon-Post 2]**

Questo comando prepara automaticamente 8 modelli relativi ad altrettante analisi di pushover. Il comando legge le impostazioni date con il comando [Imposta](#)<sup>[1216]</sup>, e presume di lavorare su un modello che:

- Sia stato calcolato in analisi statica e modale in modo che le forme dei modi ed i loro periodi siano note.
- Disponga della definizione di almeno un terremoto (comando [Terremoti](#)<sup>[1045]</sup>), che sarà quello usato per le pushover. Tale spettro è quello definito dal comando [Imposta](#)<sup>[1216]</sup>.
- Disponga di almeno una combinazione, utilizzata per definire i carichi non sismici.

Se il modello sotto mano si chiama MODELLO, verranno preaperti i seguenti 8 modelli pronti per le analisi di pushover:

Modello	Direzione e segno azioni sismiche	Distribuzione
MODELLO.PUSHOVER_PX_ MODAL.WSR	X, positiva	Modale
MODELLO.PUSHOVER_MX_ MODAL.WSR	X, negativa	Modale

MODELLO.PUSHOVER_PY_ MODAL.WSR	Y, positiva	Modale
MODELLO.PUSHOVER_MY_ MODAL.WSR	Y, negativa	Modale
MODELLO.PUSHOVER_PX_ CONSTANT.WSR	X, positiva	Costante
MODELLO.PUSHOVER_MX_ CONSTANT.WSR	X, negativa	Costante
MODELLO.PUSHOVER_PY_ CONSTANT.WSR	Y, positiva	Costante
MODELLO.PUSHOVER_MY_ CONSTANT.WSR	Y, negativa	Costante

I modelli vengono creati con le seguenti regole.

1. Non contengono combinazioni.
2. Il primo caso di carico contiene le azioni elementari di tutti i casi di carico non sismici referenziati nella combinazione indicata nel comando [Imposta](#)<sup>[1216]</sup> pushover, con i loro moltiplicatori. Esso si chiama "**Not seismic loads**" ed è di tipo permanente.
3. Il secondo caso di carico ("**Seismic loads, X, Modal Forces, +**", "**Seismic loads, X, Constant Forces, +**", ecc.) contiene le azioni relative al sisma, fattorizzate del fattore indicato nel comando [Imposta](#)<sup>[1216]</sup> pushover. Tale fattore amplifica le azioni sismiche e deve essere sufficientemente alto per generare il collasso, o può assumere particolari valori in corrispondenza a certi stati limite. Le azioni possono avere una distribuzione costante o modale secondo quanto prescritto dalle normative NTC 2008/2018 ed Eurocodice 8. Il punto di partenza è la accelerazione dello spettro elastico (5% di smorzamento) in corrispondenza al periodo del modo indicato. Nella distribuzione costante, ogni massa viene moltiplicata per la stessa accelerazione. Nella distribuzione modale le accelerazioni cambiano da nodo a nodo e si ottiene qualcosa di simile a quello che si otterrebbe con una

analisi statica equivalente che utilizzasse la forma vera del modo e non una forma linearizzata (contributo modale alla analisi a spettro di risposta).

4. Le azioni sismiche possono avere il segno positivo o negativo, per tener conto di possibili dissimmetrie strutturali. Nel caso della distribuzione modale il segno "positivo" è quello del modo indicato.
5. La analisi non lineare è impostata in modo che il secondo caso di carico parta da dove finisce il primo ([attiva stazioni](#)<sup>[621]</sup>). Ovvero, le azioni sismiche sono applicate a partire dalla situazione dopo l'applicazione dei carichi non sismici. Se l'amplificazione di cui si è detto prima è sufficiente, le curve di pushover saranno abbastanza ampie da giungere al collasso. Le altre impostazioni, ed in particolare la presenza o l'assenza degli effetti geometrici, dipendono dalle impostazioni del modello originario, dal quale sono stati generati automaticamente i modelli per le pushover.
6. La analisi non lineare è impostata in modo che parta la modalità "arc length" quando la struttura diviene tale per cui il current stiffness parameter è pari a 0.3, o al valore impostato nel modello originario. Questa impostazione è fondamentale per superare eventuali punti critici e seguire il ramo discendente.
7. Il nodo di controllo e tutti gli elementi dichiarati dissipativi (comando [Struttura-Capacità-Aggiungi DZona](#)<sup>[1309]</sup>) sono selezionati, in modo che il solutore produca le curve con gli spostamenti e le azioni interne in funzione del parametro di carico. Le curve partiranno da  $\lambda=0$ , arriveranno a  $\lambda=1$  (intera applicazione del primo caso di carico ) e poi si muoveranno verso  $\lambda=2$ , che corrisponderebbe alla piena applicazione del caso di carico 2. Se l'analisi termina per  $\lambda=1.83$  ciò vuol dire che è terminata all'83% di applicazione del carico corrispondente al caso 2, ovvero al sisma amplificato. E' da notare che sono possibili rami di softening e dunque  $\lambda$  può anche decrescere (si veda [qui](#)<sup>[1207]</sup>).

### 3.9.14.3 Analizzali!

## Comando: Post-Pushover-Analizzali!

[Ribbon-Post 2]



Questo comando lancia la soluzione delle analisi di pushover preparate con il comando [Crea Modelli](#)<sup>[1220]</sup>.

Per poter eseguire il comando occorre avere una copia abilitata del solutore CURAN (LIGHT o FULL, la versione LIGHT abilita solo la non linearità di elementi biella, mentre la FULL abilita anche la non linearità degli elementi trave).

Sebbene un simile automatismo possa essere estremamente utile, si raccomanda di tenere bene sotto controllo ciascuna analisi verificando la convergenza ed il tipo di soluzione fornita.

#### 3.9.14.4 Risultati

##### COMANDO: Post-Pushover-Risultati

[Ribbon-Post 2]

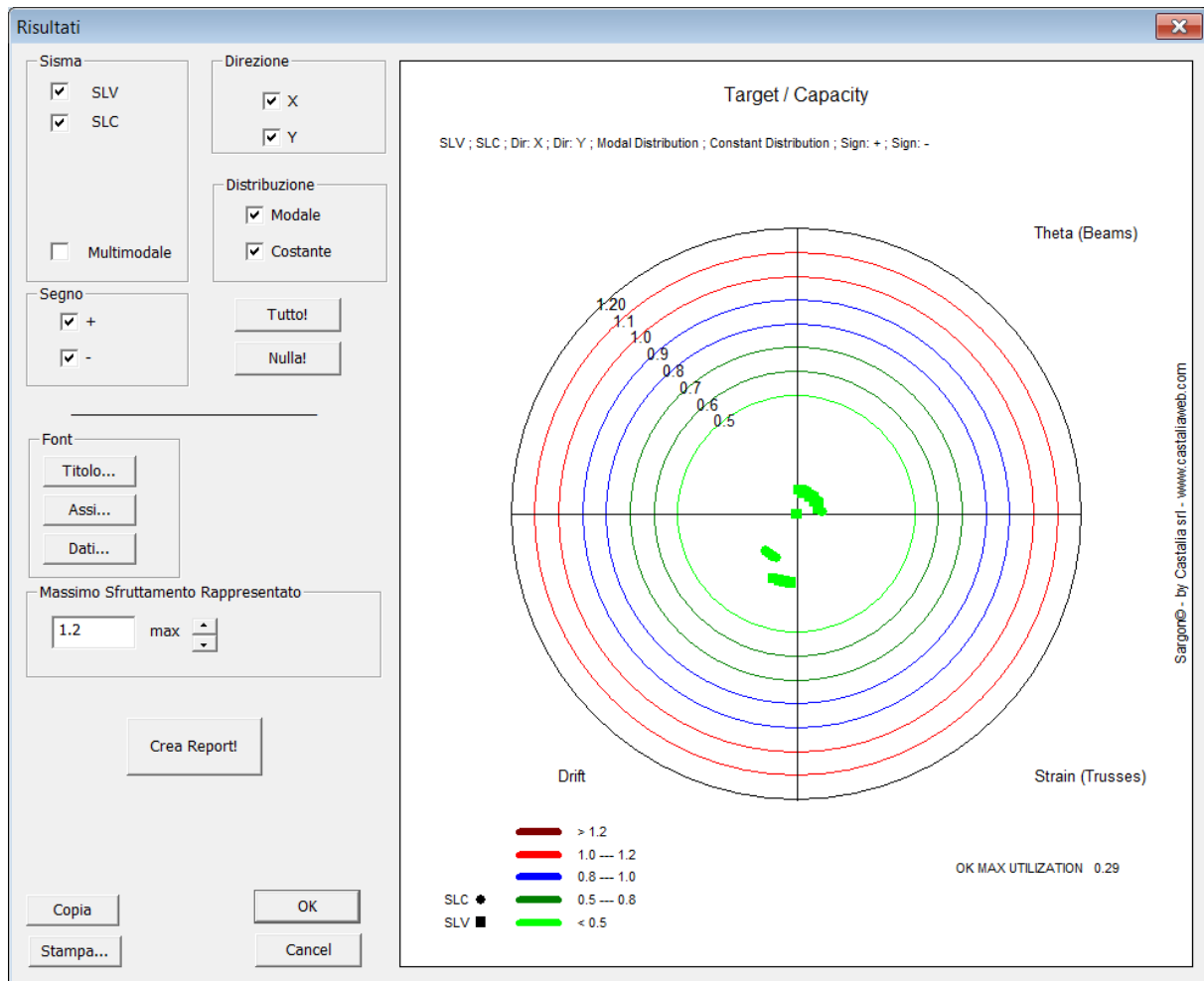


Questo comando serve a esaminare i risultati di danneggiamento di tutte le analisi di pushover precedentemente impostate ed eseguite. Scopo del comando è dare una sintetica idea del rapporto tra la domanda e la capacità per tutti gli indici di danno definiti (rotazioni plastiche di elementi trave, elongazioni e accorciamenti di elementi biella, spostamenti relativi di interpiano), sotto forma di numero adimensionale compreso tra 0 ed 1.

Il comando deve essere eseguito sul modello padre, e non sui modelli figlio (si veda [come impostare la analisi di pushover](#)<sup>[439]</sup>).

Alla esecuzione del comando, compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[1224]</sup> che consente di avere una rappresentazione grafica molto significativa, e un report in formato TXT.

## 3.9.14.4.1 Risultati (dialogo)



Questo dialogo consente di visualizzare in modo sintetico i risultati di un gran numero di analisi di pushover, relativi ad un gran numero di indici di danno.

I controlli sotto:

**Sisma**, **Direzione**, **Distribuzione** e **Segno**, decidono quali risultati verranno visualizzati e inseriti nel report. E' quindi ad esempio possibile vedere solo i risultati per l'analisi in direzione X, o solo quelli in direzione Y o tutti e due. Se entrambi i controlli sono non selezionati, allora non si vedrà alcun risultato. Analogamente per i controlli relativi al segno, o al tipo di distribuzione. I controlli relativi ai "Sismi" sono tanti quanto sono gli spettri per i

quali sono state richieste analisi di pushover. I pulsanti **Tutto** e **Nulla** attivano o disattivano tutti i controlli menzionati con una sola operazione, ed hanno immediato effetto su ciò che viene rappresentato.

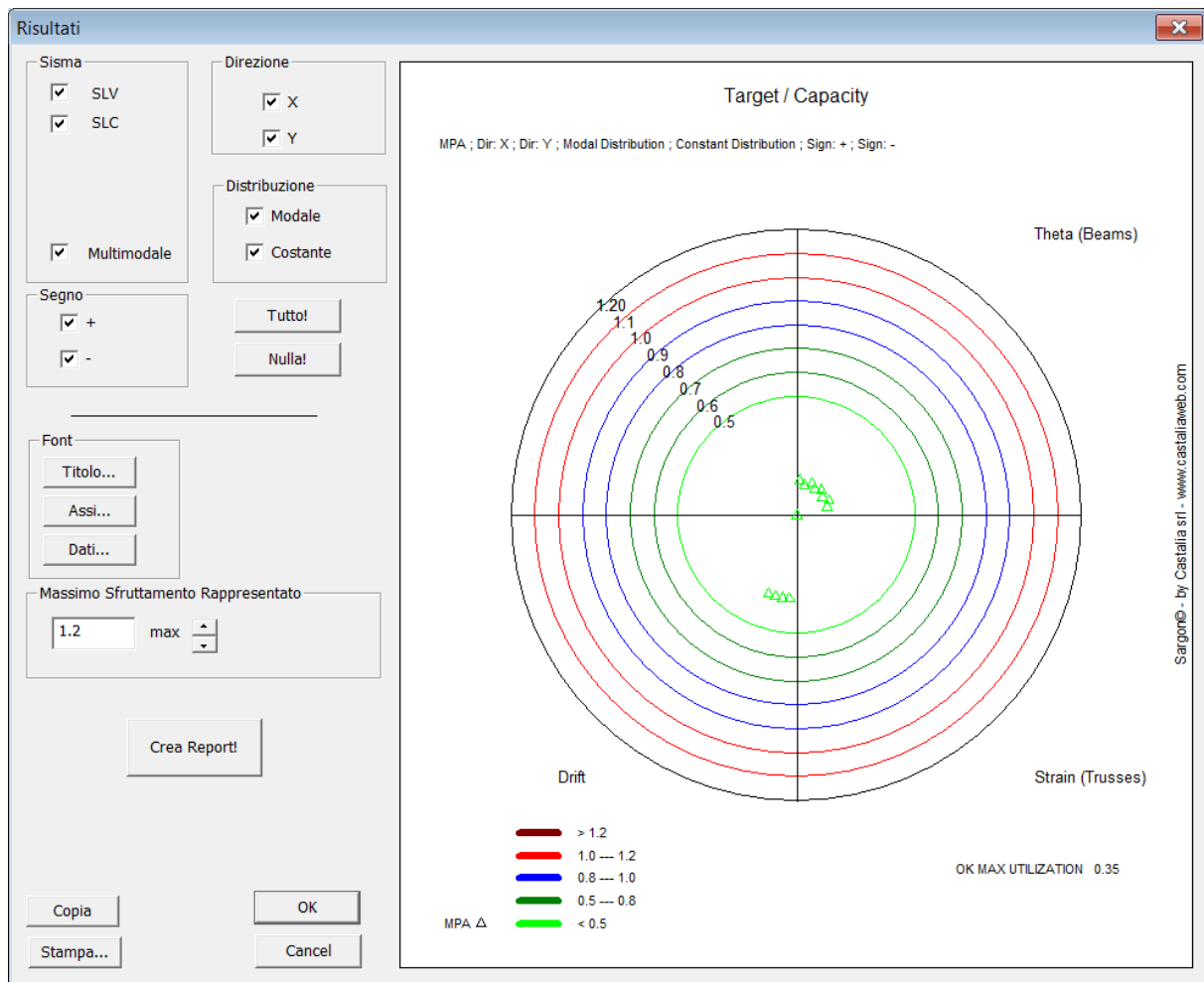
I controlli sotto **Font** servono a modificare il font impiegato per le scritte nel grafico.

Il **massimo sfruttamento rappresentato** serve a consentire ingrandimenti e rimpicciolimenti del grafico in funzione delle esigenze. Le frecce su e giù aiutano a scegliere rapidamente il valore più adatto.

Il pulsante **Crea Report** fa immediatamente generare un file ASCII (di testo) con tutti i valori numerici degli indici di danno e delle capacità corrispondenti.

Il pulsante **Copia** copia l'immagine del grafico negli appunti.

Il pulsante **Stampa** manda l'immagine del grafico direttamente in Stampa.



La casella di controllo **Multimodale** serve ad attivare la modal pushover analysis. In pratica, considerando tutti i sismi, verrà eseguita la radice quadrata della somma dei quadrati dei risultati (SRSS) sugli indici di danno. Perché la casella sia visibile e disponibile devono verificarsi le seguenti condizioni:

1. Devono essere state calcolate almeno due famiglie di spettri.
2. Gli indicatori di danno associati a ciascuna analisi di pushover devono essere gli stessi (in particolare: lo stesso numero di interstorey drift, e lo stesso numero di direzioni, solo x, o solo y, o x ed y).

Se tutte queste condizioni sono verificate, *e se le famiglie di spettri sono le stesse, ma le pushover differiscono solo per il numero del modo scelto come riferimento*, allora la radice quadrata della somma dei quadrati delle varie analisi di pushover assume il significato di MPA, modal pushover analysis. Benché sia possibile eseguire la SRSS di varie analisi di



pushover, riferite a famiglie di spettri diverse, e magari allo stesso modo (come nel caso in figura), il risultato che si otterrebbe non avrebbe senso.

In pratica il flag attiva il calcolo della SRSS sui risultati degli indici di danno ottenuti con le varie analisi di pushover (relative ad almeno due spettri).

Ad esempio se è stata eseguita la analisi SV1 con il modo 5 e la analisi SV2 con il modo 7, per le direzioni X ed Y, segno positivo e negativo e distribuzione costante e modale, con la MPA per ciascun indice di danno, direzione del sisma, distribuzione di forze e segno si otterrà:

$$risultato = \sqrt{SV1^2 + SV2^2}$$

*Cenni sul grafico.*

La prima linea riporta quali scelte intermini di sisma, direzione, segno, distribuzione siano state fatte (dato che il grafico ne è l'immagine fedele).

I tre quadranti del piano indicano gli sfruttamenti per gli indici di danno associati alle travi (rotazioni plastiche rispetto alla corda), associati alle bielle ed associati agli spostamenti relativi di interpiano.

E' esplicitamente indicato il valore massimo (che poi nel report potrà convenientemente essere identificato).

Il colore dei simboli è in relazione con la intensità dello sfruttamento.

La forma dei simboli è in relazione con lo stato limite (ovvero con la famiglia di spettri impiegata).

### 3.9.14.5 Performance

#### COMANDO: Post-Pushover-Performance

[Ribbon-Post 2]



Questo comando consente di esaminare i risultati relativi a una specifica analisi di pushover (modello figlio). Il comando non è accessibile su un modello "padre" (si veda [come eseguire analisi di pushover](#)<sup>439</sup>).

Scopo del comando è esaminare sia la curva carico-spostamento, che il tracciamento del "performance point" nel piano ADRS. Il comando dà inoltre un report in formato TXT in cui tutti i parametri di calcolo salienti sono riepilogati (le caratteristiche dell'oscillatore SDOF equivalente, il punto relativo alla domanda, ovvero lo spostamento obiettivo) e così via.

Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>1229</sup>, che è usato per ottenere tutte le informazioni necessarie.

## 3.9.14.5.1 Performance point (dialogo)

**Performance Point**

Metodo  
☒ NTC  
☐ Eurocodice 8  
 Calcola!

Risultati

35.1	M* (ton)	1	q*
1.0212396	T* (sec)	1	mu*
1328.6527	K*	1	Gamma
49854.863	Fy*	1.0349725	T (sec)
37.522869	dy*	169678.80	F
44.130312	du*	0.1689039	lambda,target
21.570284	d,target,*	21.570284	u,target

ADRS   F\* - d\*   Crea Report!

Mostra ADRS con smorzamento...

☒ 5%  
☒ 10%  
☒ 15%  
☒ 20%  
☒ 30%  
☒ 40%  
☒ 50%  
☒ 60%  
☒ 80%  
☒ Valore: 27 (perc.)

Tutti!  
 Nessuno!

Mostra periodi

☒ Mostra con passo  
 0.2 Passo (sec)

☒ Mostra valore  
 1.0212396 Valore (sec)

Font  
 Titolo...  
 Assi...  
 Dati...

☒ Mostra Tacche  
 1.55 max T (sec)

Copia  
 Stampa...  
 OK   Cancel

Questo dialogo serve ad esaminare i risultati di una specifica analisi di pushover.

E' anche possibile rieseguire l'analisi, ovvero utilizzare per l'analisi stessa una diversa impostazione, ad esempio **Eurocodice 8** e non **NTC**. Ciò si fa scegliendo il controllo corrispondente e poi premendo il bottone **Calcola**.

Normalmente tuttavia si ha accesso a questo dialogo quando le analisi di pushover sono già state eseguite, sia per la parte di analisi non lineare con CURAN, sia per la parte di trasformazione della curva carico spostamento in quella di un sistema SDOF e nella corrispondente ricerca del performance point.

Il riquadro Risultati elenca tutti i principali risultati della analisi di pushover.

- $M^*$  è la massa del sistema SDOF equivalente (in tonnellate massa)
- $T^*$  è il periodo in secondi del sistema SDOF equivalente.
- $K^*$  è la rigidezza del sistema SDOF equivalente, ottenuta con le regole di Eurocodice 8 o con quelle di NTC. Unità di misura attive.
- $F_y^*$  è la forza che porta allo snervamento il sistema SDOF equivalente (nella unità di forza attiva)
- $\Delta y^*$  è lo spostamento che porta allo snervamento il sistema SDOF equivalente (nella unità di lunghezza attiva).
- $\Delta u^*$  è lo spostamento ultimo raggiunto dalla analisi di pushover, per il sistema SDOF equivalente (unità attiva).
- $\Delta d_{target}^*$  è lo spostamento obiettivo del sistema SDOF equivalente (nella unità di misura attiva).
- $q^*$  è il fattore di struttura per il sistema SDOF equivalente dato dal rapporto tra  $C M^* g$  ed  $F_y^*$ , dove  $C$  è il coefficiente di risposta.
- $\mu^*$  se  $T^* > T_C$ :  $\mu = 1$  se  $q^* < 1$ ,  $\mu = q^*$  altrimenti. Se  $T^* < T_C$ : se  $q^* < 1$   $\mu = 1$ ; se  $q^* > 1$   $\mu = 1 + (q^* - 1) \cdot T_C / T^*$
- $\Gamma$  è il fattore adimensionale per cui moltiplicare le quantità modali per ottenere quelle del sistema SDOF equivalente
- $T$  (sec) è il periodo in secondi del modo associato alla analisi di pushover, nel modello 3D
- $F$  è la forza di taglio complessiva applicata al modello 3D
- $\lambda_{target}$  è il parametro di carico adimensionale che corrisponde al punto obiettivo (1 corrisponde alla piena applicazione di  $F$ )
- $u_{target}$  è lo spostamento obiettivo del punto di controllo

Il bottone **ADRS** fa vedere i risultati nel piano Acceleration Displacement Response Spectrum. In tale piano l'ordinata sono accelerazioni in unità g, in ascissa gli spostamenti (nella unità di misura corrente) e rette passanti per l'origine sono associate a diversi periodi. E' possibile mostrare gli spettri (elastici) con vari livelli di smorzamento (nel gruppo **Mostra ADRS con smorzamento**). E' inoltre possibile mostrare lo spettro che corrisponde a un ben determinato valore di smorzamento (casella **perc.**). Il pulsante **Tutti** rende attivi tutti gli smorzamenti, il pulsante **Nessuno** li rende inattivi.

E' inoltre possibile rappresentare o meno vari periodi, ovvero le rette corrispondenti. Ciò si può fare anche impostando un certo passo (in secondi) e specificando un particolare valore di periodo.

**Performance Point**

Metodo  
☒ NTC  
☐ Eurocodice 8  
 Calcola!

Risultati

35.1	M* (ton)	1	q*
1.0212396	T* (sec)	1	mu*
1328.6527	K*	1	Gamma
49854.863	Fy*	1.0349725	T (sec)
37.522869	dy*	169678.80	F
44.130312	du*	0.1689039	lambda,target
21.570284	d,target,*	21.570284	u,target

ADRS F\* - d\* Crea Report!

Mostra ADRS con smorzamento...

☒ 5%  
☒ 10%  
☒ 15%  
☒ 20%  
☒ 30%  
☒ 40%  
☒ 50%  
☒ 60%  
☒ 80%  
 Valore: 27 (perc.)

Tutti!  
 Nessuno!

Mostra periodi

☒ Mostra con passo  
 0.2 Passo (sec)

☒ Mostra valore  
 1.0212396 Valore (sec)

Font  
 Titolo...  
 Assi...  
 Dati...

☒ Mostra Tacche  
 1.55 max T (sec)

Copia  
 Stampa...

OK Cancel

Il bottone **F\*-d\*** mostra la curva carico spostamento del sistema SDOF equivalente. Ora viene mostrta in blu la curva effettiva della analisi, ed in rosso la curva bilineare equivalente.

Il bottone **Crea Report** crea un file ASCII con i dati salienti di questa singola analisi.

I controlli sotto Font (**Titolo, Assi, Dati**) servono a impostare i font per le etichette entro il grafico.

**Mostra Tacche** serve a mostrare o nascondere le tacche sugli assi.

**Max T (sec)** indica, se si sta vedendo lo spettro ADRS, sino a che periodo andranno rappresentati gli spettri.

Il bottone **Copia** copia agli appunti il grafico.

Il bottone **Stampa** manda alla stampante il grafico.

### 3.9.15 Bulloni e Saldature

#### 3.9.15.1 Sfruttamento

**COMANDO: Post-Bulloni e Saldature-Sfruttamento**

**[Ribbon-Post 2]**

**BW**

Questo comando serve a visualizzare la mappa degli sfruttamenti degli elementi riconosciuti come simulanti bulloni e saldature.

Il comando è normalmente usato su modelli MCOFEM (multicomponente) creati dal programma CSE.

[Si veda anche: come eseguire la verifica di bulloni e saldature](#) 

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista

### 3.9.15.2 Bulloni: usa momento

**COMANDO: Post-Bulloni e Saldature-Bulloni: usa momento**

**[Ribbon-Post 2]**



Questo comando attiva o disattiva il flag che dice se considerare o meno i momenti parassiti nella valutazione dello sfruttamento del gambo dei bulloni.

Il comando è normalmente usato su modelli MCOFEM (multicomponente) creati dal programma CSE.

[Si veda anche: come eseguire la verifica di bulloni e saldature](#) 

**Tipo:** flag

**Destinazione:** viste

### 3.9.15.3 Inviluppo

**COMANDO: Post-Bulloni e Saldature-Inviluppo**

**[Ribbon-Post 2]**



Questo comando fa vedere la mappa degli sfruttamenti degli elementi riconosciuti come bulloni o saldature, considerando tutte le combinazioni attive.

Il comando è normalmente usato su modelli MCOFEM (multicomponente) creati dal programma CSE.

[Si veda anche: come eseguire la verifica di bulloni e saldature](#) 

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista

#### 3.9.15.4 Interroga

##### COMANDO: Post-Bulloni e Saldature-Interroga

[Ribbon-Post 2]



Questo comando serve a interrogare i valori di sfruttamento degli elementi riconosciuti come bulloni o saldature.

Il comando è normalmente usato su modelli MCOFEM (multicomponente) creati dal programma CSE.

[Si veda anche: come eseguire la verifica di bulloni e saldature](#) 

**Tipo:** non modale

**Destinazione:** vista

#### 3.9.15.5 Tabulato

##### COMANDO: Post-Bulloni e Saldature-Tabulato

[Ribbon-Post 2]



Questo comando serve a creare un listato ASCII con il riepilogo delle verifiche dei bulloni e delle saldature. Si apre un dialogo che mostra il risultato, il contenuto del dialogo può poi essere copiato e incollato in un file di testo.

Il comando è normalmente usato su modelli MCOFEM (multicomponente) creati dal programma CSE.

[Si veda anche: come eseguire la verifica di bulloni e saldature](#) 

**Tipo:** non modale




**Destinazione:** vista

### **3.9.16 C.A.**

#### **3.9.16.1 Imposta**

**COMANDO: Post-C.A.-Imposta**

**[Ribbon-Post 2]**

Questo comando consente di impostare alcuni dati necessari ad eseguire le verifiche. Appena viene eseguito si apre un opportuno [dialogo](#)  che consente di impostare i dati. Se vengono variate le impostazioni dopo aver eseguito le verifiche i risultati non sono più accessibili.

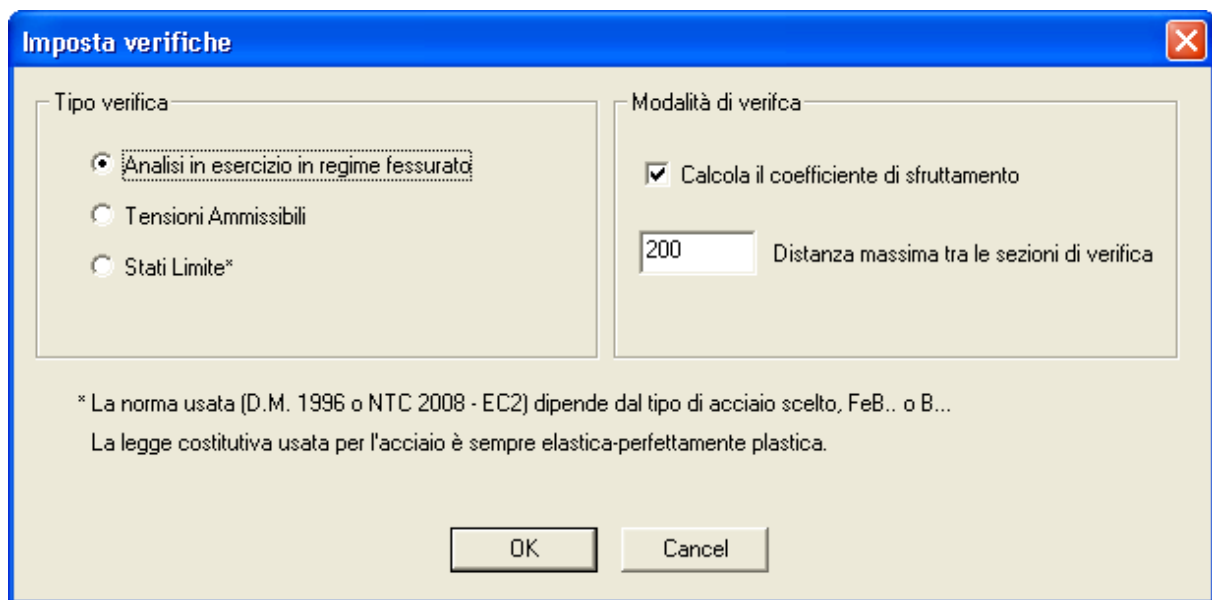
**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

##### 3.9.16.1.1 Dialogo: Imposta Verifiche

**DIALOGO: Imposta Verifiche**

**[Ribbon-Post 2]**



Questo dialogo serve ad impostare il funzionamento dei calcoli di verifica. Sono possibili le seguenti modalità di funzionamento:

### **Analisi in esercizio in regime fessurato**

Si tratta di una analisi in cui la legge costitutiva del calcestruzzo è una bilatera. Il ramo orizzontale per tensioni positive coincide con l'asse delle deformazioni, ed indica un comportamento NO TENSION. Il ramo inclinato per le tensioni di compressione indica un modulo di elasticità costante, valutato con le formule di normativa in funzione della tensione di resistenza cubica caratteristica. Non vi sono limitazioni di sorta ai valori di tensione e non si possono pertanto definire dei coefficienti di sfruttamento. Per quanto riguarda l'acciaio la legge costitutiva assunta è lineare e simmetrica per trazione e compressione. L'acciaio viene omogeneizzato al calcestruzzo per mezzo del coefficiente di omogeneizzazione per esso definito.

### **Tensioni ammissibili**

E' come la precedente con la differenza che esistono delle soglie di tensione (dette tensioni ammissibili) che non possono essere superate. Se il calcolo dà luogo a tensioni superiori a

quelle ammissibili la sezione si ritiene non verificata. In questo caso si definisce arbitrariamente coefficiente di sfruttamento lato calcestruzzo il rapporto adimensionale e positivo tra la massima compressione nel calcestruzzo (in modulo) e la tensione ammissibile del calcestruzzo stesso; coefficiente di sfruttamento lato acciaio teso il rapporto adimensionale e positivo tra la massima tensione dell'acciaio teso e la tensione ammissibile nell'acciaio; coefficiente di sfruttamento lato acciaio compresso il rapporto adimensionale e positivo tra la massima compressione nell'acciaio (in modulo) e la tensione ammissibile nell'acciaio stesso.

### **Stati limite.**

In questo caso il calcolo è agli stati limite. La legge costitutiva assunta per il calcestruzzo è quella parabola-rettangolo definita nel Decreto Ministeriale NTC 2018. La legge costitutiva per l'acciaio è di tipo elastico perfettamente plastico.

Nel caso del calcolo agli stati limite si distingue tra risposta della sezione alle azioni applicate e risposta della sezione al limite plastico.

La prima risposta è la risposta della sezione alle azioni applicate. Tale risposta può convenzionalmente comportare, nel caso in cui sia superata la capacità portante della sezione, tensioni maggiori di quelle massime di progetto, in quanto al di fuori della zona corrispondente alla capacità portante della sezione le leggi costitutive dei materiali vengono dotate di un ramo incrudente fittizio, atto a trovare un punto di equilibrio che altrimenti non sarebbe possibile. In assenza di uno specifico calcolo volto a calcolare la terna limite il coefficiente di sfruttamento non è definito, mentre si può definire una tensione adimensionale sulla sezione definita come rapporto adimensionale tra la tensione presente nel materiale (calcestruzzo o acciaio) e la corrispondente tensione di progetto.

La seconda risposta, che viene calcolata su richiesta, è la risposta-limite, vale a dire la risposta della sezione ad una terna di sollecitazioni ottenute moltiplicando la terna delle sollecitazioni applicate per un numero, detto moltiplicatore limite, in modo tale che le sollecitazioni ottenute comportino il raggiungimento del limite di deformazione o per l'acciaio teso o per il calcestruzzo compresso. In pratica nello spazio delle sollecitazioni il moltiplicatore limite è il numero che, espandendo o contraendo in modo lineare le tre sollecitazioni applicate, riporta la terna di sollecitazioni sul dominio limite così come convenzionalmente definito dalla norma. Un ulteriore minimo incremento delle sollecitazioni

comporterebbe il superamento della capacità portante della sezione. Si definisce convenzionalmente *coefficiente di sfruttamento* l'inverso del moltiplicatore limite. Tale definizione di moltiplicatore limite (e di coefficiente di sfruttamento) è convenzionale in quanto non è detto che le azioni applicate, pur variando linearmente, comportino a stretto rigore una variazione lineare nella terna delle sollecitazioni di calcolo, e ciò a causa del fatto che i fattori  $\gamma$  previsti dalle norme non sono eguali per le varie azioni di calcolo base.

Il dialogo consente inoltre di definire la distanza massima tra le sezioni sulle quali saranno eseguiti i calcoli su ciascuna membratura (**Distanza massima tra le sezioni di verifica**). Le membrature vengono divise in un certo numero di sezioni equispaziate, le quali vanno dal primo estremo *della membratura* al secondo estremo *della membratura*. E' il programma che ricostruisce automaticamente a quale elemento finito corrispondano tali sezioni e quindi quali siano le azioni interne di verifica. La distanza esatta tra le sezioni sarà certamente inferiore a quella massima specificata in questo comando.

E' compito dell'utente regolare il numero di sezioni (indirettamente, mediante la distanza massima tra le stesse) e la definizione delle membrature in modo che le sezioni incluse nel calcolo non scartino sezioni potenzialmente significative ai fini delle verifiche. D'altro canto, ove il numero di sezioni sia sufficientemente elevato, si può ingegneristicamente considerare minima la possibilità di scarti troppo elevati tra le sollecitazioni campionate nelle sezioni adottate per le verifiche e le sollecitazioni massime, anche tenuto conto del fatto che le verifiche stesse sono eseguite sulle combinazioni, vale a dire sommando diagrammi che hanno massimi posti in generale in punti diversi delle membrature.

Il flag **coefficiente di sfruttamento** ha senso solo se vengono chiesti calcoli agli stati limite. In questo caso se il flag è attivo, su ogni sezione in ogni combinazione di carico verrà richiesto uno specifico procedimento iterativo volto ad ottenere la terna di sollecitazioni limite. I tempi di calcolo possono allungarsi. Il moltiplicatore critico (e quindi il coefficiente di sfruttamento) è calcolato con una precisione pari a  $\pm 0.01$ . Se il flag non è attivo il procedimento numerico è più veloce, e di ogni sezione verrà ad essere noto solo se verificata o non verificata, ed il campo di tensioni adimensionalizzate corrispondenti alla "risposta", mentre non verrà ad essere noto alcun valore di coefficiente di sfruttamento.

**Tipo:** modale


**Destinazione:** documento

### 3.9.16.2 Verifica!

**COMANDO: Post-C.A.-Verifica!**

**[Ribbon-Post 2]**

Questo comando fa eseguire le verifiche al modulo esterno che, una per una, controlla le sezioni ed esegue il calcolo della risposta. Solo dopo aver eseguito questo comando e dopo il calcolo delle varie sezioni è stato ultimato è possibile accedere alla resa grafica e numerica dei risultati ed al tabulato.

Il comando comporta anche la creazione di un tabulato ASCII che riepiloga i dati delle membrature e delle armature, e che riporta i risultati delle verifiche sia in termini tensionali che in termini adimensionali (coefficienti di sfruttamento). Il file ASCII con il tabulato si chiama come il modello ed ha estensione “.ooo”. Si consiglia di associare il file “.ooo” a Word o a altri programmi utili all’editing di testo. Tale file può essere aperto con blocco note mediante il comando [Apri Listato](#) .

Il calcolo sezionale viene automaticamente eseguito per mezzo del modulo esterno RCSHAPE.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

### 3.9.16.3 Inviluppo

**COMANDO: Post-C.A.-Inviluppo**

**[Ribbon-Post 2]**

Questo comando può essere eseguito solo dopo aver eseguito le verifiche sezionali. Il comando fa vedere la struttura resa in modo unifilare, ed in corrispondenza ad ogni sezione di verifica fa vedere un pallino colorato sulla base del coefficiente di sfruttamento di involuppo, vale a dire il peggior coefficiente di sfruttamento al variare delle combinazioni.

Se è stato eseguito un calcolo del tipo **Analisi in esercizio in regime fessurato**, si vedranno solo pallini gialli e sfruttamenti pari a 0.

Se è stato eseguito un calcolo alle **tensioni ammissibili**, si vedrà il massimo coefficiente di sfruttamento tra calcestruzzo e acciaio, in quella certa sezione, al variare di tutte le combinazioni di verifica.

Se è stato eseguito un calcolo agli **stati limite** e tale calcolo è stato eseguito **senza calcolare il coefficiente di sfruttamento**, il coefficiente di sfruttamento sarà pari a 0 (pallino giallo) per le sezioni verificate e sarà pari a 99 (pallino rosso cupo) per le sezioni non verificate, tenendo in conto tutte le combinazioni di verifica (involuppo).

Se è stato eseguito un calcolo agli **stati limite** e tale calcolo è stato eseguito **calcolando il coefficiente di sfruttamento**, il coefficiente di sfruttamento sarà il massimo coefficiente di sfruttamento calcolato dal programma al variare delle combinazioni di verifica, con la seguente avvertenza. Se il coefficiente di sfruttamento è minore di 0.1 esso viene forzato al valore 0 (pallino giallo). Se il coefficiente di sfruttamento è maggiore di 10 esso viene convenzionalmente forzato al valore 99 (pallino rosso cupo).

**Tipo:** immediato


**Destinazione:** vista attiva

#### 3.9.16.4 Combinazione

**COMANDO:** Post-C.A.-Combinazione

**[Ribbon-Post 2]**

Questo comando può essere eseguito solo dopo aver eseguito le verifiche sezionali. Il comando fa vedere la struttura resa in modo unifilare, ed in corrispondenza ad ogni sezione di verifica fa vedere un pallino colorato sulla base del coefficiente di sfruttamento nella combinazione attiva.

**Nota:** perché il comando sia accessibile bisogna che sia attiva una combinazione e che il modo di visualizzare sia [membrature](#)  706.

Se è stato eseguito un calcolo del tipo **Analisi in esercizio in regime fessurato**, si vedranno solo pallini gialli e sfruttamenti pari a 0.

Se è stato eseguito un calcolo alle **tensioni ammissibili**, si vedrà il massimo coefficiente di sfruttamento tra calcestruzzo e acciaio, in quella certa sezione, nella combinazione attiva.

Se è stato eseguito un calcolo agli **stati limite** e tale calcolo è stato eseguito **senza calcolare il coefficiente di sfruttamento**, il coefficiente di sfruttamento sarà pari a 0 (pallino giallo) per le sezioni verificate e sarà pari a 99 (pallino rosso cupo) per le sezioni non verificate, tenendo in conto la sola combinazione attiva.

Se è stato eseguito un calcolo agli **stati limite** e tale calcolo è stato eseguito **calcolando il coefficiente di sfruttamento**, il coefficiente di sfruttamento sarà il coefficiente di sfruttamento calcolato dal programma nella combinazione attiva, con la seguente avvertenza. Se il coefficiente di sfruttamento è minore di 0.1 esso viene forzato al valore 0 (pallino giallo). Se il coefficiente di sfruttamento è maggiore di 10 esso viene convenzionalmente forzato al valore 99 (pallino rosso cupo).

**Tipo:** immediato


**Destinazione:** vista attiva

### 3.9.16.5 Acciaio

**COMANDO:** Post-C.A.-Acciaio

**[Ribbon-Post 2]**

Questo comando può essere eseguito solo dopo aver eseguito le verifiche sezionali, e solo se si è eseguito un calcolo alle tensioni ammissibili non essendo definito il coefficiente di sfruttamento “lato acciaio” nel caso delle verifiche agli stati limite (verifiche sezionali e non puntuali).

**Nota:** perché il comando sia accessibile bisogna che sia attiva una combinazione e che il modo di visualizzare sia [membrature](#)  706.

Se è stato eseguito un calcolo del tipo **Analisi in esercizio in regime fessurato**, si vedranno solo pallini gialli e sfruttamenti pari a 0.

Se è stato eseguito un calcolo alle **tensioni ammissibili**, si vedrà il coefficiente di sfruttamento lato acciaio, in quella certa sezione, nella combinazione attiva.


**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista attiva

**3.9.16.6 Calcestruzzo****COMANDO: Post-C.A.-Calcestruzzo****[Ribbon-Post 2]**

Questo comando può essere eseguito solo dopo aver eseguito le verifiche sezionali, e solo se si è eseguito un calcolo alle tensioni ammissibili non essendo definito il coefficiente di sfruttamento “lato acciaio” nel caso delle verifiche agli stati limite (verifiche sezionali e non puntuali).



**Nota:** perché il comando sia accessibile bisogna che sia attiva una combinazione e che il modo di visualizzare sia [membrature](#)  706.

Se è stato eseguito un calcolo del tipo **Analisi in esercizio in regime fessurato**, si vedranno solo pallini gialli e sfruttamenti pari a 0.

Se è stato eseguito un calcolo alle **tensioni ammissibili**, si vedrà il coefficiente di sfruttamento lato calcestruzzo, in quella certa sezione, nella combinazione attiva.

**Tipo:** immediato


**Destinazione:** vista attiva

### 3.9.16.7 Sforzi adimensionali

**COMANDO:** Post-C.A.-Sforzi Adimensionali

**[Ribbon-Post 2]**

Questo comando consente di visualizzare i risultati su una sezione in una certa combinazione.

**Nota:** perché il comando sia accessibile bisogna che sia attiva una combinazione, e che il modo di visualizzare sia [membrature](#)  706.

**Il comando è attivo solo se è selezionata un'unica membratura, e si riferisce alla sezione attiva della membratura correntemente selezionata.** La sezione attiva è indicata da un apposito simbolo luminoso (quadrato) nella visualizzazione unifilare, oppure è disegnata col suo perimetro nella visualizzazione solida trasparente.

Mantenendo il comando attivo è possibile “perlustrare” tutte le sezioni di una certa membratura eseguendo ripetutamente i comandi che fanno passare alle sezioni [Successiva](#)<sup>777</sup> e [Precedente](#)<sup>777</sup>.

Alla esecuzione del comando appare la sezione con le sue armature, colorata secondo il criterio che verrà chiarito tra breve.

Definiamo sforzo adimensionale “s” un numero puro maggiore o eguale a zero ottenuto facendo il rapporto tra due tensioni normali.

Nel caso in cui il calcolo sia stato fatto agli stati limite, s è eguale al rapporto tra la tensione in un certo punto e la tensione di progetto del materiale di cui il punto è costituito. Per il calcestruzzo s è il rapporto tra la tensione calcolata e la tensione di progetto del calcestruzzo  $f_{cd}$ . Per l'acciaio s è il rapporto tra la tensione normale calcolata e la tensione di progetto dell'acciaio  $f_{sd}$ . La tensione adimensionale s dà una misura di quanto si sia lontani dalla massima tensione per un dato materiale. Non vi è alcun legame semplice tra lo sforzo adimensionale ed il coefficiente di sfruttamento della sezione, in quanto non affatto è detto che applicando il reciproco del massimo s sulla sezione alla terna sollecitante si ottenga un punto sul dominio limite. Nondimeno, da un punto di vista strettamente ingegneristico questa informazione, insieme con la informazione sulla estensione delle zone fortemente sollecitate, è utile a farsi una idea di cosa avvenga a seguito della applicazione della terna di sollecitazione.

Nel caso in cui il calcolo sia stato fatto alle tensioni ammissibili o in esercizio, s è definito come il rapporto tra la tensione normale calcolata e la tensione ammissibile corrispondente del materiale di cui il punto è costituito. Anche in questo caso s assume il significato di indice di sforzo con riguardo al massimo sforzo possibile. In questo caso invece, data la linearità del problema, il massimo valore dello sforzo adimensionale è anche il coefficiente di sfruttamento della sezione.

Ogni zona della sezione viene colorata sulla base di s. Le barre vengono colorate sulla base dell's del punto centrale della barra stessa, mentre il calcestruzzo viene colorato trovando

automaticamente le zone corrispondenti alle varie zone di tensione adimensionale. La zona di calcestruzzo bianca è quella non reagente.

Nel caso di calcoli lineari le bande hanno tutte la medesima larghezza e sono inclinate parallelamente all'asse neutro elastico.

Nel caso di calcoli agli stati limite (non lineari) le bande non hanno la medesima ampiezza, e tendono ad essere più larghe per le tensioni più alte.

Sebbene in linea di principio non sia possibile calcolare tensioni adimensionali maggiori di 1 nel caso di calcolo agli stati limite (data la legge costitutiva perfettamente plastica con limite di deformazione adottata dalle norme), per ragioni numeriche si è preferito dotare le curve  $\sigma$ - $\varepsilon$  di un ramo incrudente oltre le deformazioni limite, tale da consentire il calcolo di una situazione di equilibrio anche là dove esso non sarebbe stato teoricamente possibile. *La presenza di valori di  $s$  maggiori di 1 in un calcolo lineare o nonlineare è sempre indicativa di una crisi della sezione.*

La resa degli sforzi adimensionali consente di farsi una idea di ciò che avviene sulla sezione a seguito della applicazione della terna di sollecitazioni nella combinazione in esame.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista attiva

### 3.9.16.8 Interroga

**COMANDO:** Post-C.A.-Interroga

**[Ribbon-Post 2]**

Questo comando è di tipo non modale. Viene interrotto solo cliccando il tasto destro del mouse o premendo il tasto ESCAPE. Può essere “accatastato”, ma si consiglia di non accatastare più di tre comandi.

Il comando dà informazioni sui risultati delle verifiche. Muovendo il mouse si sceglie una delle sezioni di verifica ed il [dialogo](#)<sup>1246</sup> che si apre alla esecuzione del comando viene continuamente aggiornato con i risultati delle verifiche stesse.

Per interrompere il comando occorre cliccare sul tasto destro del mouse.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista attiva

#### 3.9.16.8.1 Interroga sfruttamenti

### DIALOGO: Interroga Sfruttamenti

Interroga sfruttamenti					
Dati					
2	Membratura	18	Numero sezione	0.6	CSIM
					ACCIAIO TESO
Sforzi					
-1	Calcestruzzo	-1	Acciaio Min	90.432884	Acciaio Max
Sfruttamenti					
-1	Calcestruzzo	0.35	Acciaio	0.3546387	Massimo
				2	Combi

Questo dialogo dà informazioni sui valori di sfruttamento. Esso si presenta in modo diverso a seconda che sia stato eseguito un calcolo alle tensioni ammissibili o agli stati limite.

La prima riga in alto contiene informazioni sulla sezione attualmente interrogata: la membratura alla quale appartiene, in numero generale di sezione attribuito a questa sezione, la ascissa adimensionale di questa sezione sulla sua membratura.

La seconda riga (se visibile) dà informazioni sugli sforzi presenti nel calcestruzzo ( $<0$ ), nell'acciaio teso ( $>0$ ), nell'acciaio compresso ( $<0$ ). Gli sforzi sono dati nella unità di misura attiva. Non è detto che sia sensato dare tutti e tre gli sforzi, quando uno solo dei tre ha

significato gli altri sono convenzionalmente posti eguali a “-1” per intendere che quella informazione non viene fornita.

La terza riga fornisce i coefficienti di sfruttamento del calcestruzzo, dell'acciaio teso, ed il massimo tra i due. Viene inoltre indicata la combinazione nella quale tale coefficiente di sfruttamento viene ad essere calcolato. Non sempre ha senso restituire i coefficienti di sfruttamento del calcestruzzo e dell'acciaio, in questo caso i coefficienti di sfruttamento privi di significato sono restituiti con il valore “-1”.

Infine, in alto a destra compare una casella di testo (“causa”) che indica – quando ciò è sensato – quale materiale si trovi nelle condizioni peggiori, l'acciaio o il calcestruzzo, nella situazione indicata.

### **Analisi in esercizio**

In questo caso i coefficienti di sfruttamento sono tutti nulli. Gli sforzi vengono restituiti solo se sono attive le visualizzazioni relative alla combinazione corrente, mentre non viene restituita alcuna informazione se si chiedono gli involuppi. La “causa” non è determinata e compare una scritta “---”.

### **Tensioni ammissibili**

Sono restituiti sia i coefficienti di sfruttamento lato acciaio che quelli lato calcestruzzo.

*Se si sta esaminando la situazione di una combinazione* (visualizzazioni [Combinazione](#)<sup>[1240]</sup>, [Calcestruzzo](#)<sup>[1242]</sup> e [Acciaio](#)<sup>[1241]</sup>) vengono dati gli sforzi lato calcestruzzo, acciaio teso e acciaio compresso in quella combinazione. Vengono inoltre dati i coefficienti di sfruttamento lato calcestruzzo, e lato acciaio in quella combinazione, ed inoltre viene indicato il massimo tra i due e, in alto a destra, la “causa”.

*Se si sta esaminando la situazione di involuppo* (visualizzazione [Involuppo](#)<sup>[1239]</sup>), viene solo dato il massimo tra calcestruzzo e acciaio al variare delle combinazioni. Ovvero: valutati i coefficienti di sfruttamento lato acciaio e lato calcestruzzo in ogni combinazione, il programma sceglie il massimo. Se tale massimo viene raggiunto “lato calcestruzzo” vengono riempite solo

le caselline pertinenti al calcestruzzo ponendo “-1” in quelle relative all’acciaio, se, viceversa, il massimo sfruttamento è lato acciaio vengono riempite solo le caselline lato acciaio, mettendo “-1” in quelle relative al calcestruzzo. La “causa” viene restituita coerentemente con il valore trovato.

### **Stati limite con calcolo dei coefficienti di sfruttamento**

*Se si sta esaminando la situazione di una combinazione* (visualizzazione [Combinazione](#)<sup>[1240]</sup>) vengono dati gli sforzi lato calcestruzzo, acciaio teso e acciaio compresso in quella combinazione. Viene inoltre dato il coefficiente di sfruttamento della sezione in quella combinazione, ed inoltre viene indicata la causa della crisi, ove si raggiunga il dominio limite. I campi relativi ai coefficienti di sfruttamento lato acciaio e lato calcestruzzo sono lasciati vuoti (“-1”).

*Se si sta esaminando la situazione di inviluppo* (visualizzazione [Inviluppo](#)<sup>[1239]</sup>), il programma dà informazioni relativamente alla combinazione che comporta il massimo coefficiente di sfruttamento. In questo caso viene dato il coefficiente di sfruttamento massimo al variare delle combinazioni, nonché la combinazione corrispondente e, in caso di crisi, la causa della crisi stessa. La riga corrispondente agli sforzi è nascosta. Se si vogliono informazioni di dettaglio su quel che avviene su quella sezione, si potrà scegliere la combinazione indicata come peggiore ed interrogare il programma sulla risposta ed i coefficienti di sfruttamento in quella combinazione.

### **Stati limite senza calcolo del coefficiente di sfruttamento**

*Se si sta esaminando la situazione di una combinazione* (visualizzazione [Combinazione](#)<sup>[1240]</sup>) vengono dati gli sforzi lato calcestruzzo, acciaio teso e acciaio compresso in quella combinazione. Il coefficiente di sfruttamento in quella combinazione viene dato in modo convenzionale: vale “0” se la sezione è verificata, vale “99” se la sezione non è verificata. La causa della crisi è ignota.

Se si sta esaminando la situazione di inviluppo (visualizzazione [Inviluppo](#)<sup>1239</sup>), il programma dà informazioni relativamente alla combinazione che comporta il “massimo coefficiente di sfruttamento” tra i valori convenzionalmente calcolati (0 se la sezione è verificata in una certa combinazione, 99 se non è verificata). In questo caso viene data la combinazione corrispondente. La riga corrispondente agli sforzi è nascosta. La causa della crisi è ignota. Se si vogliono informazioni di dettaglio su quel che avviene su quella sezione, si potrà scegliere la combinazione indicata come peggiore ed interrogare il programma sugli sforzi adimensionali, visualizzando la mappa opportuna.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista attiva

### 3.9.16.9 Apri listato!

**COMANDO:** Post-C.A.-Apri listato

**[Ribbon-Post 2]**

Il comando apre il listato (file .ooo) creato dalla esecuzione delle [Verifiche del C.A.](#)<sup>1239</sup>

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** file OOO

### 3.9.17 Idrift

**COMANDO:** Post-Idrift

**[Ribbon-Post 1]**



Questo comando dà la lista degli spostamenti relativi di interpiano (per un chiarimento di cosa ciò significhi e di come usare questi risultati si veda [Coefficienti di libera inflessione](#)<sup>[284]</sup>).

Per eseguire il comando è necessario che il post processing (la deformata) sia disponibile e che esista almeno una combinazione. E' inoltre necessario che sia stata definita la serie di quote alle quali identificare i vari piani ([Multipiano](#)<sup>[1105]</sup>).

Il programma considera "colonna" ogni elemento trave verticale che vada da un livello al livello immediatamente successivo. I livelli sono solo e soltanto quelli elencati con il comando [Multipiano](#)<sup>[1105]</sup>.

Per ogni combinazione di carico, per ogni "colonna" e per ogni direzione (x, y) Sargon calcola l'interstorey drift. Nella tabella finale, organizzata per livelli, viene dato, per ogni livello e per ogni direzione, il massimo valore di interstorey drift. Alla fine della tabella viene inoltre stampato il massimo al variare dei livelli.

Dalla versione 9.60, inoltre, Sargon calcola l'interstorey drift anche se vi sono due nodi allineati verticalmente e giacenti su due livelli adiacenti, anche se tali nodi non sono connessi da un elemento trave. Nel dialogo con i risultati, se si tratta di nodi non collegati da "colonne", al numero identificativo viene anteposto il segno meno.

Il contenuto della tabella può essere copiato negli appunti con le ordinarie tecniche OLE e trasferito fuori da Sargon in un opportuno file (ad esempio con Blocco Note).

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista attiva

### 3.9.18 Curve

**COMANDO:** Post-Curve

[Ribbon-Post 1]





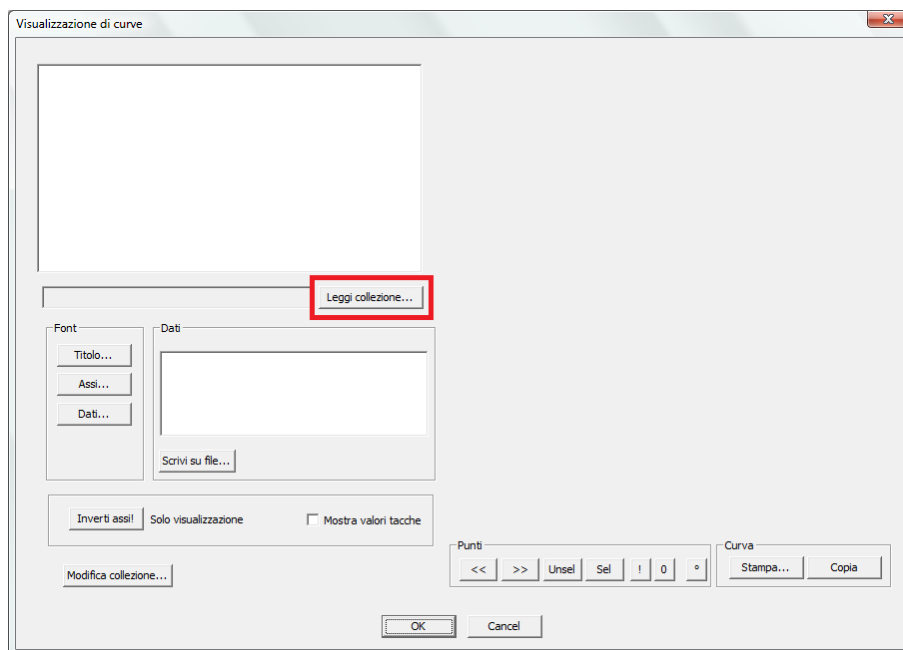
Il comando serve a visualizzare le [curve](#)<sup>237</sup> in funzione del parametro di carico create da Curan durante l'analisi nonlineare (nonlinearità di materiale). All'esecuzione del comando, viene proposto un opportuno [dialogo](#)<sup>1251</sup>.

**Tipo:** modale

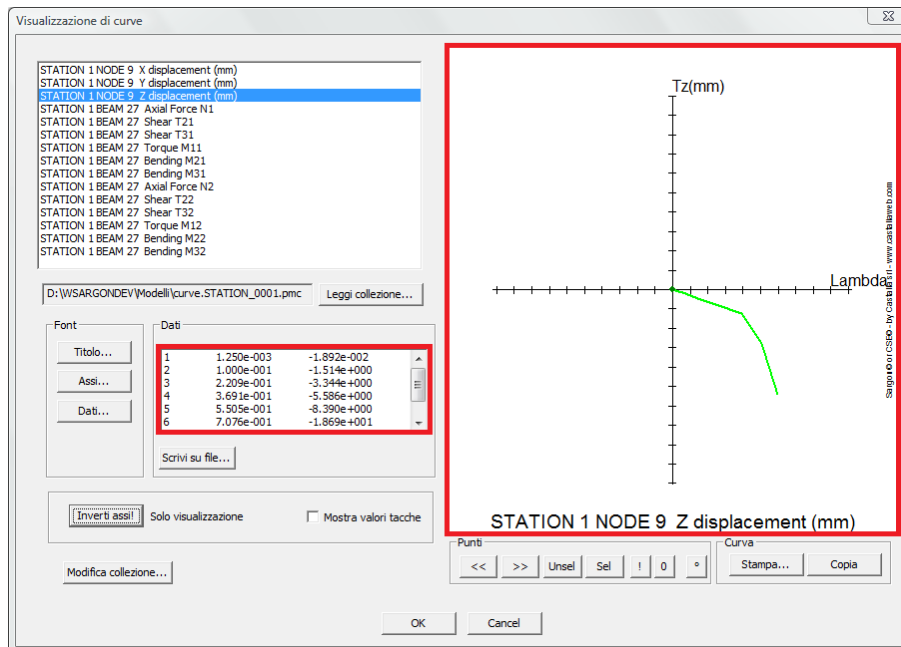
**Destinazione:** vista

### 3.9.18.1 Visualizzazione di curve (Dialogo)

## VISUALIZZAZIONE DI CURVE (DIALOGO)



Questo dialogo si presenta inizialmente vuoto (a meno che non ci si sia arrivati dal dialogo sulle leggi costitutive dei materiali, nel qual caso la curva è già preimpostata). Dopo aver premuto il bottone **Leggi collezione**, viene chiesto di indicare il file *.pmc* desiderato, ovvero quello contenente le [curve](#)<sup>237</sup> che si vogliono visualizzare. Scelto il file, tutte le curve in esso contenute vengono elencate nel riquadro in alto a sinistra. La curva selezionata nella lista viene visualizzata nel riquadro a destra, e i suoi punti vengono riportati nella sezione *Dati*.



A ogni elemento (nodo, beam, truss) corrisponde un determinato numero di curve, secondo il prospetto seguente.

### Nodo (6 curve)

- TX traslazione in direzione dell'asse globale X (unità di lunghezza attiva)
- TY traslazione in direzione dell'asse globale Y (unità di lunghezza attiva)
- TZ traslazione in direzione dell'asse globale Z (unità di lunghezza attiva)
- RX rotazione in direzione dell'asse globale X (radianti)
- RY rotazione in direzione dell'asse globale Y (radianti)
- RZ rotazione in direzione dell'asse globale Z (radianti)

### Truss (1 curva)

- N Azione assiale

### Beam (12 curve)

- N1 Azione assiale all'estremo 1
- T21 Taglio in direzione dell'asse locale 2 all'estremo 1
- T31 Taglio in direzione dell'asse locale 3 all'estremo 1

M11	Momento torcente all'estremo 1
M21	Momento flettente attorno all'asse locale 2 all'estremo 1
M31	Momento flettente attorno all'asse locale 2 all'estremo 1
N2	Azione assiale all'estremo 2
T22	Taglio in direzione dell'asse locale 2 all'estremo 2
T32	Taglio in direzione dell'asse locale 3 all'estremo 2
M12	Momento torcente all'estremo 2
M22	Momento flettente attorno all'asse locale 2 all'estremo 2
M32	Momento flettente attorno all'asse locale 2 all'estremo 2

Ciascuna curva descrive l'andamento della relativa grandezza in funzione del parametro di carico  $\lambda$  (lambda). Avremo quindi  $TX(\lambda)$ ,  $N(\lambda)$ ,  $M22(\lambda)$ , ecc.

La curva corrente può essere *copiata* negli appunti o *stampata* direttamente.

Come detto, oltre alla visualizzazione grafica della curva sono fornite, nella sezione *Dati*, anche le coordinate dei punti che la compongono. Ogni riga corrisponde a un punto, e contiene tre dati: numero progressivo del punto, valore del parametro di carico  $\lambda$ , valore della grandezza in esame (TX, M12, ecc.).

Il bottone ***Scrivi su file*** consente di stampare le coordinate dei punti in un file di testo, così che possano essere utilizzate al di fuori di Sargon (ad esempio si possono importare in Excel).

Veniamo infine ai controlli nella sezione *Punti* posta sotto il grafico, che consentono di mostrare nel grafico stesso le coordinate dei vari punti della curva (le stesse coordinate riportate nella sezione *Dati*).

Il **doppio click su una riga della lista alfanumerica dei punti** comporta selezione/deselezione

Il pulsante **Max!** trova e seleziona il massimo.

Il pulsante **Min!** trova e seleziona il minimo.

>> Passa al punto successivo, che diventa quello corrente (visualizzato con un pallino verde)

<< Passa al punto precedente, che diventa quello corrente (visualizzato con un pallino verde)

**Unsel** Nasconde le coordinate del punto corrente, se sono visualizzate

**Sel** Mostra le coordinate del punto corrente

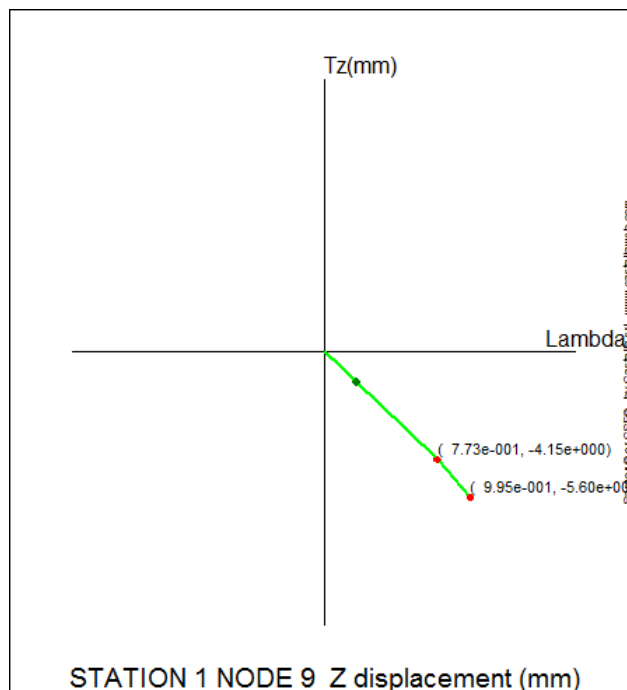
**!** Mostra le coordinate di tutti i punti

**0** Nasconde le coordinate di tutti i punti

**°** Mostra tutti i punti, senza stamparne le coordinate

Se di un punto sono mostrate le coordinate, questo viene visualizzato in rosso (a meno che non sia il punto corrente, nel qual caso prevale il pallino verde che evidenzia la selezione).

Nell'immagine seguente, ad esempio, sono mostrate le coordinate di due punti non correntemente selezionati, mentre non sono mostrate le coordinate di quello selezionato.



I *font* utilizzati per le etichette del grafico (titolo, assi e dati) possono essere modificati singolarmente attraverso i tre bottoni disponibili.

Il bottone **Inverti assi**, come suggerisce il nome, serve a scambiare gli assi del grafico. La casella **Mostra tacche** serve a visualizzare i valori delle tacche sugli assi.

Il bottone **Modifica collezione** fa accedere a un ulteriore [dialogo](#) <sup>1255</sup> in cui si possono compiere operazioni sulle curve esistenti. Tali operazioni sono:

- eliminazione di curve;
- aggiunta di nuove curve combinando quelle esistenti.

#### 3.9.18.1.1 Operazioni tra curve (Dialogo)

### OPERAZIONI TRA CURVE (DIALOGO)

Operazioni tra curve

STATION 1 NODE 9 X displacement (mm)	<--	X	Nome variabile:	A
STATION 1 NODE 9 Y displacement (mm)	<--	X	Nome variabile:	B
STATION 1 NODE 9 Z displacement (mm)	<--	X	Nome variabile:	C
STATION 1 BEAM 27 Axial Force N1	<--	X	Nome variabile:	D
STATION 1 BEAM 27 Shear T21	<--	X	Nome variabile:	E
STATION 1 BEAM 27 Torque M11	<--	X	Nome variabile:	F
STATION 1 BEAM 27 Bending M21	<--	X		
STATION 1 BEAM 27 Bending M31	<--	X		
STATION 1 BEAM 27 Axial Force N2	<--	X		
STATION 1 BEAM 27 Shear T22	<--	X		
STATION 1 BEAM 27 Torque M12	<--	X		
STATION 1 BEAM 27 Bending M22	<--	X		
STATION 1 BEAM 27 Bending M32	<--	X		

Nome nuova curva: Unknown = Formula:

Dimensionalità nuova curva: Lunghezza

Esempio: DriftX\_Colonna123 = (A - B)  
 "Usa le ascisse" è impiegato quando le Y restano identiche e le X vengono modificate

Questo dialogo consente di modificare la [collezione](#) <sup>1251</sup> di curve corrente, **eliminando** eventuali curve non ritenute rilevanti o **aggiungendo nuove curve** ritenute necessarie, tramite operazioni sulle curve esistenti.

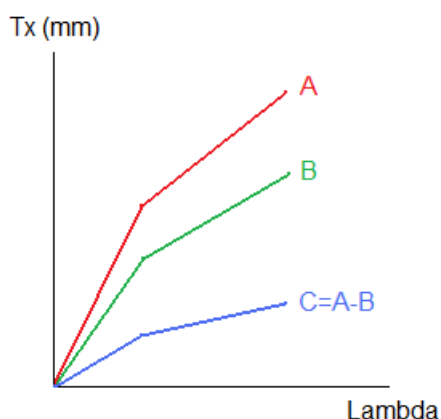
Per salvare le modifiche fatte sulle curve, occorre premere OK, quindi premere OK anche nel dialogo principale delle curve.

### Eliminazione di una curva

Per eliminare una curva dalla collezione, la si seleziona nell'elenco cliccandola con il mouse (verrà evidenziata in blu), quindi si preme il bottone **Cancella curva**.

### Aggiunta di una nuova curva

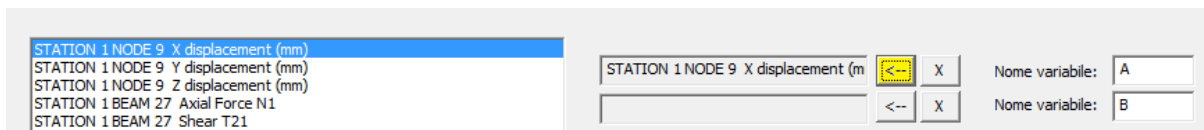
E' possibile aggiungere nuove curve compiendo operazioni su curve esistenti. Ad esempio, date una curva "A" e una curva "B", scelte tra quelle disponibili, potremo definire una nuova curva "C" data dalla differenza tra le prime due curve (si veda l'immagine seguente).



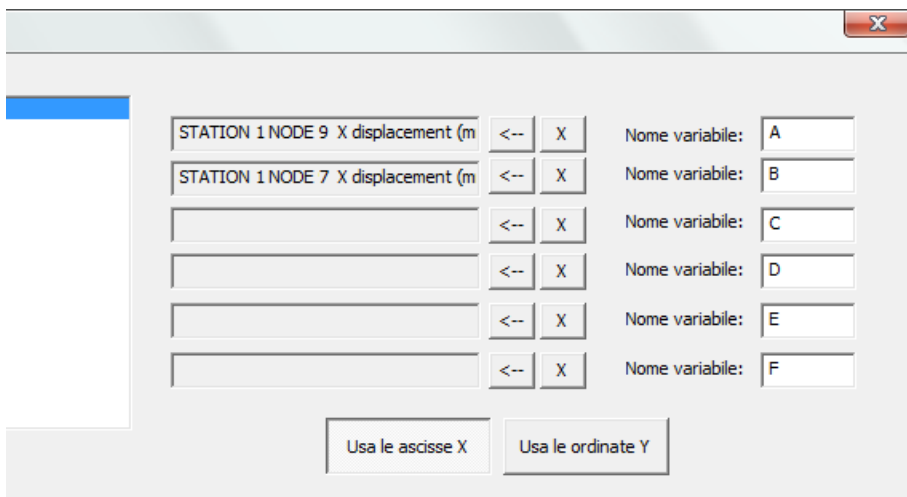
L'esempio suddetto è un caso molto semplice, che però può essere utilizzato per valutare l'interstorey drift, scegliendo ad esempio come curva A lo spostamento in direzione X del nodo inferiore di una colonna ( $TX_{N1(\lambda)}$ ) e come curva B lo spostamento in direzione X del nodo superiore della stessa colonna ( $TX_{N2(\lambda)}$ ). Le operazioni possono però essere anche più complesse: rimanendo nel campo degli spostamenti, ad esempio, potremmo fare la composizione degli spostamenti in direzione X e in direzione Y dei nodi citati, quindi fare la sottrazione delle loro risultanti:  $\sqrt{TX_{N1(\lambda)}^2 + TY_{N1(\lambda)}^2} - \sqrt{TX_{N2(\lambda)}^2 + TY_{N2(\lambda)}^2}$ . Oppure potremo combinare curve di azioni interne, o ancora combinare curve relative a grandezze diverse. Si ricorda che le curve sono in funzione di lambda, che è il [parametro di carico](#)<sup>237</sup>.

Da un punto di vista operativo, occorre innanzitutto indicare le curve che si vogliono utilizzare, associandole alle **variabili** A, B, C, ecc. Sono disponibili fino a 6 variabili, che

possono essere eventualmente rinominate, se necessario (ad esempio si può usare "x1", o "pippo" o "Area": per semplicità vengono proposti inizialmente i nomi A, B, C, D, E, F). Per associare una curva a una variabile, la si seleziona nella lista a sinistra e si preme il bottone <-- corrispondente alla variabile desiderata, ad esempio la A.

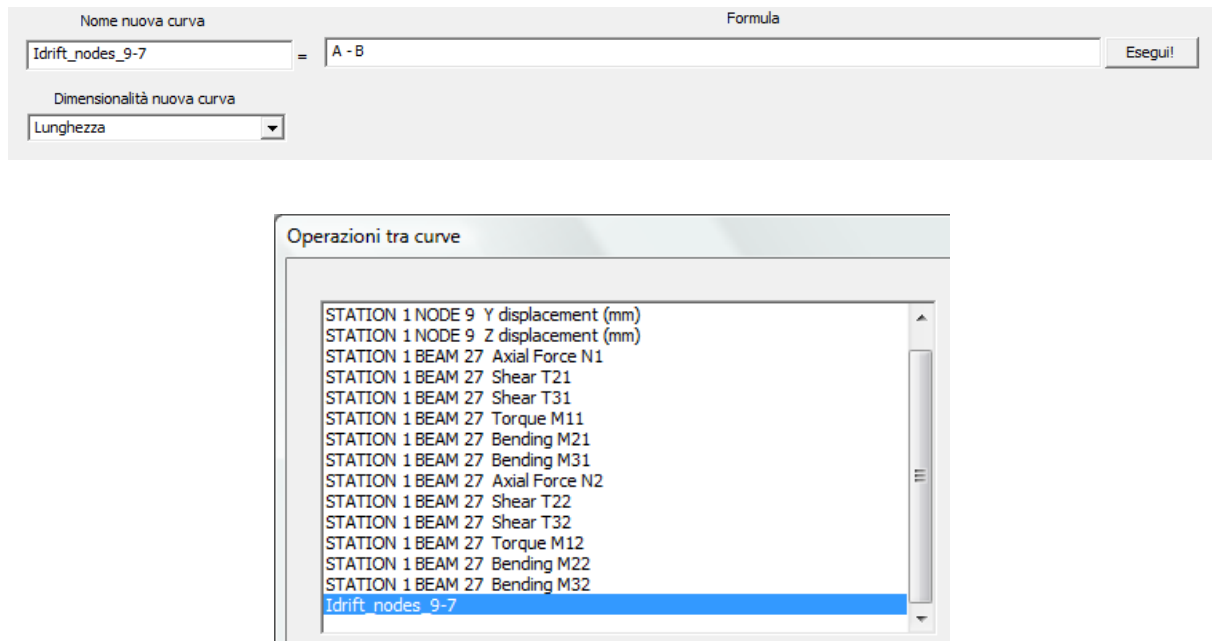


Se è necessaria una seconda curva, la si seleziona nella lista e la si associa, ad esempio, alla variabile B. E così via. Nell'esempio sottostante abbiamo definito due variabili A e B che sono le curve associate allo spostamento in direzione X dei nodi 9 e 7 (il nodo superiore e quello inferiore della colonna dell'esempio iniziale).



Si sceglie quindi se utilizzare le ascisse X o le ordinate Y delle curve. Nel primo caso sono le ascisse X a cambiare, mentre le ordinate Y rimangono invariate. Nel secondo caso si ha la situazione inversa.

Definite le variabili, possiamo aggiungere la nuova curva. Indichiamo un **nome** (opzionale) e la **dimensionalità** della curva (se sottraiamo due curve relative allo spostamento, avremo una lunghezza; se dividiamo una forza per un'area, avremo uno sforzo, ecc.). Definiamo infine la **formula** della nuova curva: nell'esempio corrente, digiteremo A-B per indicare una sottrazione tra le curve A e B. Premendo il bottone Esegui, la nuova curva verrà aggiunta alla lista.



Premendo OK, torneremo al dialogo con la [collezione](#)<sup>h251</sup> delle curve, che includerà anche quella appena aggiunta e non conterrà più curve eventualmente eliminate. Premendo OK nel dialogo principale delle curve, salveremo le modifiche nel corrispondente file *.pmc*.

### Note importanti

La formula che definisce le operazioni tra curve, oltre alle **variabili**, agli **operatori matematici**, alle parentesi anche annidate, ecc. può contenere anche **valori numerici**. Tali valori possono essere **adimensionali** o **dimensionali**. Nel secondo caso, i valori vanno indicati nelle **unità di misura correnti**, e il programma sarà in grado di interpretarli correttamente, sulla base della dimensionalità delle curve utilizzate e della dimensionalità specificata per la curva risultante.

Ad esempio, se vogliamo sottrarre 10mm a una curva di spostamento, potremo definire una nuova curva, avente come dimensionalità la lunghezza, tramite la formula *A-10*, dove la variabile A è la curva relativa allo spostamento nodale di un dato nodo, in una data direzione, mentre 10 verrà interpretato in millimetri, essendo questa l'unità corrente per le lunghezze. Se invece definiremo una curva *2\*A*, cioè pari al doppio di A, il programma sa che A ha la dimensionalità di una lunghezza e che la curva finale ha la dimensionalità di una lunghezza,



quindi interpreterà il 2 come adimensionale, e non lo convertirà in caso di cambiamento di unità di misura.

### 3.9.19 Tabelle

#### COMANDO: Post-Tabelle

[Ribbon-Post 1]



Il comando serve a creare un certo numero di file TXT, di facile utilizzo. Questi file elencano in forma di tabelle sia i dati del modello sia i risultati. All'esecuzione del comando, viene proposto un opportuno [dialogo](#)<sup>[1251]</sup> che consente di scegliere quali tabelle creare. I file con le tabelle sono collocati nella stessa cartella del modello ed hanno nomi diversi, ma tutti con una parte in comune riferita al nome del modello.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** vista

#### 3.9.19.1 Richiesta tabelle

#### RICHIESTA TABELLE (DIALOGO)

**Richiesta tabelle**

**Modello**

- ☐ Coordinate dei Nodi e vincoli
- ☐ Masse dei nodi
- ☐ Incidenze elementi beam e svincoli
- ☐ Incidenze elementi truss
- ☐ Incidenze elementi membrana
- ☐ Incidenze elementi piastra
- ☐ Incidenze elementi solidi
- ☐ Incidenze molle
- ☐ Incidenze superelementi
- ☐ Lunghezze snellezze e coefficienti di libera inflessione travi
- ☐ Lunghezze snellezze e coefficienti di libera inflessione bielle
- ☐ Lunghezze snellezze e coefficienti di libera inflessione superelement
- ☐ Sezioni
- ☐ Materiali
- ☐ Spessori
- ☐ Casi di carico
- ☐ Combinazioni
- ☐ Forze e coppie nodali
- ☐ Carichi uniformemente ripartiti
- ☐ Carichi lineari
- ☐ Carichi lineari generali
- ☐ Carichi concentrati
- ☐ Carichi termici

**Risposta strutturale**

- ☐ Casi di carico
- ☐ Combinazioni
- ☐ Spostamenti
- ☐ Reazioni vincolari nodi vincolati
- ☐ Azioni interne beam
- ☐ Azioni interne truss
- ☐ Azioni interne molle
- ☐ Periodi
- ☐ Moltiplicatori critici

Tutti!    Nessuno!

**Unità di misura**

mm	Lunghezza	Cambia...
N	Forza	
N mm	Momento	
N/mm <sup>2</sup>	Sforzi	
°C	Temperatura	

Le tabelle sono file TXT delimitati da spazi e con ampiezza di colonna fissa.

OK    Cancel

Questo dialogo serve a scegliere che tabelle creare. Sono presenti tre riquadri:

1. Il riquadro **Unità di Misura** serve a scegliere l'unità di misura che sarà usata per creare le tabelle. La unità di misura può essere cambiata con il bottone **Cambia**, e tale modifica non ha effetto sulle unità di misura usate per il modello.
2. Il riquadro **Modello** che elenca le opzioni relative ai dati del modello.
3. Il riquadro **Risposta Strutturale** che riepiloga le opzioni relative ai risultati delle analisi. Valgono per esso le seguenti osservazioni:
  - a. Per le analisi statiche i risultati possono essere aggiunti per i casi e le combinazioni disgiuntamente.

- b. Vengono sempre aggiunti i risultati per tutti gli elementi o i nodi, le tabelle non dipendono dalla selezione.
- c. Alcuni campi possono essere ingrigiti se i dati corrispondenti non sono disponibili.

I bottoni **Tutti!** e **Nessuno!** servono a selezionare tutte le tabelle o nessuna.

I file presentano i dati in colonne di larghezza fissa.

### 3.9.20 No post

**COMANDO: Post-No Post**

[Ribbon-Post 1][Ribbon-Post 2]

**NO**

Questo comando fa vedere gli elementi in base alla sezione, eliminando ogni informazione di post processing dallo schermo.

### 3.9.21 Legenda

**COMANDO: Post-Legenda**

[Ribbon-Post 1][Ribbon-Post 2]



Questo comando consente di personalizzare la legenda degli sforzi di piastre e membrane e di influire sul modo in cui sono rappresentate le isolinee ([Sforzi in piastre e Membrane](#)<sup>321</sup>).

Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>1262</sup> che consente di fare le scelte desiderate. Le scelte fatte possono essere salvate con il comando [Salva Configurazione](#)<sup>614</sup>.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** vista attiva

### 3.9.21.1 Legenda (Dialogo)

#### LEGENDA (DIALOGO)

Questo dialogo serve a personalizzare la legenda. Si può decidere il numero di intervalli e scegliere i colori da usare per rappresentare gli sforzi. Ogni scelta fatta può essere salvata con il comando [Salva Configurazione](#)<sup>614</sup>.

Per cambiare il numero di intervalli specificarne il numero e premere il tasto **Aggiorna!**. Fatto questo si vedrà che il numero di intervalli della legenda è cambiato. Per modificare un colore basta cliccarci sopra: si aprirà il consueto dialogo che consente di scegliere il colore desiderato.

Una seconda importante possibilità è quella che consente di **stabilire gli estremi della scala in modo arbitrario**: ciò consente di evidenziare le zone che superano (o non superano o stanno in) un certo intervallo. I dati si riferiscono allo sforzo correntemente visualizzato e vengono interpretati sulla base delle unità attive.

L'ultima possibilità consiste nello scegliere di visualizzare le isolinee con un algoritmo più semplice, e perciò più veloce, di quello impiegato per default: da lato a lato vengono normalmente impiegati sette punti, la modalità rozza ne fa vedere solo due, rettificando la isolinea.

A partire dalla versione 15.00 se l'elemento o parte dell'elemento ha valori inferiori al minimo della legenda, esso, o la parte di esso che è al di sotto del valore minimo, viene rappresentato in colore grigio.

### 3.9.22 Importa

#### COMANDO: Post-Importa

[Ribbon-Post 1]



Il comando può essere eseguito solo su modelli per i quali sia stato fatto il solving. Ci si posiziona in un caso di carico (del modello attivo, detto "padre"), la risposta al quale (in termini di reazioni vincolari, spostamenti, sforzi in tutti gli elementi), si vuole sostituire con la risposta di un altro modello simile, esterno al modello dato (modello "figlio"). Il modello figlio ed il modello padre devono avere lo stesso numero di nodi, e lo stesso numero di elementi (trave, biella, molla, piastra, membrana, solido).

Si sceglie il modello esterno ("figlio"), anch'esso già risolto, dal quale si vuole prendere la risposta per sostituirla alla risposta del modello corrente, nel caso di carico corrente. Poi si specifica che caso di carico del modello esterno si vuole considerare al fine di sostituire la risposta.

Al termine del comando la risposta del modello corrente non sarà quella ottenuta dalla risoluzione del modello corrente, ma quella letta nel modello esterno.

Operativamente:

- viene aperto il file "figlio.ddb" del modello esterno e letto l'insieme degli spostamenti del caso di carico specificato del modello figlio;
- gli spostamenti letti vengono sostituiti agli spostamenti del caso di carico attivo nel file "padre.ddb";
- si ripete la stessa operazione con le reazioni vincolari (file "figlio.rdb" e "padre.rdb") e con le azioni interne (file "figlio.sdb" e "padre.sdb")
- si reinizializza la vista

Una nuova esecuzione del solving riporta la risposta ad essere coerente con il solving del modello "padre" annullando il comando precedentemente dato.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** dati per il post processing

## 3.10 Menu Struttura, Ribbon: File, Mesh, Pre, Strumenti

### 3.10.1 Tipica

#### 3.10.1.1 Completa

**COMANDO: Struttura-Tipica-Completa**

**[Ribbon-Mesh]**



Attraverso questo comando è possibile creare in modo automatico modelli fem di strutture tipiche. Questi modelli sono costituiti da elementi unifilari di tipo beam a cui dovranno essere attribuiti sezione e materiale.

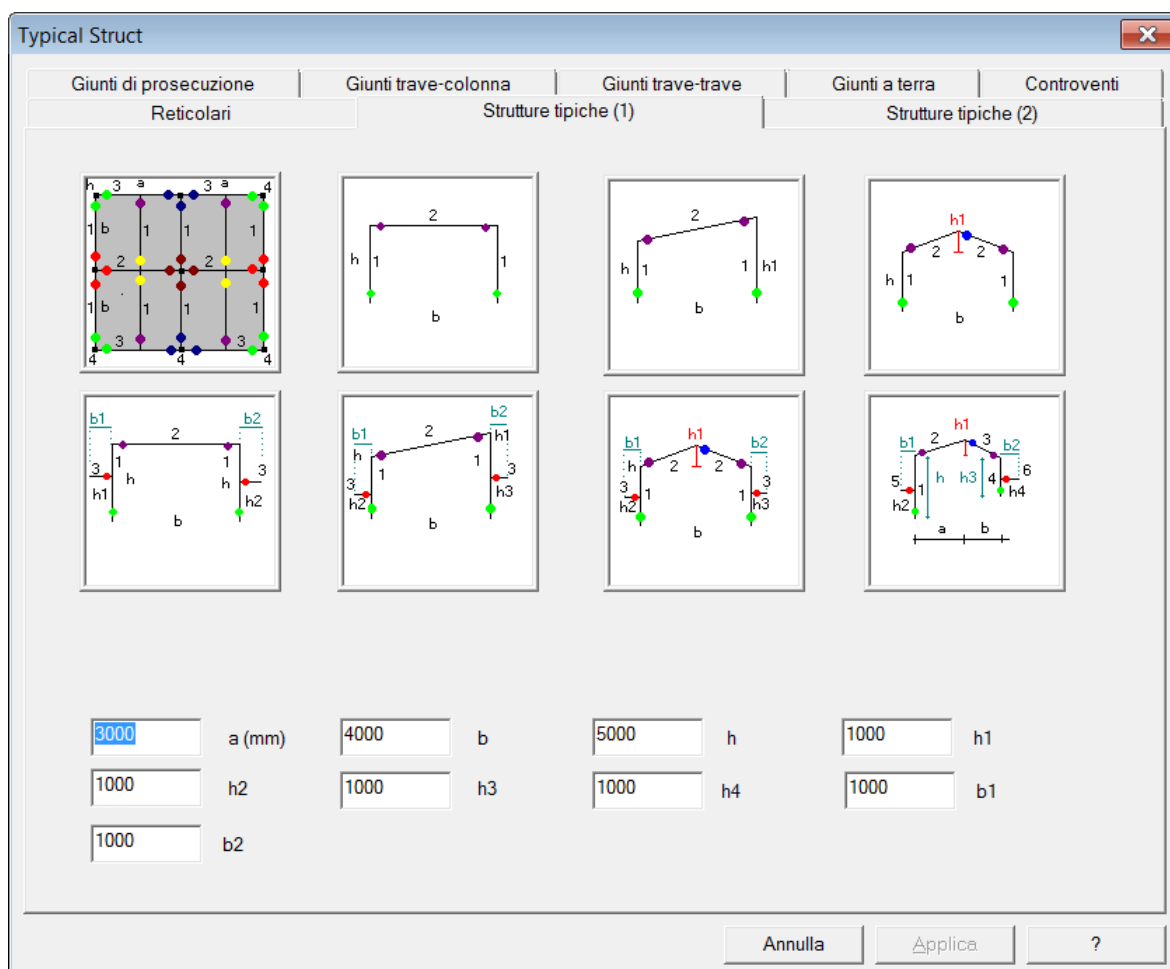
La struttura, inoltre, potrà poi essere modificata secondo le esigenze, aggiungendo ulteriori elementi, eliminandone alcuni, spostando i nodi, ecc, con i comandi standard.

All'esecuzione del comando, si accede a un opportuno property sheet in cui si potrà scegliere lo [schema della struttura](#)<sup>1264</sup>, quindi attraverso un [dialogo](#)<sup>1267</sup> si assegneranno materiale e forma sezionale agli elementi.

**Tipo:** modale

#### 3.10.1.1.1 Strutture tipiche (1)

**STRUTTURE TIPICHE (1)**



Questo dialogo consente di scegliere una delle strutture tipiche disponibili. Quando l'utente clicca sullo schema desiderato, appare un opportuno [dialogo](#)<sup>1267</sup>, nel quale si possono assegnare il materiale e le sezioni trasversali di ciascuna membratura.

Le dimensioni nella immagine dello schema scelto devono essere definite nelle caselle in basso.

La prima struttura tipica include le colonne di una tipica struttura di solaio, l'altezza delle quali deve essere anch'essa specificata. I numeri si riferiscono al numero di membratura. I pallini colorati si riferiscono ai diversi nodi di connessione che in seguito saranno trovati. "a"

e "b" sono le distanze da una colonna a quella immediatamente adiacente. Le membrature numero 1 sono le travi secondarie. Le membrature numero 4 sono le colonne.

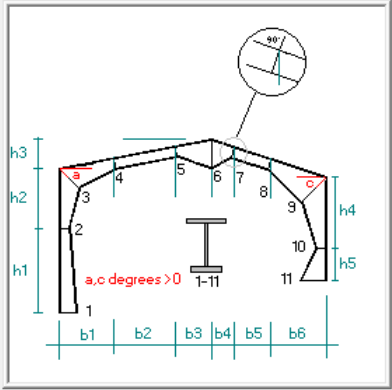
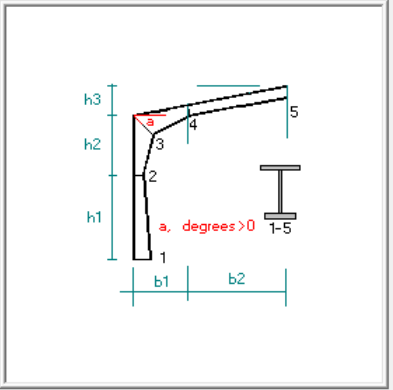
Le altre strutture tipiche sono portali.

### 3.10.1.1.2 Strutture tipiche (2)

## STRUTTURE TIPICHE (2)

Typical Struct

Giunti di prosecuzione	Giunti trave-colonna	Giunti trave-trave	Giunti a terra	Controventi
Reticolari	Strutture tipiche (1)		Strutture tipiche (2)	

45	a (deg)	45	c (deg)	5000	h1 (mm)	1000	h2
1500	h3	1500	h4	1000	h5	5000	h6
1000	b1	5000	b2	800	b3	800	b4
5000	b5	1000	b6				

Questo dialogo consente di scegliere una tra le strutture tipiche disponibili. Quando l'utente clicca sul bottone desiderato, appare un opportuno [dialogo](#), nel quale il materiale e le sezioni trasversali possono essere assegnati alle membrature.



Le dimensioni nella immagine associata a ciascuno schema devono essere introdotte nelle caselle poste in basso.

In questo dialogo possono essere definiti portali che impieghino elementi rastremati. Qui il numero si riferisce a diverse sezioni trasversali, da 1 a 11 per il portale completo, e da 1 a 5 per metà portale. Il programma aggiungerà solo gli elementi finiti necessari, con le pertinenti sezioni trasversali già assegnate, in modo da definire non solo gli elementi rastremati, ma anche le lavorazioni necessarie nei diversi Renodi, così che si possa ottenere un corretto modello 3D.

Al momento solo le sezioni ad I o ad H con spigoli vivi sono disponibili, e quindi l'utente dovrà definire direttamente le sezioni trasversali premendo preferibilmente il tasto "Aggiungi" nel dialogo "[Assegnazione di materiale e proprietà](#)", il che condurrà direttamente all'opportuno dialogo di aggiunta della sezione trasversale.

#### 3.10.1.1.3 Assegnazione materiale e proprietà (Dialogo)

### ASSEGNAZIONE MATERIALE E PROPRIETA' (DIALOGO)

Assegnazione materiale e proprietà

Materiale

???

Archivio... Aggiungi...

Sezioni

???	corrente	Archivio...	Aggiungi...
???	1	Assegna!	
???	2	Assegna!	

Impostazioni

☒ Vai direttamente alla vista renodo

OK Cancel

In questo dialogo si assegnano materiale e sezione alle membrature del nodo tipico che si sta definendo.

Premendo il bottone *Archivio* nel riquadro *Materiale* si accede all'[archivio dei materiali](#)<sup>[1002]</sup> di SARGON, dal quale si sceglie quello desiderato. Tutte le membrature avranno lo stesso materiale, che potrà comunque essere modificato con i normali comandi di gestione del modello fem. Premendo il bottone *Aggiungi* è invece possibile definire un nuovo materiale, attraverso un apposito [dialogo](#)<sup>[1003]</sup>.

Nel riquadro *Sezioni*, cliccando il bottone *Assegna!* accanto alla casella corrispondente a ciascuna membratura (numerata da 1 a n secondo quanto mostrato nell'immagine a destra) si assegna a ciascuna membratura la sezione corrente, cioè quella riportata nella casella *corrente*. Tale casella è inizialmente vuota; per definire una sezione corrente si utilizzano il bottone *Archivio*, che permette di scegliere uno dei profili dell'[archivio](#)<sup>[886]</sup> di SARGON, o il bottone *Aggiungi* che consente di definire una nuova sezione. Cambiando la sezione corrente, è possibile assegnare sezioni diverse alle varie membrature.

La casella *Vai direttamente alla vista renodo in Impostazioni*, non si riferisce all'uso con Sargon.

#### 3.10.1.2 Solo mesh

##### COMANDO: Struttura-Tipica-Solo Mesh

##### [Ribbon-Mesh]



Il comando è in fase di preparazione.

#### 3.10.2 Testi

##### 3.10.2.1 Descrizione

##### COMANDO: Struttura-Testi-Descrizione

Questo comando serve a introdurre un testo che verrà memorizzato e inserito in un particolare punto del [report ePUB](#)<sup>[436]</sup>. Il testo deve essere scritto con le regole html. Se si inserisce testo puro, non c'è bisogno di nulla. Il grassetto va posto tra <b> e </b>. Il corsivo tra <i> e </i>. Ogni a capo va gestito con i segni di paragrafo aperto (<p>) e chiuso (</p>). Il testo si riferisce a: una descrizione generale del modello.

### 3.10.2.2 Statica

#### COMANDO: Struttura-Testi-Statica

Questo comando serve a introdurre un testo che verrà memorizzato e inserito in un particolare punto del [report ePUB](#)<sup>[436]</sup>. Il testo deve essere scritto con le regole html. Se si inserisce testo puro, non c'è bisogno di nulla. Il grassetto va posto tra <b> e </b>. Il corsivo tra <i> e </i>. Ogni a capo va gestito con i segni di paragrafo aperto (<p>) e chiuso (</p>). Il testo si riferisce a: un commento sui risultati della analisi statica.

### 3.10.2.3 Modale

#### COMANDO: Struttura-Testi-Modale

Questo comando serve a introdurre un testo che verrà memorizzato e inserito in un particolare punto del [report ePUB](#)<sup>[436]</sup>. Il testo deve essere scritto con le regole html. Se si inserisce testo puro, non c'è bisogno di nulla. Il grassetto va posto tra <b> e </b>. Il corsivo tra <i> e </i>. Ogni a capo va gestito con i segni di paragrafo aperto (<p>) e chiuso (</p>). Il testo si riferisce a: un commento ai risultati della analisi modale.

### 3.10.2.4 Buckling

#### COMANDO: Struttura-Testi-Buckling

Questo comando serve a introdurre un testo che verrà memorizzato e inserito in un particolare punto del [report ePUB](#)<sup>[436]</sup>. Il testo deve essere scritto con le regole html. Se si inserisce testo puro, non c'è bisogno di nulla. Il grassetto va posto tra <b> e </b>. Il corsivo tra <i> e </i>. Ogni a capo va gestito con i segni di paragrafo aperto (<p>) e chiuso (</p>). Il testo si riferisce a: un commento dei risultati della analisi di buckling.

### 3.10.2.5 Verifiche

#### COMANDO: Struttura-Testi-Verifiche

Questo comando serve a introdurre un testo che verrà memorizzato e inserito in un particolare punto del [report ePUB](#)<sup>[436]</sup>. Il testo deve essere scritto con le regole html. Se si inserisce testo puro, non c'è bisogno di nulla. Il grassetto va posto tra <b> e </b>. Il corsivo tra <i> e </i>.

Ogni a capo va gestito con i segni di paragrafo aperto (<p>) e chiuso (</p>).

Il testo si riferisce a: un commento dei risultati delle verifiche.

### 3.10.3 Membrature

#### 3.10.3.1 Cerca!

#### COMANDO: Struttura-Membrature-Cerca!

#### [Ribbon-Strumenti]

Il comando cerca le membrature partendo da un modello a travi e bielle. Ciò implica che se una membratura è stata modellata con più elementi finiti, essa sarà rappresentata come un solo elemento "membratura" e non come più elementi. Nella definizione delle membrature, il programma tiene in conto la presenza di svincoli (che interrompono la continuità di un elemento) e dei segni di connessione (che hanno la stessa funzione, interrompere la continuità topologica senza interrompere quella statica), nonché la assegnazione delle sezioni, la loro orientazione, eccetera. Questa funzionalità è stata trasferita da CSE a Sargon per consentire di avere disegni più efficienti.

La generazione preliminare delle membrature è necessaria per:

1. [Assegnare le armature](#)<sup>[1271]</sup>, che vengono assegnate a *membrature* e non a elementi finiti.
2. [Cercare i JNodi](#)<sup>[467]</sup>.
3. Creare le tavole DXF con gli unifilari ([Tavole...](#)<sup>[755]</sup>).

NOTA BENE: la ricerca delle membrature va fatta quando si è ragionevolmente certi che il modello FEM non verrà più toccato. Se il modello FEM viene modificato dopo la ricerca delle membrature, queste possono se necessario essere rigenerate con lo stesso comando, ma al momento le informazioni sulle armature eventualmente aggiunte andranno

perse. Il comando "[Aggiorna Membrature](#)<sup>1271</sup>" è invece in grado di aggiornare salvando il salvabile.

Le membrature non sono più aggiornate se:

- Si sono aggiunti o rimossi elementi beam e truss.
- Si sono modificati materiali o sezioni di elementi beam e truss.
- Si sono modificati svincoli o segni di connessione.
- Si sono modificate orientazioni.

La modifica di elementi piastra, membrana, molla non perturba le membrature a meno che non vengano cancellati nodi che implicino una risequenziazione degli stessi.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

### 3.10.3.2 Aggiorna le membrature

**COMANDO:** Struttura-Membrature-Aggiorna

[Ribbon-Strumenti]

Il comando non è ancora disponibile.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

## 3.10.4 Calcestruzzo Armato

### 3.10.4.1 Aggiungi armature

**COMANDO:** Struttura-Calcestruzzo armato-Aggiungi armature

[Ribbon-Strumenti]

Questo comando viene impiegato per aggiungere armature ad un insieme di membrature aventi tutte la stessa identica sezione. Questo requisito è necessario per consentire di posizionare le armature in modo univoco, ovvero relativamente a una sezione che si presenta identica per tutte le membrature selezionate. A differenza del comando di modifica [Modifica Armature](#)<sup>1287</sup>, questo comando non fa vedere le armature eventualmente già presenti sugli elementi, e ciò per la fondamentale ragione che gli elementi pur avendo sezioni identiche, e identiche armature da aggiungere, possono avere armature diverse.

Perché il comando possa essere eseguito, è necessario che sia selezionato un certo numero di membrature (anche una sola) aventi tutte la stessa identica sezione.

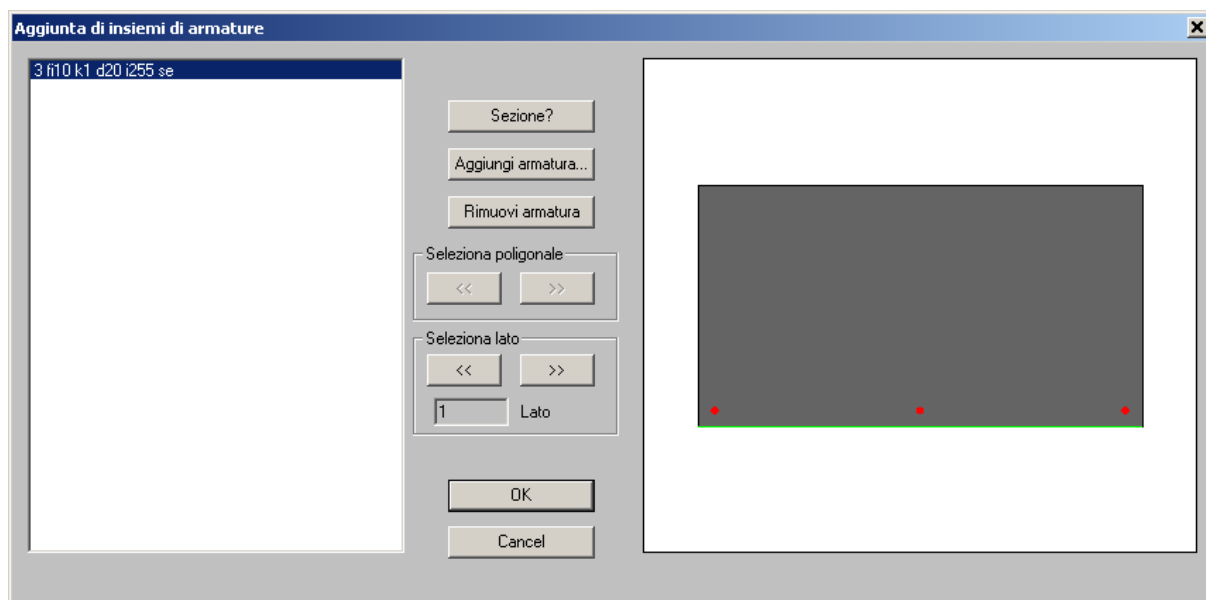
Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>1272</sup> che consente di descrivere materialmente le armature da aggiungere e dove aggiungerle.

**Tipo:** moodale

**Destinazione:** documento

#### 3.10.4.1.1 Aggiunta di insiemi di armature

**DIALOGO: Aggiunta di insiemi di armature**



Questo dialogo serve ad aggiungere armature ad una membratura o a più membrature tutte aventi una certa sezione.

La sezione è raffigurata nel sistema di riferimento locale, ovvero nello stesso sistema di riferimento adottato quando è stata descritta (non principale in generale). Gli assi orizzontale e verticale si chiamano y e z, rispettivamente, e si suppone che l'asse della membratura sia l'asse x. Questi assi non coincidono in generale con gli assi principali della sezione (assi 2 e 3), ma in molti casi (sezioni rettangolari, a T, a C) invece sì.

Il dialogo è concepito in questo modo:

- A sinistra c'è un riquadro nel quale venfono indicate, una per ogni riga, le armature via via aggiunte.
- A destra c'è un riquadro nel quale viene disegnata la sezione con le armature aggiunte (quelle stesse listate a sinistra). Se si seleziona una delle righe del riquadro di sinistra, le corrispondenti armature vengono disegnate colorate in rosso nel riquadro di destra.

- Tra i due riquadri ci sono una serie di bottoni, il cui significato è il seguente.
  - **Sezione?** Dà informazioni sulla sezione (area, momenti di inerzia, ecc.)
  - **Aggiungi armatura** Consente di aggiungere una nuova armatura
  - **Rimuovi armatura** Rimuove l'armatura selezionata
  - << Se la sezione è composta da più poligonali fa selezionare la poligonale precedente. Se c'è una sola poligonale il tasto è inattivo.
  - >> Se la sezione è composta da più poligonali fa selezionare la poligonale successiva. Se c'è una sola poligonale il tasto è inattivo.
  - << (riquadro seleziona lato) Seleziona il lato precedente della poligonale attiva, mostrandolo in colore verde.
  - >> (riquadro seleziona lato) Seleziona il lato successivo della poligonale attiva, mostrandolo in colore verde.
  - **OK** Accetta le armature aggiunte e le va materialmente ad aggiungere alle membrature selezionate.
  - **Cancel** Esce senza salvare le armature aggiunte.

La selezione della poligonale serve al fine di selezionare un lato per applicarvi una fila di armature. La selezione del lato serve al fine di snellire i dati di input da fornire, nel caso in cui si intenda assegnare una fila di barre.

La rimozione di una fila di barre o di una singola armatura avviene selezionando la riga corrispondente nel riquadro di sinistra, eppoi premendo il tasto "rimuovi armatura". Che l'armatura sia quella giusta è confermato dal fatto che questa diviene colorata in rosso.

Alla pressione del tasto **Aggiungi armatura** si viene portati in un opportuno [dialogo](#)<sup>[1275]</sup> che ha per scopo l'acquisizione dei dati relativi alla armatura.



**Tipo:** moodale

**Destinazione:** documento

#### 3.10.4.1.2 Acquisizione di un'armatura

### DIALOGO: Acquisizione di un'armatura

**Acquisizione di un'armatura**

**Inserimento alfanumerico rapido**

Barra singola posizionata puntualmente (coordinate rispetto al baricentro)  
 fiAA yBB zCC sDD eEE es: fi18 y-2200 z200 s100 e1200 ; fi14 y-20 z23.2 se

Fila di barre parallela ad un lato  
 NfiAA [kBB] dCC iDD] s[EE] e[FF] es: 5fi24 k3 d2 i10 se []=facoltativo  
 Se "kBB" manca verrà impiegato il lato selezionato correntemente, ovvero il lato   
 Se i=0, o manca del tutto il campo "iDD", i=(LLATO - 2CC)/(N-1)  
 Se EE manca, EE=0; se FF manca, FF=L membratura

Circonferenza di barre, raggio r, centro in (y, z)  
 NfiAA iBB yCC zDD s[EE] e[FF] es: 12fi14r120.2y0z0se []=facoltativo  
 Se EE manca, EE=0; se FF manca, FF=L membratura

Descrizione rapida secondo le regole chiarite

**Inserimento guidato**

Aiuto BARRA SINGOLA... Aiuto FILA BARRE... Aiuto CIRCONF. BARRE...

OK Cancel

Modi per dare la lunghezza:  
 s=start  
 e=end  
 l=lunghezza  
 se  
 s0 e1000  
 s11000  
 s1011000  
 e1800  
 e10001700

Questo dialogo serve ad aggiungere un'armatura alla membratura correntemente sotto esame o alle membrature correntemente selezionate. Vi si accede sia dal comando [Struttura-Calcestruzzo Armato-Aggiungi Armature](#)<sup>1271</sup>, sia dal comando [Struttura-Calcestruzzo Armato-Modifica-Armature](#)<sup>1287</sup>.

Si è ritenuto che la possibilità di descrivere la posizione della armatura alfanumericamente fosse, passato un primo periodo di apprendimento, il modo più rapido per

aggiungere ferri ad una data sezione. Per questo motivo, il modo standard di aggiungere un'armatura consiste nel fornire una opportuna stringa di caratteri, aventi un certo significato codificato.

Accanto a questo metodo è anche possibile aggiungere l'armatura in modo più guidato, mediante altri dialoghi opportuni, che vengono invocati premendo i tre bottoni [Aiuto Barra Singola](#)<sup>[1282]</sup>, [Aiuto Fila Barre](#)<sup>[1284]</sup>, [Aiuto Circonf. Barre](#)<sup>[1285]</sup>. Il risultato delle procedure guidate sarà comunque una opportuna stringa alfanumerica di caratteri, che verranno poi processati e decodificati dal programma alla pressione del tasto **OK** di *questo* dialogo.

Al momento è previsto che le armature vengano date mediante tre diverse possibilità.

### **Barra Unica**

La prima possibilità consiste nell'aggiungere un'unica barra posizionata in modo opportuno e con un certo diametro. Il posizionamento avviene mediante le coordinate y e z sulla sezione, riferite all'origine, la quale è il baricentro della sezione geometrica. La coordinata y corrisponde all'asse orizzontale, la coordinata z all'asse verticale. La terna (x, y, z) non è da confondere con la terna (1, 2, 3), terna degli assi principali della sezione geometrica, e nemmeno con la terna (X,Y,Z), terna degli assi globali della struttura.

### **Fila di barre**

La seconda possibilità consiste nel dare una fila di barre equispaziate, aventi tutte lo stesso diametro. In questo caso si presume che la fila sia posta parallelamente ad uno dei lati di una delle poligoni che compongono la sezione. La fila di barre viene posta ad una certa distanza dal lato, distanza che viene a coincidere con il copriferro. Le barre vengono posizionate in modo tale che, se esse sono in numero dispari, la barra centrale venga posta in corrispondenza al punto medio del lato (fatto salvo il copriferro); se esse sono in numero pari, in modo che il punto medio dell'interferro delle barre centrali corrisponda al punto medio del lato.

Se n è il numero di barre e i il loro interasse, deve essere

$$(n-1)*i+2r=L$$

dove  $r$  è la distanza tra le ultime barre ed il punto posto a distanza pari al copriferro, idealmente sul prolungamento delle barre in corrispondenza al lato di lunghezza  $L$ . Il numero di barre deve essere maggiore o eguale a 2.

### **Circonferenza di barre**

La terza possibilità consiste nel dare un certo numero di barre disposte lungo una circonferenza a passo angolare eguale. Occorre fornire il numero delle barre ed il loro diametro, le coordinate  $y$  e  $z$  del centro della circonferenza ed il suo raggio. Poi, occorre fornire il punto iniziale ed il punto finale lungo la membratura, così come già visto per le altre modalità. La prima barra ha sempre angolo 0 sull'orizzontale.

### **Come fornire la stringa**

La stringa viene fornita seguendo le convenzioni riepilogate nello stesso dialogo. Tutte le distanze devono essere fornite nella unità di lunghezza attiva, a meno che non sia specificato diversamente.

Valgono le seguenti abbreviazioni (tutte minuscole):

Simbolo abbreviato	Tipo di dato da fornire	Significato
-----------------------	----------------------------	-------------

<b>d</b>	reale	copriferro espresso nella unità di lunghezza attiva
<b>e</b>	reale	“end” ascissa del punto finale della barra misurata dal primo estremo della membratura. Le barre sono rettilinee e parallele all’asse della membratura.
<b>fi</b>	intero	diametro della barra in mm
<b>i</b>	reale	interasse tra i ferri espresso nella unità di misura attiva
<b>k</b>	intero	numero del lato della poligonale corrente
<b>l</b>	reale	lunghezza delle barre da applicare
<b>r</b>	reale	raggio della circonferenza di barre
<b>s</b>	reale	“start” ascissa del punto di inizio della barra misurata dal primo estremo della membratura
<b>y</b>	reale	coordinata y nella unità attiva
<b>z</b>	reale	coordinata z nella unità attiva

Ciò che si trova tra parentesi quadre è opzionale, nel senso che, con opportune convenzioni, può essere omissivo.

Relativamente alla lunghezza delle barre, si usano due dei tre campi “s”, “e”, “l”.

Se la barra va dall'inizio alla fine si possono omettere le ascisse iniziale e finale, ed indicare solo "se".

Se si vuole indicare solo il punto di inizio e la lunghezza della barra si può usare il costruito "s?!l!?", dove i "?" indicano i numeri da aggiungere.

Se si vuole indicare solo il punto finale e la lunghezza della barra si può usare il costruito "e?!l!?", dove i "?" indicano i numeri da aggiungere.

### **Barra Singola**

Nel caso di barra singola, la sintassi è:

$$fiAA \quad yBB \quad zCC \quad s[DD] \quad e[EE]$$

dove AA, BB, CC, DD ed EE sono i numeri che occorre fornire, accompagnati obbligatoriamente dagli identificatori elencati in tabella.

Esempi:

**fi12y-100z230s0e3500**

Metti una barra da 12 mm, nel punto (-100, 230) dall'inizio della membratura sino a distanza 3500 dall'inizio della membratura.

**fi16y180z180se**

Metti una barra da 16mm nel punto (180, 180) dall'inizio alla fine della membratura.

**fi18y0z-123s120l3200**

Metti una barra di diametro 18mm, nel punto (0, -123), dal punto a 120 dall'inizio della membratura sino al punto raggiunto percorrendo una lunghezza di barra pari a 3200.

**Fila di barre**

In questo caso la sintassi è:

$$NfiAA [kBB] dCC [iDD] s[EE] e[FF]$$

Il campo **k** può essere omissso. In questo caso si sottointende di voler applicare la fila di barre al lato correntemente selezionato della poligonale correntemente selezionata.

Il campo **i** può essere omissso. In questo caso **i** verrà calcolato in modo tale che

$$i=(L-2CC)/(N-1)$$

dove **L** è la lunghezza del lato, **CC** è il copriferro ed **N** è il numero di barre. In questo modo le ultime barre distano dall'estremo del lato per una quantità pari al copriferro. Analogo risultato viene raggiunto se si indica  $i=0$ .

Per i campi “s” ed “e” valgono le regole già viste per la barra singola.

### Esempi

Supponiamo che sia correntemente selezionato il lato 3 e che il lato 3 sia lungo 40cm. Vediamo i successivi esempi:

#### **3fi12d2se**

Metti una fila di 3 barre fi12 sul lato 3 a distanza di 2cm (copriferro) e dall’inizio alla fine della membratura. L’interferro sarà pari a  $(40-4)/2=18$  cm.

#### **5fi18k1d3s80e**

Metti una fila di 5 barre fi18 sul primo lato della poligonale attiva, copriferro 3cm, da 80 cm dall’inizio sino alla fine della membratura. Supponendo che il lato 1 sia lungo 40cm, l’interferro sarà pari a  $(40-6)/4=8.5$  cm.

#### **5fi18k1d3i7se**

Metti una fila di 5 barre fi18 sul primo lato della poligonale attiva, copriferro 3cm, dall’inizio sino alla fine della membratura. L’interferro sarà pari a 7cm.

**Circonferenza di barre**

Nel caso di circonferenza di barre la sintassi è:

$$NfiAA \ rBB \ yCC \ zDD \ s[EE] \ e[FF]$$

r serve a dare il raggio della circonferenza di barre, y e z forniscono le coordinate del centro della circonferenza di barre.

Esempi:

**8fi12r180.5y23.5z44se**

Aggiunge 8 barre fi 12, ad intervallo di 45° su una circonferenza di raggio pari a 180.5 unità attive, e con centro in (23.5, 44) dall'inizio alla fine della membratura.

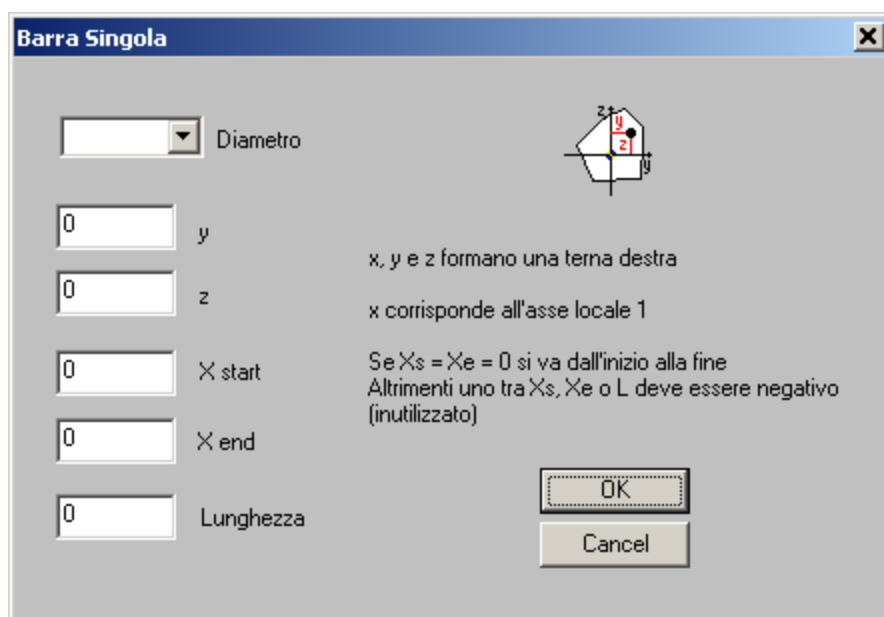
**Tipo:** moodale

**Destinazione:** documento

3.10.4.1.2.1 Aiuto barra singola

**DIALOGO:** Aiuto barra singola





Questo dialogo consente di aggiungere una barra singola in modo guidato. Occorre scegliere il diametro della barra in mm, e fornire le coordinate del punto corrispondente alla barra, sulla sezione (y e z), nella unità di lunghezza attiva. Infine occorre fornire le informazioni relative alla lunghezza della barra, usando i campi **Xs** (punto di partenza) **Xe** (punto terminale) e **Lunghezza**.

Se tutti e tre i campi **Xs**, **Xe** e **Lunghezza** sono nulli, allora la barra andrà dall'inizio alla fine della membratura, in caso contrario almeno uno dei tre campi deve contenere un numero negativo, che non sarà utilizzato. Gli altri due campi (**Xs** e **Xe**, oppure **Xs** ed **L**, oppure **Xe** ed **L**) verranno impiegati per ricostruire la lunghezza ed il posizionamento della armatura.

Al termine, se si preme il tasto **OK**, si torna al dialogo dal quale si proveniva, ma questa volta la stringa alfanumerica che descrive l'armatura sarà già stata compilata dal programma.

**Tipo:** moodale

**Destinazione:** documento

## 3.10.4.1.2.2 Aiuto fila barre

**DIALOGO: Aiuto fila barre**

**Fila di barre**

Numero barre: 4

Diametro (fi): 8

Lato (k): 1

Copriferro (d): 0

Interferro (i): 0

X start (s): 0

X end (e): 0

Lunghezza (l): 0

Numerazione lati antioraria

fi diametro barre  
k numero di lato  
d copriferro  
i interferro

ex: 3fi12 k4 d20 i80 se

x, y e z formano una terna destra  
x corrisponde all'asse locale 1

Se  $X_s = X_e = 0$  si va dall'inizio alla fine  
Altrimenti uno tra  $X_s$ ,  $X_e$  o  $L$  deve essere negativo (inutilizzato)

OK

Cancel

Questo dialogo consente di aggiungere una fila di barre in modo guidato. Occorre scegliere:

- il numero di barre;
- il diametro delle barra in mm;
- il lato al quale si applica la fila di barre (è proposto quello attualmente selezionato);
- il copriferro nella unità di misura di lunghezza attiva;
- l'interferro nella unità di misura di lunghezza attiva;

Infine occorre fornire le informazioni relative alla lunghezza della barra, usando i campi **Xs** (punto di partenza) **Xe** (punto terminale) e **Lunghezza**.

Se tutti e tre i campi **Xs**, **Xe** e **Lunghezza** sono nulli, allora la barra andrà dall'inizio alla fine della membratura, in caso contrario almeno uno dei tre campi deve contenere un numero negativo, che non sarà utilizzato. Gli altri due campi (**Xs** e **Xe**, oppure **Xs** ed **L**, oppure **Xe** ed **L**) verranno impiegati per ricostruire la lunghezza ed il posizionamento della armatura.

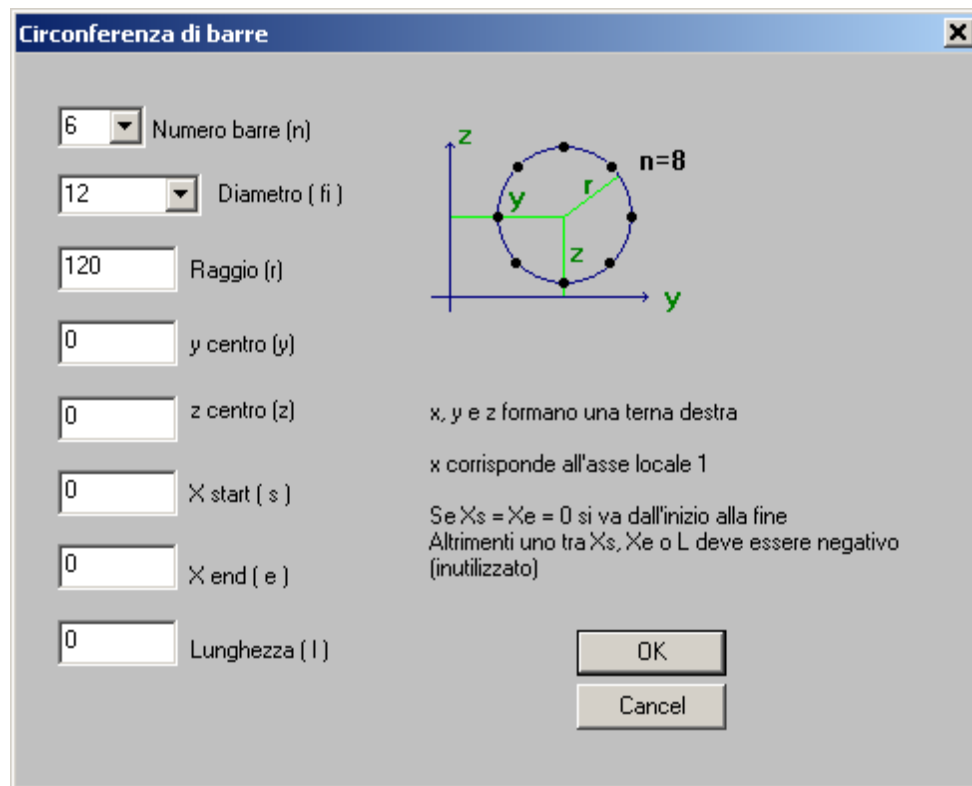
Al termine, se si preme il tasto **OK**, si torna al dialogo dal quale si proveniva, ma questa volta la stringa alfanumerica che descrive l'armatura sarà già stata compilata dal programma.

**Tipo:** moodale

**Destinazione:** documento

3.10.4.1.2.3 Aiuto circonferenza barre

**DIALOGO: Aiuto circonferenza barre**



Questo dialogo consente di aggiungere una fila di barre in modo guidato. Occorre scegliere:

- il numero di barre;
- il diametro delle barra in mm;
- il raggio della circonferenza nella unità attiva;
- le coordinate del centro della circonferenza nella unità attiva (y, z);

Infine occorre fornire le informazioni relative alla lunghezza della barra, usando i campi **Xs** (punto di partenza) **Xe** (punto terminale) e **Lunghezza**.

Se tutti e tre i campi **Xs**, **Xe** e **Lunghezza** sono nulli, allora la barra andrà dall'inizio alla fine della membratura, in caso contrario almeno uno dei tre campi deve contenere un

numero negativo, che non sarà utilizzato. Gli altri due campi (**Xs** e **Xe**, oppure **Xs** ed **L**, oppure **Xe** ed **L**) verranno impiegati per ricostruire la lunghezza ed il posizionamento della armatura.

Al termine, se si preme il tasto **OK**, si torna al dialogo dal quale si proveniva, ma questa volta la stringa alfanumerica che descrive l'armatura sarà già stata compilata dal programma.


**Tipo:** moodale

**Destinazione:** documento

#### 3.10.4.2 Modifica armature

**COMANDO: Struttura-Calcestruzzo armato-Modifica armature**  
**[Ribbon-Strumenti]**

Questo comando serve a modificare o aggiungere le armature di una data membratura. Perché il comando sia eseguibile deve essere selezionata, al momento della sua esecuzione, una e una sola membratura.

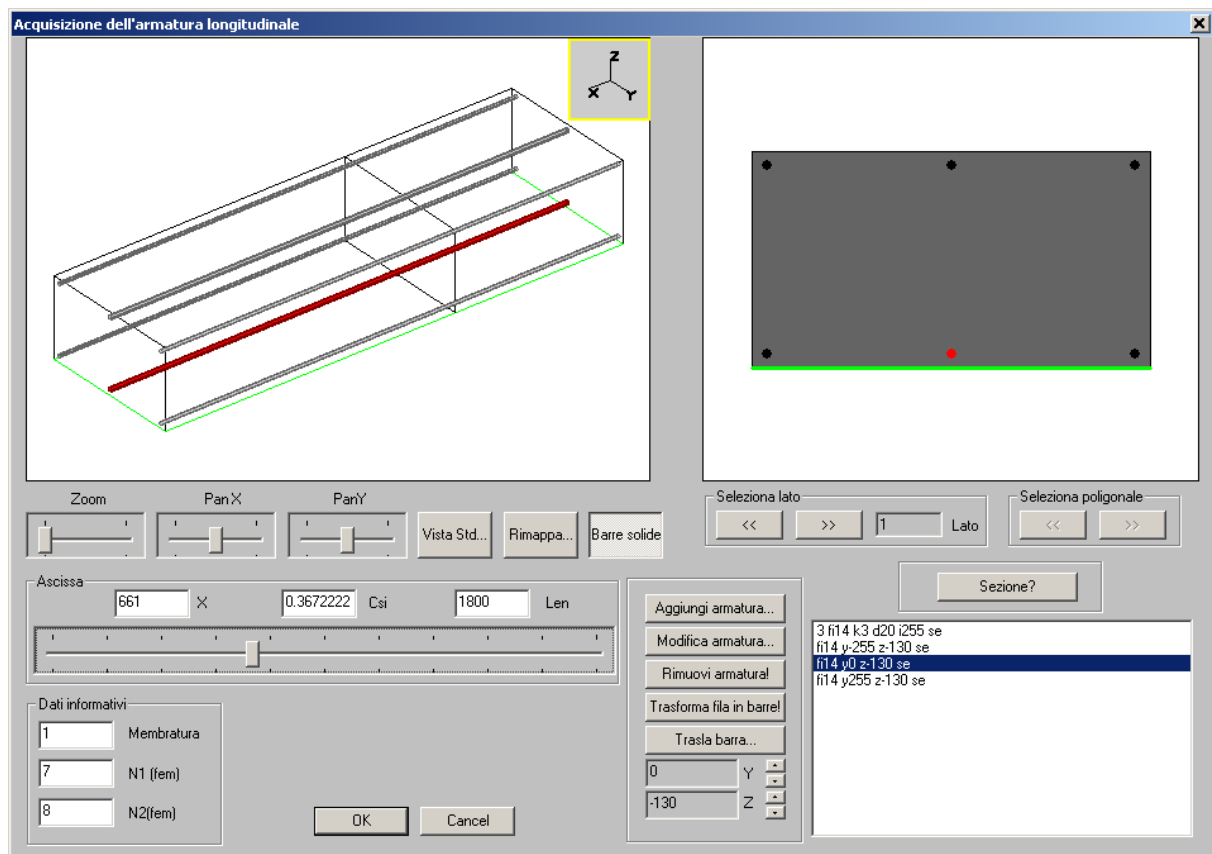
Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)  che è un vero ambiente di lavoro utile per definire le armature.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

##### 3.10.4.2.1 Acquisizione dell'armatura longitudinale

**DIALOGO: Acquisizione dell'armatura longitudinale**



Questo dialogo è il principale ambiente di lavoro per la definizione delle armature in SARGON.

Scopo del dialogo è quello di consentire all'utente di definire o modificare le armature di una certa membratura, selezionata al momento della esecuzione del comando **Elementi-Modifica Armature**.

Nel dialogo sono presenti due viste agenti in contemporanea.

A **sinistra in alto** vi è la rappresentazione solida e spaziale della membratura e delle sue armature, così come attualmente si presentano, sulla base delle modifiche o aggiunte introdotte. Scopo di questa vista è far vedere come verranno ad essere posizionate le armature nello spazio, in specie con riguardo agli assi di riferimento globali. A questo scopo, per servire questa vista, sono presenti vari bottoni.

Il bottone **Vista Std** consente di ridefinire la vista in base a una delle viste standard, in affinità a quanto previsto dal [comando omonimo](#)<sup>[746]</sup>. La rappresentazione nel riquadro in alto a sinistra cambierà corrispondentemente.

Il bottone **Rimappa** consente di ridefinire la vista in modo libero, in affinità a quanto previsto dal [comando omonimo](#)<sup>[747]</sup>. La rappresentazione nel riquadro in alto a sinistra cambierà corrispondentemente.

Il controllo a slitta **Zoom** fa ingrandire o rimpicciolire il disegno della membratura nello spazio.

Il controllo a slitta **PanX** fa traslare il disegno in direzione orizzontale.

Il controllo a slitta **PanY** fa traslare il disegno in direzione verticale.

Il bottone **Barre Solide** fa passare da una rappresentazione unifilare ad una rappresentazione solida delle barre di armatura.

Il  **cursore** posto nel riquadro **Ascissa** consente di determinare quale sia la sezione attiva della membratura, sezione che viene indicata nel disegno globale mediante il suo perimetro, e che viene quantitativamente identificata mediante i campi **X** (distanza dal primo estremo nella unità attiva) e **Csi** (ascissa adimensionale dal primo estremo, compresa tra 0 ed 1).

A destra in alto è presente un riquadro nel quale la sezione corrente (quella scelta per mezzo del cursore) viene mostrata nel suo sistema di riferimento (y, z) locale. *L'armatura disegnata su questa sezione è quella effettivamente presente in quel punto della membratura* tenendo in conto le lunghezze effettive delle barre di armatura presenti sulla membratura. Al di sotto del disegno della sezione sono presenti una serie di bottoni, che servono a selezionare una delle poligoni che compongono la sezione (<<, >>), e, scelta questa, uno dei lati che compongono la poligonale prescelta (<<, >>). Se la sezione è composta da un'unica poligonale, i tasti per la scelta della poligonale sono ingrigiti.

Il lato correntemente selezionato della poligonale correntemente selezionata è colorato in verde. A questo lato, in assenza di diverse specificazioni, saranno applicate le file di barre. Ogni lato è numerato, ed il suo numero progressivo viene aggiornato via via che si selezionano lati differenti (campo dati **Lato**).

Il tasto **Sezione?** Serve a richiamare il dialogo che ricorda i dati sezionali (area, momenti di inerzia, ecc.).

In basso a sinistra della membratura sono riepilogati alcuni dati come il numero progressivo (Membratura), il nodo iniziale (N1), il nodo finale (N2).

Nel **riquadro in basso a destra** sono elencati tutti gli insiemi di armatura presenti sulla membratura. Ad ogni insieme (fila di barre o barra singola), corrisponde una linea. La selezione di una delle righe, e quindi di uno degli insiemi di armature, fa diventare colorate in rosso in entrambi i disegni in alto (vista globale e vista sezionale) le corrispondenti barre di armatura.

**Il blocco di bottoni e controlli inseriti nell'ultimo riquadro** serve ad aggiungere, rimuovere, modificare o spostare le barre di armatura.

Il bottone **Aggiungi Armatura** dà accesso al [dialogo](#)<sup>1275</sup> impiegato per definire le armature da aggiungere.

Il bottone **Modifica Armature** serve a modificare un'armatura precedentemente introdotta. Si intende che il comando si riferisce all'insieme di armature correntemente selezionato. Dà accesso al medesimo dialogo del bottone precedente, ma con i dati già impostati e coerenti con quelli dell'armatura da modificare.

Il bottone **Rimuovi Armatura!** serve a rimuovere l'insieme di armature correntemente selezionato (quello colorato in rosso).

Il bottone **Trasforma fila in barre** serve a trasformare una fila di barre in un insieme di barre singole. Questa opzione è comoda quando si vogliono spostare delle barre precedentemente aggiunte. Non è possibile spostare file di barre, si possono spostare solo barre singole. Quindi se si vogliono spostare barre incluse in una fila, occorre prima trasformare la fila in un insieme di barre singole.



Il bottone **Trasla Barra** consente di traslare la barra (singola) correntemente selezionata. La traslazione si applica solo a barre singole in quanto la distanza di una fila di barre dal lato corrispondente è governata dal copriferro. Alla esecuzione del comando compare un opportuno dialogo, che prende il vettore traslazione da applicare alla barra correntemente selezionata.

Analogo effetto può essere ottenuto usando i **controlli a freccia** associati alla coordinata y ed alla coordinata z (indicate nelle caselle di editing), in modo da incrementare o decrementare una singola coordinata.

**Tipo:** moodale

**Destinazione:** documento

#### 3.10.4.3 Elimina tutte le armature!

**COMANDO:** Struttura-Calcestruzzo armato-Elimina tutte le armature

[Ribbon-Strumenti]

Questo comando elimina tutte le armature presenti sulle membrature selezionate.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

#### 3.10.4.4 Pick armature

**COMANDO:** Struttura-Calcestruzzo armato-Pick armature

[Ribbon-Strumenti]

Questo comando consente di assegnare ad un certo insieme di membrature selezionate le armature di una particolare membratura scelta cliccandoci sopra. Il comando è eseguibile

solo se ci sono delle membrane selezionate. Le membrane selezionate riceveranno le armature dell'elemento scelto cliccandoci sopra. Il comando termina al primo click del mouse. Se si clicca il tasto destro del mouse il comando viene interrotto, se si clicca il tasto sinistro del mouse si sceglie la membratura le armature della quale saranno assegnate (eliminando le altre eventualmente presenti) agli elementi selezionati.

Occorre prestare la massima cura nell'impiegare questo comando avendo selezionato membrane che hanno una sezione diversa da quella della membratura da prendere come campione: infatti il posizionamento delle armature rimarrà definito sulla base delle armature della membratura cliccata, e ciò può non avere senso per le membrane selezionate.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

#### 3.10.4.5 Assegna calcestruzzo

**COMANDO: Struttura-Calcestruzzo armato-Assegna calcestruzzo**

**[Ribbon-Strumenti]**

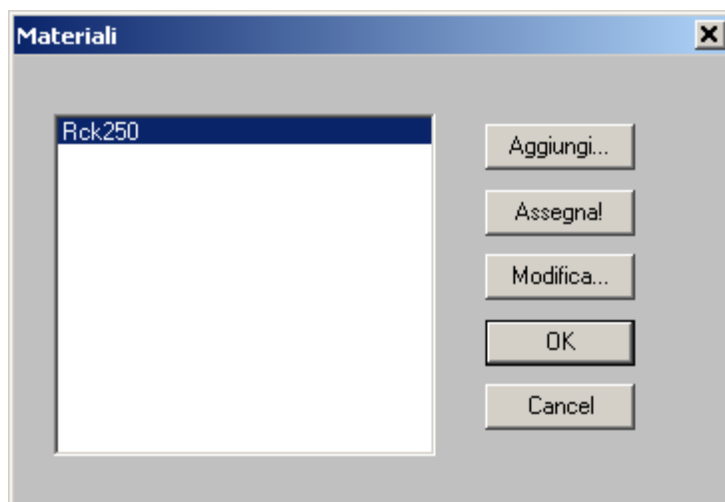
Questo comando serve ad assegnare un tipo di calcestruzzo alle membrane selezionate. La necessità di riassegnare il calcestruzzo (pur essendo questo stato già assegnato nel modello fem), deriva dal fatto che a parità di caratteristiche elastiche (modulo di elasticità) si possono voler studiare calcestruzzi con differente tensione caratteristica di rottura, non essendo univocamente definite le leggi che fanno passare dalle tensioni caratteristiche di rottura al modulo elastico stesso.

Il comando può essere eseguito solo se sono presenti delle membrane selezionate. Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[1293]</sup> che fa scegliere da una lista il calcestruzzo che interessa.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

## 3.10.4.5.1 Materiali

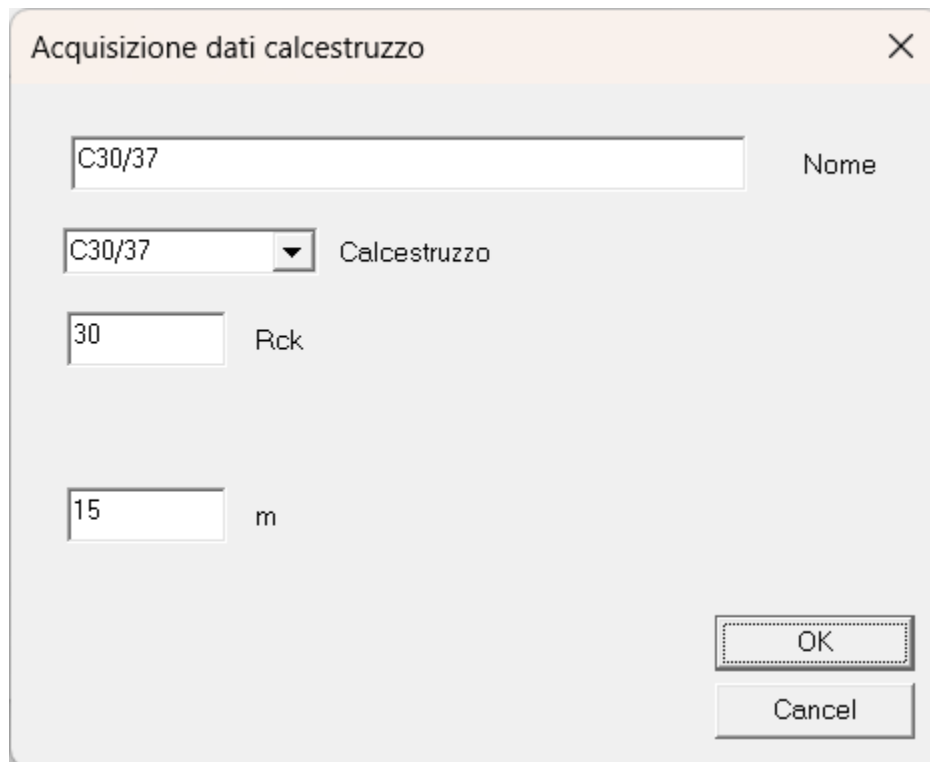
**DIALOGO: Materiali**

Questo dialogo serve sia ad assegnare il calcestruzzo, sia ad assegnare l'acciaio. In pratica questo dialogo presenta una lista di materiali già in precedenza definiti, e chiede di sceglierne uno. Se il materiale che serve non è presente nella lista, o se non è stato ancora assegnato alcun materiale, è necessario premere il bottone **Aggiungi**, mentre il bottone **Assegna** serve ad assegnare il materiale scelto alle membrature selezionate. Volendo è anche possibile uscire dal dialogo senza assegnare il materiale, ma limitandosi ad aggiungerlo alla lista: in questo caso si uscirà con **OK**. Il bottone **Modifica** serve ad avere accesso allo stesso dialogo usato per aggiungere il materiale, ma con lo scopo di modificarne in tutto o in parte i dati.

Se si deve aggiungere un calcestruzzo al momento della esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[1294]</sup>.

Se invece si deve aggiungere un acciaio al momento della esecuzione del comando compare un [dialogo](#)<sup>[1295]</sup> diverso.

## 3.10.4.5.1.1 Acquisizione dati calcestruzzo

**DIALOGO: Acquisizione dati calcestruzzo**

Acquisizione dati calcestruzzo

C30/37 Nome

C30/37 Calcestruzzo

30 Rck

15 m

OK

Cancel

Questo dialogo serve a definire un nuovo calcestruzzo da assegnare a qualche membratura. Il calcestruzzo è assegnato scegliendo la un menu a tendina. Se si sceglie il tipo "Usa Rck" si deve dare un **nome**, un valore per la resistenza cubica caratteristica (**Rck**).

Va inoltre indicato un valore per il coefficiente di omogeneizzazione con l'acciaio (**m**). Il valore del coefficiente di omogeneizzazione viene usato se e solo se vengono eseguiti calcoli alle tensioni ammissibili in accordo alla normativa italiana.

La definizione del materiale nel modo indicato ha senso esclusivamente nell'ambito delle norme italiane e dell'Eurocodice 2, che sono al momento le norme rispetto alle quali vengono eseguite le verifiche.

**3.10.4.6 Assegna acciaio****COMANDO: Struttura-Calcestruzzo armato-Assegna acciaio****[Ribbon-Strumenti]**

Questo comando serve ad assegnare un tipo di acciaio alle membrature selezionate. La necessità di assegnare l'acciaio per le armature di una certa membratura deriva dal fatto che nel modello fem questa informazione non viene gestita.

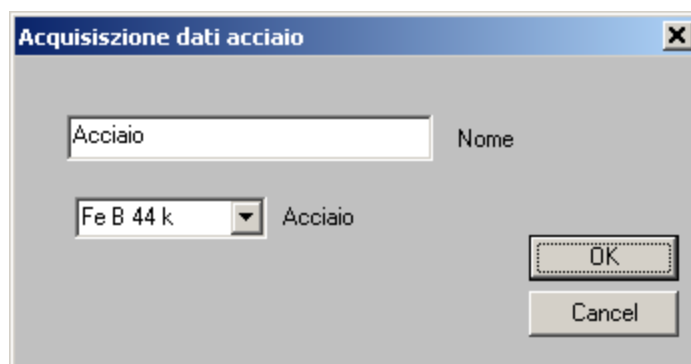
Il comando può essere eseguito solo se sono presenti delle membrature selezionate. Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>1293</sup> che fa scegliere da una lista l'acciaio che interessa.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

#### 3.10.4.6.1 Acquisizione dati acciaio

#### **DIALOGO: Acquisizione dati acciaio**



Questo dialogo serve a definire un nuovo acciaio da assegnare a qualche membratura. L'acciaio è definito dandone il nome, e scegliendone il tipo mediante la casella a discesa. Sono previsti i seguenti tipi di acciaio: FeB22k, FeB32K, FeB38k, FeB44k, B450C, B450A.

La definizione del materiale nel modo indicato ha senso esclusivamente nell'ambito delle norme italiane e dell'Eurocodice 2, che sono al momento le norme rispetto alle quali vengono eseguite le verifiche.

#### 3.10.4.7 Crea DXF!

##### **COMANDO: Struttura-Calcestruzzo armato-Crea DXF**

##### **[Ribbon-Strumenti]**

Questo comando comporta la immediata creazione di un certo numero di file dxf, uno per ogni membratura che abbia ricevuto una qualche armatura ed il materiale (calcestruzzo e acciaio).

Nel file dxf sono riportate singolarmente le armature ed il disegno della sezione. Ogni armatura è raffigurata con la sua lunghezza efficace, di modo che l'utente dovrà in un secondo tempo aggiungere manualmente in Autocad o altrove le lunghezze di ancoraggio ed i ganci eventualmente necessari a garantire l'ancoraggio e le corrette disposizioni costruttive.

RCSTUDIO non vuole intenzionalmente produrre disegni costruttivi poiché non riteniamo che questi disegni possano agevolmente essere controllati: sotto questo profilo si è ritenuto che fosse meglio dare dei disegni relativi alla situazione di calcolo controllata dal progettista e verificata dal programma, e chiedere poi al progettista di integrare queste informazioni di partenza con le altre informazioni – non “calcolabili” – relative alle disposizioni costruttive.

I file vengono denominati nel seguente modo:

NOMEMODELLOMEMBER\_ 1.DXF

NOMEMODELLOMEMBER\_ 2.DXF

NOMEMODELLOMEMBER\_ 3.DXF

.....

NOMEMODELLOMEMBER\_ NM.DXF

E ve n'è uno per ogni membratura.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

### 3.10.5 JNodi

#### 3.10.5.1 Cerca!

**COMANDO: Struttura-JNodi-Cerca!**

**[Ribbon-Strumenti]**



Il comando serve a cercare i jnodi della struttura salvando temporaneamente il vettore dei jnodi trovati. Il comando va eseguito quando la struttura è stata completata, e sono stati assegnati i codici di connessione, se necessari, gli svincoli, le sezioni ed i materiali.

La modifica della struttura comporta la perdita dei jnodi e la necessità di rigenerarli con questo comando.

Al termine della ricerca si deve specificare se si vuole o no generare dei nuovi gruppi. Questi gruppi saranno associati biunivocamente ai jnodi trovati e saranno riempiti con i nodi delle istanze di ciascun jnodo trovato.

Si veda anche: [come gestire i jnodi](#)<sup>467</sup>.

**Tipo:** immediato

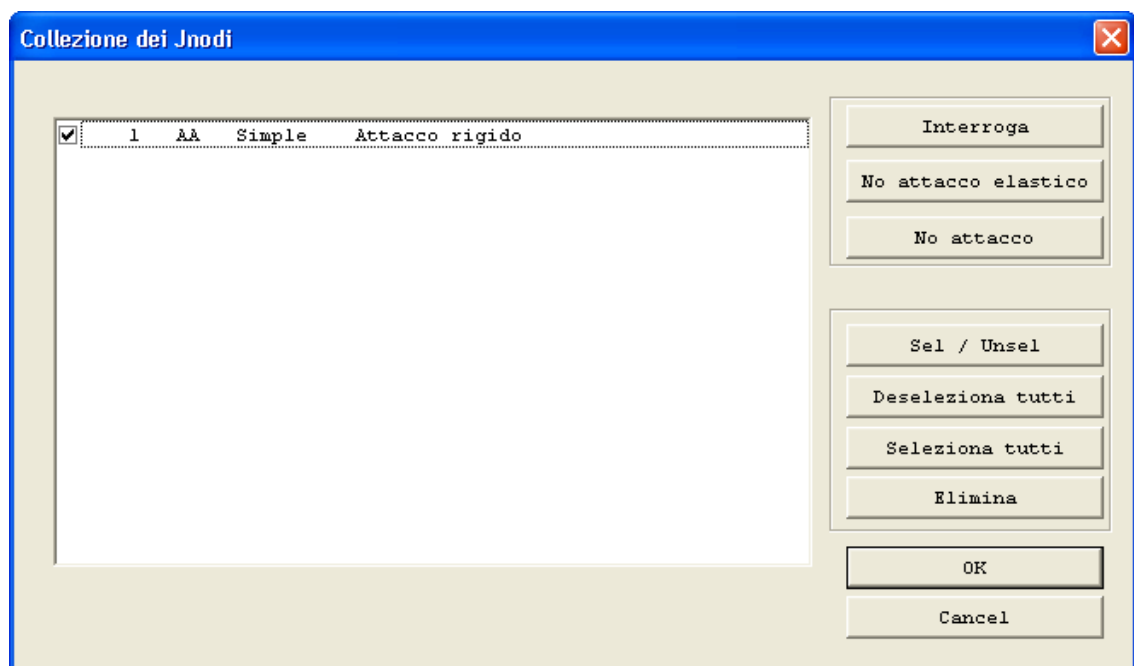
**Destinazione:** documento

#### 3.10.5.2 Interroga

**COMANDO: Struttura-JNodi-Interroga**

**[Ribbon-Strumenti]**





Questo dialogo consente di eseguire una serie di operazioni sulla collezione di jnodi. Nel grande riquadro di sinistra vengono elencati tutti i jnodi attualmente presenti sulla struttura, con le loro marcature e la loro classificazione (“Master” per il jnodo gerarchico, “Central” per quello centrale, “Tangent” per quello tangente e “Cuspex” per quello cuspidale). Se un jnodo è un attacco (o per meglio dire, se è stato riconosciuto come tale dall’algoritmo automatico di ricerca dei jnodi) dopo la classificazione del jnodo compare la dicitura “Attacco rigido” o “Attacco elastico” o “Attacco misto rigido ed elastico”. Accanto alla numerazione, all’estrema sinistra, compare un quadratino che può contenere o meno un segno di spunta. Se il segno di spunta è presente allora il jnodo è correntemente selezionato. Se il segno di spunta è assente allora il jnodo è correntemente deselezionato. La selezione eseguita mediante la casellina descritta (cliccandovi dentro) è del tutto equivalente alla selezione sui jnodi che si può fare con i comandi di selezione , avendo attiva la visualizzazione dei jnodi (comando Struttura-Jnodi-Mostra) e la selezione di nodi).

I bottoni posti alla destra del dialogo servono ad eseguire alcune operazioni sulla collezione di jnodi.



Il primo bottone, **Interroga**, consente di avere informazioni sul jnodo evidenziato dalla riga blu (che sia selezionato o meno). Appena premuto il bottone si apre un opportuno property sheet che consente di avere tutte le informazioni sul jnodo. Di seguito la lista delle possibili property pages.

La prima è [Informazioni sul Jnodo](#)<sup>f1300</sup>. Questa property page c'è sempre.

La seconda (possibile) è [Master](#)<sup>f1302</sup>. E' presente se il jnodo ha un master (jnodo gerarchico).

La terza (possibile) è [Centrale](#)<sup>f1304</sup>. E' presente se e solo se il jnodo prescelto è di tipo centrale.

La quarta (possibile) è [Attacco](#)<sup>f1305</sup>. E' presente se e solo se il jnodo è un attacco rigido o misto rigido-elastico.

Il terzo bottone, **Deseleziona**, deselecta tutti i jnodi della lista.

Il secondo bottone **No attacco elastico** declassa un jnodo individuato come attacco elastico oppure trasforma un jnodo classificato come attacco misto rigido elastico ad attacco rigido. L'operazione si applica al jnodo evidenziato dalla riga blu. Questo bottone serve a variare quanto stabilito automaticamente dalla ricerca automatica, nel caso in cui le scelte fatte automaticamente dal programma non siano corrette (ad esempio presenza di vincoli fittizi).

Il terzo bottone **No attacco** declassa un jnodo individuato come attacco.

I bottoni **Sel/Unsel**, **Deseleziona tutti** e **Seleziona tutti** servono per selezionare o deselectare jnodi.

Il bottone **Elimina** consente di eliminare dalla lista dei jnodi (e quindi dal modello) tutti i jnodi attualmente selezionati (ovvero quelli nei quali compare il segno di spunta). E' da notare che dopo la eliminazione di uno o più jnodi le marcature dei jnodi cambiano. Questo bottone è visibile solo se il comando Jnodi-Edita è stato eseguito nella vista Jnodo.

Si veda anche: [come gestire i jnodi](#) .

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

3.10.5.2.1 Informazioni sul jnodo (Property page)

### INFORMAZIONE SUL JNODO (PROPERTY PAGE)

Informazioni sul Jnodo | Master | Attacco

Numero: 6

Marca: AF

Numero di occorrenze: 2

Numero di membrature: 2

Cuspidali: 1

Passanti: 0

Interrotte: 1

Numero di bielle: 0

Numero di travi: 2

Master Attacco rigido

Nodi: 14

Membrature: 7

Nodi estremità: 14

AF

OK Annulla Applica ?

Questo dialogo riepiloga una serie di informazioni di carattere generale sul jnodo. Oltre al **Numero** progressivo assegnato ed alla **Marca**, il dialogo dice che genere di classificazione sia stata assegnata al jnodo (Gerarchico o Master, Centrale, Tangente o Cuspidale, Attacco rigido, Elastico o Misto rigido-elastico). Viene inoltre detto il **numero di occorrenze** (ovvero quanti nodi, nella struttura, sono del tipo in questione), ed il **numero di membrature** che affluiscono al jnodo.

Scelto uno dei nodi che corrispondono alle varie occorrenze del jnodo si viene a conoscere quali siano le membrature affluenti al nodo scelto, e quali siano gli estremi della membratura scelta una nella lista delle membrature affluenti.

Si viene poi a sapere quante membrature sono passanti nel jnodo, quante cuspidali e quante interrotte, e quante siano elementi biella e quante trave.

Tutte queste informazioni di carattere generale forniscono una prima “schedatura” del nodo in esame.

## 3.10.5.2.2 Master (Property page)

**MASTER (PROPERTY PAGE)**

Informazioni sul Jnodo Master Attacco

Master  
HE 240 B  
Colonna  
Profilo Master  
Natura Elemento

Slave  
2UPNH100\_20  
Profilo Slave  
Natura elemento  
Tipo attacco  
Allineamento

Involuppo azioni interne in slave

Positive				Negative			
3.461e+004	N+	45	Elemento	-6.513e+004	N-	44	Elemento
2.778e-014	T2+	45	Elemento	-2.778e-014	T2-	44	Elemento
4.582e+002	T3+	45	Elemento	-4.582e+002	T3-	44	Elemento
6.309e+002	M1+	44	Elemento	-6.309e+002	M1-	45	Elemento
0.000e+000	M2+	0	Elemento	0.000e+000	M2-	0	Elemento
0.000e+000	M3+	0	Elemento	0.000e+000	M3-	0	Elemento

OK Annulla Applica ?

Questo dialogo descrive in dettaglio un jnodo di tipo Gerarchico, un jnodo cioè nel quale sia individuabile un elemento master ed uno o più slave.

Nel riquadro **Master** viene chiarito quale sia l'elemento master (che profilo) e che natura esso abbia. Nel riquadro **Slave** è possibile scegliere uno ad uno tra tutti gli slave del jnodo evidenziando una serie di informazioni utili al calcolo. Queste informazioni riguardano la natura dell'elemento slave, il tipo di attacco tra lo slave ed il master (assiale, cerniera flessionale, cerniera sferica, completo, altro), il tipo di allineamento tra lo slave ed il master.

Oltre all'allineamento generico (nulla di particolare da segnalare) esistono questi quindici possibili allineamenti tra master e slave.

	<b>Allineamenti</b>	<b>Descrizione</b>
1)	11	Prosecuzione (master e slave sono allineati)
2)	11-23-32	Prosecuzione scambiata
3)	11-22-33	Prosecuzione omogenea
4)	22-31-13	Normali omogenei d'ala
5)	33-21-12	Normali omogenei d'anima
6)	23-12-13	Normali scambiati d'ala
7)	32-12-13	Normali scambiati d'anima
8)	22	Inclinati omogenei d'ala
9)	33	Inclinati omogenei d'anima
10)	12	Centrici d'anima
11)	13	Centrici d'ala
12)	21	A piombo d'anima
13)	31	A piombo d'ala
14)	23	Inclinati scambiati d'ala
15)	32	Inclinati scambiati d'anima

Se il modello è stato risolto, compaiono anche una serie di informazioni nel riquadro Inviluppo azioni interne in slave, che dicono quale sia l'inviluppo delle azioni interne nell'elemento slave al variare delle combinazioni, *ed al variare delle occorrenze (o istanze) del jnodo sulla struttura* (ovvero al variare di tutte le membrature similari nei vari nodi aventi tutti lo stesso jnodo). Queste informazioni rappresentano il primo passo per il reale dimensionamento del giunto. Si hanno le azioni interne positive massime e quelle negative minime, insieme con il numero di elemento che genera il corrispondente valore massimo o

minimo. E' importante far notare che le sollecitazioni indicate non sono, in generale, concomitanti, ma rappresentano appunto un inviluppo.

Le azioni sono indicate impiegando le unità di misura attive.

#### 3.10.5.2.3 Centrale (Property page)

### CENTRALE (PROPERTY PAGE)

Questo dialogo dà informazioni dettagliate sui jnodi di tipo centrale. I jnodi di tipo centrale sono quelli che non hanno una membratura “master”, poiché tutte le membrature si interrompono nel nodo e lì hanno una connessione. I jnodi centrali sono tipici delle strutture reticolari.

Il dialogo presenta un primo riquadro **Elemento** che racchiude una serie di informazioni sulle varie membrature che affluiscono al nodo. Con il primo controllo si sceglie una delle

membrature che affluiscono al nodo (vi è una lista dei profili di ciascuna membratura). Nei due controlli **Natura Elemento** e **Tipo di Attacco** vengono riepilogate le informazioni sulla classificazione dell'elemento e sul tipo di attacco all'estremo dell'elemento.

Scelto uno degli elementi affluenti al nodo, se il modello Sargon originario è stato risolto, è possibile vedere l'inviluppo delle azioni interne nell'elemento al variare delle combinazioni ed al variare delle occorrenze del jnodo sulla struttura (ovvero al variare di tutte le membrature similari nei vari nodi aventi tutti lo stesso jnodo). Queste informazioni rappresentano il primo passo per il reale dimensionamento del giunto. Si hanno le azioni interne positive massime e quelle negative minime, insieme con il numero di elemento che genera il corrispondente valore massimo o minimo. E' importante far notare che le sollecitazioni indicate non sono, in generale, concomitanti, ma rappresentano appunto un inviluppo.

Le azioni sono indicate impiegando le unità di misura attive.

#### 3.10.5.2.4 Attacco (Property page)

### ATTACCO (PROPERTY PAGE)

Positive			Negative		
Rx	-49859.24242	22	Rx	12867.053620	14
Ry	-17930.20483	14	Ry	2.1601006370	14
Rz	-173788.1906	22	Rz	-0	14
Mx	-3.507717535	22	Mx	28816499.479	14
My	-10375252.69	14	My	693041.46857	14
Mz	-6457.526218	14	Mz	6457.5262183	14

Questo dialogo serve a dare informazioni su un jnodo classificato come un attacco. Se un jnodo è un attacco esso riceve delle azioni da parte di un vincolo (rigido od elastico). Al momento le azioni vengono indicate solo nel caso di attacco rigido.

In questo dialogo viene indicato l'involuppo delle reazioni vincolari al variare delle combinazioni ed al variare delle occorrenze del jnodo sulla struttura. Le reazioni vincolari non sono, in generale, concomitanti.

Le reazioni sono indicate impiegando le unità di misura attive.

### 3.10.5.3 Mostra

**COMANDO: Struttura-JNodi-Mostra**

**[Ribbon-Strumenti]**







Questo comando attiva o disattiva la visualizzazione delle marche dei jnodi, se questi sono stati in precedenza cercati con il comando [Cerca!](#)<sup>1297</sup>.

Si veda anche: [come gestire i jnodi](#)<sup>467</sup>.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** vista

#### 3.10.5.4 Crea listato!

**COMANDO:** Struttura-JNodi-Crea listato

[Ribbon-Strumenti]



Questo comando genera ed apre un file ASCII contenente importanti informazioni sulle membrature e sui jnodi.

Si veda anche: [come gestire i jnodi](#)<sup>467</sup>.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

#### 3.10.5.5 Apri listato!

**COMANDO:** Struttura-JNodi-Apri listato

[Ribbon-Strumenti]



Questo comando apre il file dei jnodi precedentemente creato con il comando [Crea listato!](#)<sup>[1307]</sup>.

Si veda anche: [come gestire i jnodi](#)<sup>[467]</sup>.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

#### 3.10.5.6 Crea report giunti

**COMANDO:** Struttura-JNodi-Crea Report Giunti!

**[Ribbon-Strumenti] CREA REPORT GIUNTI**

Perché il comando sia disponibile e funzioni deve avvenire che ([Come creare il report dei giunti](#)<sup>[545]</sup>):

- esista almeno una combinazione
- sia stata eseguita la analisi statica
- sia stata fatta la ricerca dei jnodi (comando [Struttura-JNodi-Cerca!](#)<sup>[1297]</sup>)
- sia stato installato PDFLATEX<sup>®</sup>, mediante il pacchetto gratuito MIKTEX<sup>®</sup>
- sia installato Acrobat Reader<sup>®</sup> sul computer

Alla esecuzione del comando si apre una finestra DOS e poi viene automaticamente aperto il file PDF creato dal comando.

Il comando crea un file .TEX (ovvero LateX<sup>®</sup>), e poi il convertitore PDFLATEX lo converte in formato PDF.

**Tipo:** immediato

**Destinazione:** documento

### 3.10.6 Gerarchia

#### 3.10.6.1 Aggiungi DZona

**COMANDO: Struttura-Gerarchia-Aggiungi DZONA**

**[Ribbon-Pre]**



Il comando è affine al [comando di assegnazione degli svincoli](#)<sup>[1024]</sup>. Alla sua esecuzione compare un opportuno dialogo che consente di scegliere la modalità ([automatica o manuale](#)<sup>[1025]</sup>) e se assegnare o togliere la zona dissipativa.

Le zone dissipative sono assegnate cliccando in prossimità degli estremi degli elementi e sono rappresentate con un pallino rosa simile a quello degli svincoli ma di dimensione doppia.

La definizione delle zone dissipative è utile, oltre che per le verifiche di gerarchia delle resistenze, anche come passo preparatorio alla [analisi di pushover](#)<sup>[439]</sup>.

#### 3.10.6.2 Rimuovi!

**COMANDO: Struttura-Gerarchia-Rimuovi!**

**[Ribbon-Pre]**



Questo comando rimuove tutte le zone dissipative (o DZONE) da tutti gli elementi trave e biella selezionati.

#### 3.10.6.3 Imposta

**COMANDO: Struttura-Gerarchia-Imposta**

**[Ribbon-Pre]**



Questo comando consente di impostare, tramite un opportuno [dialogo](#)<sup>1310</sup>, le verifiche a capacità. Se si esegue il comando e si esce con "OK", si perdono le precedenti verifiche a capacità.

Analogamente, le verifiche a capacità si perdono ogni qual volta si applicano modifiche che comportino la necessità di rieseguire l'analisi statica.

#### 3.10.6.3.1 Impostazioni Verifica di Gerarchia delle Resistenze (dialogo)

### IMPOSTAZIONI VERIFICA DI GERARCHIA DELLE RESISTENZE (DIALOGO)

**Impostazioni Verifica di Gerarchia delle Resistenze**

**Coefficienti parziali**

1 Gamma,M0

1 Gamma,M1

1.25 Gamma,M2

**Verifica di classe per elementi beam dissipativi**

☒ Massima classe N, M2, M3

☐ Classe a N

☐ Classe a M2

☐ Classe a M3

**Classe di duttilità**

☒ Bassa

☐ Alta

**Elementi beam dissipativi**

2000 Lunghezza

$V_{pl} = 2M_{pl} / \text{Lunghezza}$

**Intervallo di snellezza adimensionale truss dissipativi**

1.3 Lam,s,Minima

2 Lam,s,Massima

**Lunghezza beam considerati link**

se < 0 Corti

se > 0 Lunghi

entrambe nulle: no link

**Fattori azioni interne spurie**

0.15  $(V_2/V_{2,pl}),_{max}$

0.15  $(M_3/M_{3,pl}),_{max}$

0.15  $(M_1/M_{1,pl}),_{max}$

beam dissipativi

OK Cancel

Questo dialogo consente di impostare alcuni dati importanti per la esecuzione delle verifiche a capacità (la così detta "gerarchia delle resistenze).

Per maggiori informazioni si veda [Come eseguire la verifica di capacità](#)<sup>409</sup>.

- I "Coefficienti parziali" possono essere descritti in modo indipendente da quanto previsto per le verifiche secondo EC3/NTC. In particolare,  $\gamma_{M0}$  serve a determinare i valori di progetto delle sollecitazioni a resistenza (valori "Rd").
- La "verifica di classe per elementi beam dissipativi" si riferisce a elementi beam dissipativi (per i truss dissipativi si usa sempre la classe ad azione assiale). Si deve verificare che la classe sia almeno 1 o 2, a seconda dei casi, ma occorre stabilire la classe *secondo quale sollecitazione elementare*. Una interpretazione certamente a favore di sicurezza è eseguire il controllo per la classe massima, che normalmente si ha per azione assiale di compressione. Se l'elemento si plasticizza prevalentemente in condizioni inflesse, è possibile "accontentarsi" della sola verifica sull'asse di flessione 2 (o 3), una condizione più semplice da soddisfare, ma, a nostro parere, non necessariamente sicura, dato che negli elementi dissipativi entrano anche certamente azioni assiali di compressione.
- La "classe di duttilità" può essere alta o bassa (cfr. Eurocodice 3 e NTC). Se è alta, il fattore di sovrarresistenza è più alto, ed anche i requisiti sulla classe sono più severi.
- La "lunghezza dei beam dissipativi" serve ad eseguire la verifica di capacità sugli elementi inflessi, in particolare serve alla verifica sul taglio (e.g. equazione 7.5.5 NTC 2008). Al momento il programma fa l'ipotesi che gli elementi dissipativi siano prismatici e tutti con lunghezze simili. Così che  $V_{Ed,M} = 2M_{pl}/L$ .  $M_{pl}$  è il momento plastico dell'elemento dissipativo (privo di riduzioni) e L la sua lunghezza. Non si può usare la lunghezza dell'elemento finito perché a causa delle esigenze di meshing questa può non essere in relazione con la lunghezza della membratura dissipativa.
- L'"intervallo di snellezza adimensionale" per i truss dissipativi è l'intervallo all'interno del quale il programma verifica che sia contenuta la snellezza adimensionale degli elementi biella dichiarati dissipativi.
- La "lunghezza dei beam considerati link" è data da due valori, che sono due lunghezze. Se non ci sono link nella struttura (che quindi non ha alcun controvento eccentrico EBF), entrambi i valori devono essere nulli. Il primo valore è il valore di lunghezza al di sotto del quale un link è considerato "corto". Il secondo valore di lunghezza è la lunghezza al di sopra della quale il link è considerato "lungo". Un elemento link deve avere entrambi gli estremi

dissipativi. Elementi dissipativi non di tipo link (come nei telai resistenti a momento, MRF), se esistono altri elementi che invece sono link, devono avere solo un estremo dissipativo (basta spezzare gli elementi in due).

- I "fattori azioni interne spurie" sono le soglie, definite come frazioni dei corrispondenti limiti plastici, al di sopra delle quali l'elemento dissipativo è considerato non verificato. Si tratta di azioni interne che normalmente devono essere basse, dato che la dissipazione è immaginata avvenire per flessione attorno all'asse 2 (asse "forte").

#### 3.10.6.4 Omega

**COMANDO: Struttura-Gerarchia-Omega**

[Ribbon-Pre]



Il coefficiente omega ( $\Omega$ ) è quel coefficiente che applicato ai carichi sismici porta il primo elemento dissipativo al pieno snervamento. Le normative in vigore lo definiscono in modo diverso a seconda del tipo di elemento dissipativo. Si veda:

[Come eseguire la verifica di capacità](#)<sup>409</sup>.

Questo comando è attivo solo se ci si trova in una combinazione sismica e se è già stata eseguita l'analisi statica, modale ed a spettro di risposta. Una combinazione è "sismica" se al suo interno è referenziato con un moltiplicatore non nullo almeno un caso di carico con tipo sisma (modale o statica equivalente).

Il comando dà luogo alla stampa di un messaggio con il valore di  $\Omega$  per la combinazione attiva. Una buona progettazione dovrebbe avere  $\Omega$  prossimi ad 1, e di poco inferiori ad esso. Se il fattore è troppo alto questo vuol dire che il sisma di progetto non porta gli elementi dissipativi allo snervamento, e dunque che: a) il fattore di struttura è troppo alto; oppure b) gli elementi dissipativi sono sovradimensionati.

#### 3.10.6.5 Verifica!

**COMANDO: Struttura-Gerarchia-Verifica!**

[Ribbon-Pre]



Questo comando comporta la immediata verifica a capacità di tutte le zone dissipative e di tutti gli elementi connessi a nodi interessati da zone dissipative, in accordo a quanto chiarito in

[Come eseguire la verifica di capacità](#)<sup>409</sup>.

### 3.10.6.6 Mostra Risultati

**COMANDO: Struttura-Gerarchia-Mostra Risultati**

**[Ribbon-Pre]**



Se in precedenza è stata eseguita una analisi di capacità, allora con questo comando si possono vedere sinteticamente i risultati sulla zone dissipative.

Un cerchio giallo sulla zona dissipativa indica che la verifica non è stata eseguita.

Un cerchio verde indica che la verifica è stata eseguita ed è soddisfatta.

Un cerchio rosso indica che la verifica è stata eseguita e non è soddisfatta.

Le verifiche non soddisfatte che pertengono elementi non dissipativi comportano la marcatura NON VERIFICATA su tutte le zone dissipative affluenti al nodo. Viceversa, se delle zone dissipative affluenti al nodo alcune sono soddisfatte ed altre no, ciò implica che solo le verifiche sugli elementi dissipativi non verificati siano non soddisfatte, mentre gli altri elementi dissipativi verificati, e tutti gli elementi non dissipativi affluenti al nodo, sono da considerarsi verificati.

Per maggiori informazioni si veda [Come eseguire la verifica di capacità](#)<sup>409</sup>.

### 3.10.6.7 Apri file!

**COMANDO: Struttura-Gerarchia-Apri file!**

**[Ribbon-Pre]**





Se in precedenza è stata eseguita la analisi di capacità, questo comando consente di aprire il tabulato con i risultati (MODELLO.CAPACITY.TXT). Per una descrizione del tabulato si veda [Come eseguire la verifica di capacità](#)<sup>[409]</sup>.

### 3.10.7 Oscillatore

#### 3.10.7.1 Risposta

**COMANDO: Struttura-Oscillatore-Risposta!**

**[Ribbon-Pre]**



Questo comando è utilizzato per studiare la risposta di un oscillatore semplice, non necessariamente collegato alla struttura del modello corrente. Alla esecuzione del comando si apre un opportuno [dialogo](#)<sup>[1314]</sup>, che è usato per ottenere tutte le informazioni desiderate.

##### 3.10.7.1.1 Oscillatore semplice (dialogo)

**OSCILLATORE SEMPLICE (DIALOGO)**

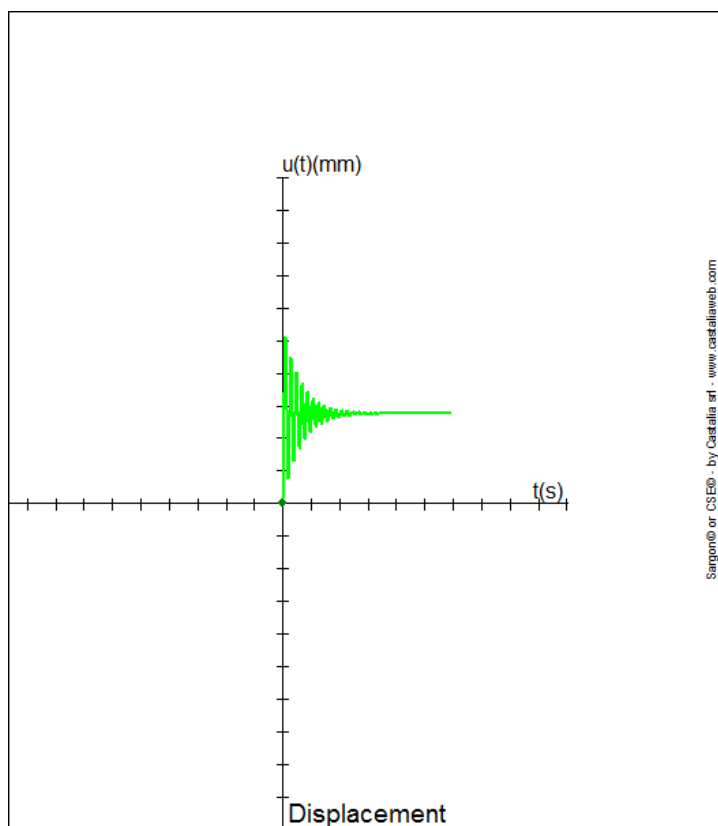


Questo dialogo è usato per studiare la risposta di un oscillatore semplice a varie forzanti dinamiche.

Il riquadro **Dati Oscillatore** è impiegato per identificare l'oscillatore mediante il suo **Periodo** (nella unità di tempo attiva), la sua **Massa** (con la sua forza peso equivalente, nelle unità di forza attive), ed il suo **Smorzamento** relativo al critico. Le unità di misura correnti sono riepilogate nel riquadro in basso a destra.

Il riquadro **Forzante** indica quale sia la forzante che sollecita l'oscillatore. Si deve dare la **Forza** (nelle unità di forza attive), la **Frequenza** (in hertz) e la **Durata** (nelle unità di tempo attive). Se la forzante è un **Impulso** serve la Forza e la Durata. Se la forzante è un **Gradino** (vedi figura sotto) serve solo la Forza. Se la forzante è una **Sinusoide** o una **Cosinusoidale** serve la Forza e la Frequenza, se la forzante è un **Accelerogramma**, questo va indicato tra quelli esistenti nel modello, con il comando **Scegli**. Tale comando chiama un opportuno [dialogo](#) <sup>1316</sup> utilizzato per scegliere un accelerogramma.

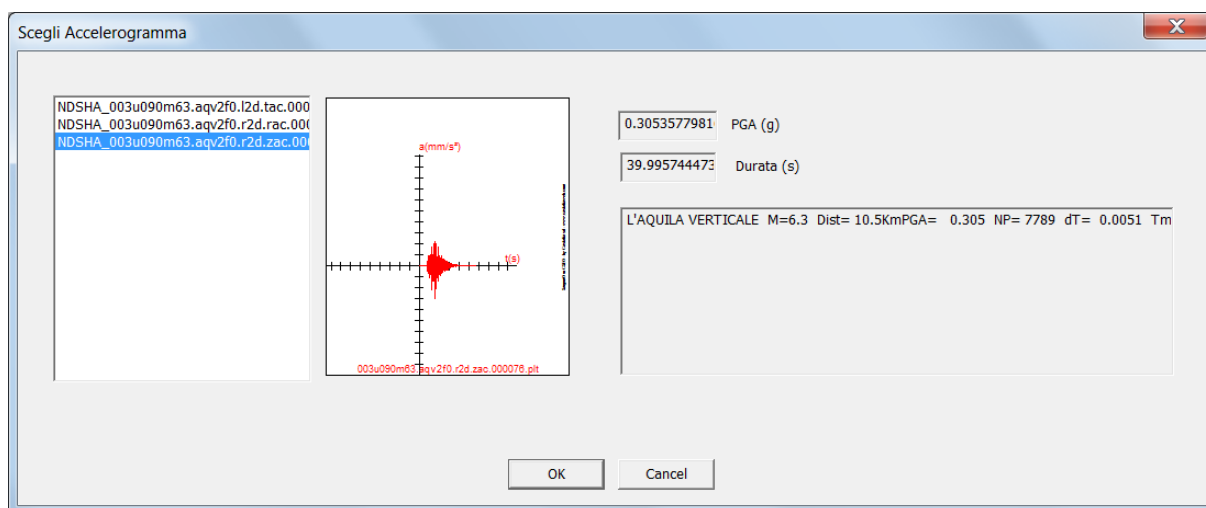
Il riquadro **Risposta** serve a dare le caratteristiche della Risposta. Ovvero la Durata della risposta a partire da  $t=0$ , ed il passo temporale con cui viene scandita la risposta.



Il bottone **Calcola!** lancia la analisi al termine della quale si apre un [dialogo opportuno](#)<sup>1251</sup>, che dà la curva spostamento(tempo).

#### 3.10.7.1.2 Scegli accelerogramma (dialogo)

### SCEGLI ACCELEROGRAMMA (DIALOGO)



Questo dialogo è usato per scegliere un particolare accelerogramma da una lista. La scelta si fa selezionando l'accelerogramma e premendo OK.

### **3.11 Menu Fasi, Ribbon: Fasi**

#### **3.11.1 Imposta**

**COMANDO:** Fasi-Imposta...

**[Ribbon-Fasi]**

Questo comando è attivo solo se non ci sono altri comandi in corso di esecuzione.

Consente di impostare il funzionamento della analisi per fasi. Alla esecuzione del comando compare un opportuno dialogo.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

#### **3.11.2 Aggiungi fase**

**COMANDO:** Fasi-Aggiungi fase...

**[Ribbon-Fasi]**

Questo comando è attivo solo se non ci sono altri comandi in corso di esecuzione.

Indipendentemente dalla fase in cui ci si trova, il comando aggiunge una nuova fase come ultima fase, utilizzando la attuale ultima fase (non la fase corrente) come riferimento.

Se non sono ancora state aggiunte delle fasi, la struttura corrente, nel suo stato attuale, diviene la struttura di fase 1, e la fase 1 diviene la fase attiva. La aggiunta di una fase, fa direttamente passare dalla modalità di funzionamento normale alla modalità per fasi.

Alla esecuzione del comando, compare un dialogo che chiede di specificare per il "gruppo", vale a dire in questo caso per la fase, le seguenti informazioni:

1. Il colore associato alla fase.

2. Un descrittore da associare alla fase.

I file di ciascuna fase sono identificati mediante la aggiunta al nome del modello originario del suffisso "STAGEXXX", dove XXX è "001", "002", "003", e così via, a seconda del numero della fase.

Se viene aggiunta una fase successiva alla prima, la nuova fase presenta le seguenti caratteristiche:

1. La struttura si presenta inizialmente identica a quella della fase precedente (ovvero l'ultima), con la eccezione dei casi di carico e delle combinazioni.
2. Tutte le combinazioni di tutti i combi set sono eliminate.
3. Tutti i casi di carico sono dapprima eliminati.
4. Vengono poi aggiunti due casi di carico permanenti.
  - a. Il primo serve a considerare ciò che la nuova fase eredita dalla precedente. In questo caso di carico saranno ri-applicate tutte le azioni presenti in tutti i casi di carico etichettati come "permanent" o "gravità" della fase precedente. Dato che inizialmente tutti gli elementi della fase (F) sono presenti nella fase (F+1), anche i loro carichi permanenti sono aggiunti.
  - b. Il secondo caso di carico è inizialmente azzerato e deve essere lasciato vuoto, poiché viene utilizzato nella fase di analisi. Questo caso di carico (permanente) terrà conto di tutte le rimozioni di elementi e vincoli che la fase (F+1) sperimenterà per i comandi applicati dall'utente, dal momento in cui nasce al momento in cui viene eseguita l'analisi. Quindi ad esempio, l'effetto provocato sulla fase (F+1) dalla rimozione di un elemento E, sarà tenuto in conto mediante opportune forze in questo secondo caso di carico. Queste forze saranno aggiunte automaticamente ogni volta che viene eseguita una analisi e terranno conto delle differenze tra la fase (F+1) e la fase (F) nel momento in cui viene eseguita la analisi.

Dopo la esecuzione di questo comando, nella fase (F+1) sarà possibile aggiungere nuovi casi di carico e nuove combinazioni, che, insieme ai due casi di carico riservati, saranno utili per

eseguire tutte le necessarie verifiche in fase (F+1). *I primi due casi di carico sono riservati e non devono essere modificati o rimossi.*

Per tornare alla modalità "non per fasi" occorre cancellare tutte le fasi. La struttura dell'ultima fase cancellata diventerà la struttura di riferimento nella modalità di funzionamento non per fasi.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

### 3.11.3 Inserisci dopo

**COMANDO:** Fasi-Inserisci dopo...

**[Ribbon-Fasi]**

Questo comando è attivo solo se non ci sono altri comandi in corso di esecuzione.

Il comando aggiunge una nuova fase subito dopo la fase corrente, prendendo la fase corrente come riferimento.

La nuova fase viene aggiunta con le stesse regole del comando [Aggiungi Fase](#)<sup>1317</sup>. L'unica differenza è che la fase aggiunta non sarà l'ultima nel vettore delle fasi, ma sarà posizionata subito dopo la fase corrente. Tutte le fasi maggiori di quella corrente slitteranno di una posizione in avanti.

Il comando è attivo solo se esiste almeno una fase.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

### 3.11.4 Inserisci prima

**COMANDO: Fasi-Inserisci prima...**

**[Ribbon-Fasi]**

Questo comando è attivo solo se non ci sono altri comandi in corso di esecuzione.

Il comando aggiunge una nuova fase subito prima la fase corrente, prendendo la fase corrente come riferimento.

La nuova fase viene aggiunta con le stesse regole del comando [Aggiungi Fase](#)<sup>[1317]</sup>. L'unica differenza è che la fase aggiunta non sarà l'ultima nel vettore delle fasi, ma sarà posizionata subito prima la fase corrente. Tutte le fasi maggiore di quella corrente, e quella corrente, slitteranno di una posizione in avanti. La nuova fase corrente, con il medesimo numero, sarà quella appena aggiunta.

Il comando è attivo solo se esiste almeno una fase.

**Tipo:**modale

**Destinazione:** documento

### 3.11.5 Rimuovi fase corrente!

**COMANDO: Fasi-Rimuovi fase corrente!**

**[Ribbon-Fasi]**

Questo comando è attivo solo se non ci sono altri comandi in corso di esecuzione.

Viene rimossa la fase corrente, e di conseguenza tutte le fasi aventi numero superiore saranno rinumerate scalando una posizione.

**Tipo:**immediato

**Destinazione:** documento

### 3.11.6 Successiva!

**COMANDO: Fasi-Successiva!**

**[Ribbon-Fasi]**

Questo comando è attivo solo se non ci sono altri comandi in corso di esecuzione.

Questo comando fa passare dalla fase corrente alla fase successiva. Se la fase corrente è l'ultima, la successiva è la prima. Il contenuto della vista viene immediatamente aggiornato con la struttura della fase successiva.

**Tipo:**immediato

**Destinazione:** vista (documento per la fase attiva)

### 3.11.7 Precedente!

**COMANDO: Fasi-Precedente!**

**[Ribbon-Fasi]**

Questo comando è attivo solo se non ci sono altri comandi in corso di esecuzione.

Questo comando fa passare dalla fase corrente alla fase precedente. Se la fase corrente è la prima, la successiva è l'ultima. Il contenuto della vista viene immediatamente aggiornato con la struttura della fase precedente.

**Tipo:**immediato

**Destinazione:** vista (documento per la fase attiva)

### 3.11.8 Modifica

**COMANDO: Fasi-Modifica...**

**[Ribbon-Fasi]**

Questo comando serve a modificare il colore o la descrizione della fase corrente. Alla sua esecuzione compare il dialogo che è inizialmente servito a definire queste informazioni.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

## 3.12 Menu Validazione, Ribbon: Validazione

### 3.12.1 Normalizza

**COMANDO:** Validazione-Normalizza

[Ribbon-Validazione]




Questo comando serve a **modificare permanentemente i dati del modello** corrente specificando il modo di normalizzare i dati a un certo livello di precisione desiderato. Le varie grandezze disponibili sono:

- le coordinate nodali;
- le proprietà sezionali e dei materiali;
- gli spessori e i momenti di inerzia delle piastre;
- l'entità delle azioni;
- le rigidità traslazionali e rotazionali;
- i fattori di combinazione.

All'esecuzione del comando viene proposto un [dialogo](#)<sup>[1323]</sup> dove si possono impostare i valori desiderati. Se ad esempio, per le coordinate nodali impostiamo il valore 0.1, la coordinata  $X=1000.09\text{mm}$  di un nodo diventerà  $X=1000.1\text{mm}$ , ovvero il dato sarà ricalcolato arrotondando al decimo di millimetro.



Se per una grandezza si lascia 0, i valori corrispondenti non verranno modificati.

Poiché il **modello viene modificato** da questo comando, può essere opportuno **salvarne una copia** prima di normalizzarlo. Le unità di misura con le quali si forniscono le potenze di dieci sono fisse (vedi [dialogo](#)

La normalizzazione ha un senso per ripulire il modello da quelle cifre significative illusorie ed in eccesso che si generano mediante operazioni di geometria analitica o di algebra che tipicamente il programma fa (ad esempio per generare le coordinate di nodi intermedi, o per generare carichi equivalenti a certe pressioni su certe aree di influenza).

**Tipo:** modale

**Destinazione:** documento

#### 3.12.1.1 Normalizzazione (dialogo)

### NORMALIZZAZIONE (DIALOGO)

**Normalizzazione**

**Nodi**

0 Coordinate (mm)

**Materiali**

0 E (N/mm<sup>2</sup>)

0 Nu

0 g (N/mm<sup>3</sup>)

0 fy.. (N/mm<sup>2</sup>)

**Sezioni**

0 Quote (mm)

0 Aree (mm<sup>2</sup>)

0 J (mm<sup>4</sup>)

0 W (mm<sup>3</sup>)

0 Modificatori

**Piastr e membrane**

0 PM: spessori (mm)

0 PM: j (mm<sup>3</sup>)

**Azioni**

0 Forze (N)

0 Coppie (Nmm)

0 p (N/mm = kN/m)

0 m (Nmm/mm)

0 Temperature (°C)

**Rigidezze**

0 Traslazionali: N/mm

0 Rotazionali: Nmm/rad

**Combinazioni**

0 Fattori

Se si introduce 0 i dati saranno invariati; invece, se per esempio è indicato 0.01, 123.45678 diventerà 123.46

OK Proponi Deafault Cancel

Questo dialogo consente di definire le impostazioni desiderate al fine di [normalizzare](#) i dati del modello.

I valori sono da fornire come potenze di dieci: 0,1 0,01 0,001 .... oppure 1, 10, 100, eccetera. Tali numeri vengono interpretati sulla base di unità di misura fisse, non delle unità di misura attive al momento della esecuzione del comando.

Ad esempio se introduco 1 per le coordinate, tutte le coordinate saranno arrotondate al millimetro. Se introduco 10 per il modulo elastico, questi saranno arrotondati ai 10MPa.

### 3.12.2 Cambia sistema di riferimento

#### 3.12.2.1 Trasla...

**COMANDO: Validazione-Cambia sistema di riferimento-Trasla...****[Ribbon-Validazione]**

Il comando serve a traslare i nodi selezionati. Selezionando tutti i nodi del modello prima dell'esecuzione del comando, è quindi possibile traslare rigidamente l'intera rispetto al sistema di riferimento locale.

Dopo aver eseguito il comando, attraverso un opportuno [dialogo](#)<sup>[790]</sup> vengono chieste le componenti lungo gli assi X, Y e Z del vettore di traslazione desiderato (nelle unità correnti).

**Tipo:** modale**Destinazione:** documento**3.12.2.2 Ruota su asse z...****COMANDO: Validazione-Cambia sistema di riferimento-Ruota su asse z...****[Ribbon-Validazione]**

Il comando serve a ruotare il modello corrente attorno all'asse globale Z (l'asse verticale). Dopo aver eseguito il comando, viene chiesto l'angolo di rotazione desiderato (espresso in gradi e positivo se antiorario secondo la regola della mano destra).

**Tipo:** modale**Destinazione:** documento

### 3.12.3 Crea targa...

**COMANDO: Validazione-Crea targa...**

**[Ribbon-Validazione]**



Il comando serve a creare una [targa](#)<sup>[389]</sup> del modello corrente, al fine di poter [confrontare](#)<sup>[1330]</sup> targhe coerenti tra loro in termini di cifre significative. All'esecuzione del comando viene proposto un [dialogo](#)<sup>[1326]</sup> in cui si definisce il numero di **cifre significative** desiderato per le varie grandezze. Tali grandezze sono:

- i luoghi 0D (adimensionali);
- i luoghi 1D (monodimensionali);
- i luoghi 2D (bidimensionali);
- i luoghi 3D (tridimensionali);
- i luoghi misti;
- le azioni;
- le masse.

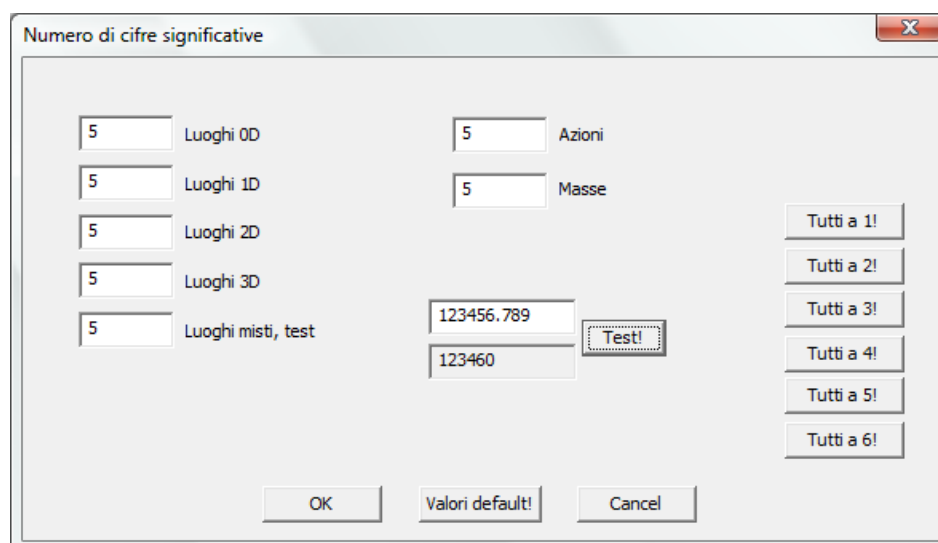
La targa verrà stampata in un file txt chiamato *[nome modello sargon].SIGNATURE.TXT* creato nella stessa cartella del modello Sargon.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** file txt

#### 3.12.3.1 Numero di cifre significative (dialogo)

### NUMERO DI CIFRE SIGNIFICATIVE (DIALOGO)



Questo dialogo consente di definire le impostazioni desiderate al fine di [creare la targa](#)<sup>1326</sup> del modello corrente.

La casella relativa ai luoghi misti è usata anche per testare l'effetto della scelta fatta. Ad esempio, se si ha un numero uguale a 123456.789 e si chiedono 3 cifre significative, tale numero verrà arrotondato a **123000**; se si chiedono 5 significative, sarà **123460**.

Ciascuna casella può essere impostata indipendentemente dalle altre. I bottoni *Tutte a...* servono a porre tutti i valori pari al valore desiderato.

### 3.12.4 Crea targa selezionati...

**COMANDO: Validazione-Crea targa selezionati...**

**[Ribbon-Validazione]**



Questo comando funziona analogamente al comando [Crea targa](#)<sup>1326</sup>, con la differenza che qui la targa viene creata solo per gli oggetti selezionati prima dell'esecuzione del comando stesso.

La targa verrà stampata in un file txt chiamato *[nome modello sargon].SIGNATURE.SELECTED.TXT* creato nella stessa cartella del modello Sargon.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** file txt

### 3.12.5 Crea informativa...

**COMANDO:** Validazione-Crea informativa...

[Ribbon-Validazione]



Il comando serve a creare un'[informativa](#)<sup>[387]</sup> del modello corrente

L'informativa verrà stampata in un file txt chiamato *[nome modello sargon].INFORMATIONS.TXT* creato nella stessa cartella del modello Sargon. La informativa è di fatto una modalità di descrizione sintetica di un modello più estesa e intuitiva della targa.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** file txt

### 3.12.6 Crea informativa selezionati...

**COMANDO:** Validazione-Crea informativa selezionati...

[Ribbon-Validazione]



Questo comando funziona analogamente al comando [Crea informativa](#)<sup>[1328]</sup>, con la differenza che qui l'informativa viene creata solo per gli oggetti selezionati prima dell'esecuzione del comando stesso.

L'informativa verrà stampata in un file txt chiamato *[nome modello sargon].INFORMATIONS.SELECTED.TXT* creato nella stessa cartella del modello Sargon.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** file txt

### 3.12.7 Compara con (WSR)...

**COMANDO:** Validazione-Compara con (WSR)...

[Ribbon-Validazione]



Questo comando serve a confrontare direttamente due modelli Sargon senza passare per la creazione delle loro targhe. Il modello Sargon di riferimento è il modello corrente. All'esecuzione del comando viene chiesto il numero di [cifre significative](#)<sup>[1326]</sup> da considerare per le varie grandezze, dopodiché viene chiesto di indicare il secondo modello Sargon, tra quelli presenti su disco.

Per una descrizione delle grandezze confrontate, si rimanda a [Come affrontare la validazione \(menu Validazione\)](#)<sup>[384]</sup>.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** file txt

### 3.12.8 Compara selezionati con...

**COMANDO: Validazione-Compara selezionati con...**

[Ribbon-Validazione]



Il comando è simile a [Compara con \(WSR\)](#)<sup>[1329]</sup>. La differenza è che in questo caso il confronto viene fatto considerando solo gli oggetti selezionati del modello A e solo gli oggetti selezionati nel modello B.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** file txt

### 3.12.9 Compara targhe TXT...

**COMANDO: Validazione-Compara targhe TXT...**

[Ribbon-Validazione]



Questo comando serve a confrontare in modo automatico due [targhe](#)<sup>[389]</sup> di modelli diversi della stessa struttura.

Dopo l'esecuzione del comando occorre indicare le due targhe da confrontare. La **prima targa** può essere un file precedentemente creato, oppure si può creare in tempo reale la targa del modello corrente. La **seconda targa** deve essere stata creata in precedenza e va indicata dopo aver scelto o creato la prima targa.

***Prima targa (modello A)***



Dopo l'esecuzione del comando viene chiesto se la prima targa deve essere creata del modello corrente (SI) o se si vuole scegliere una targa esistente su disco (NO).

Nel primo caso (SI), la modalità operativa è la stessa di quando si [crea una targa](#)<sup>[1326]</sup>: viene proposto il [dialogo](#)<sup>[1326]</sup> in cui si specifica il numero di cifre significative desiderato per le varie grandezze, quindi viene chiesto se creare la targa dell'intero modello o relativa ai soli oggetti selezionati, infine il file txt contenente la targa viene creato nella cartella del modello. Nel secondo caso (NO), si specifica direttamente il file txt della targa creata in precedenza.

### ***Seconda targa (modello B)***

Si specifica il file txt della targa desiderata, che era stata creata in precedenza.

### ***Confronto***

Viene chiesto di specificare il nome del file di confronto tra le targhe (di default viene proposto *[nome targa 1]+[nome targa 2].COMPARE.TXT*). Viene infine eseguito il confronto tra le targhe e il programma chiede se aprire automaticamente il file [txt](#)<sup>[394]</sup> con le informazioni sul confronto stesso.

Per informazioni dettagliate sul confronto tra modelli indipendenti di una stessa struttura, si veda [Come affrontare la validazione \(menu Validazione\)](#)<sup>[384]</sup>.

**Tipo:** modale

**Destinazione:** file txt

## **3.13 Menu Finestra, Ribbon: Finestra**

### **3.13.1 Nuova finestra**

**COMANDO:** Finestra-Nuova finestra

**[Ribbon-Finestra]**



Questo comando consente di aprire un'altra finestra contenente il modello correntemente attivo, in modo che si possano visualizzare contemporaneamente viste diverse dello stesso renodo, viste di renodi diversi, una vista unifilare e una vista jnodi in parallelo, ecc.

**Tipo:** immediato

### 3.13.2 Cascata

**COMANDO: Finestra-Cascata**

**[Ribbon-Finestra]**



Questo comando sovrappone in cascata tutte le finestre aperte in CSE.

**Tipo:** immediato

### 3.13.3 Affianca

**COMANDO: Finestra-Affianca**

**[Ribbon-Finestra]**



Questo comando affianca tutte le finestre aperte in CSE.

**Tipo:** immediato

### 3.13.4 Sistema icone

**COMANDO: Finestra-Sistema icone**

**[Ribbon-Finestra]**



Questo comando riordina partendo dall'angolo in basso a sinistra tutte le icone delle finestre aperte in CSE.

**Tipo:** immediato

### 3.13.5 Window manager

**COMANDO\_Finestra-Window Manager**

**[Ribbon-Finestra]**



Questo comando è usato per gestire le finestre attive. Alla esecuzione del comando compare un dialogo standard che consente di attivare e posizionare le varie finestre in modo opportuno. Inoltre è possibile salvare uno o più file.

## 3.14 Menu Help, Ribbon: Help

### 3.14.1 Indice

**COMANDO: Help-Indice**

**[Ribbon-Help]**



Use this command to display the opening screen of Help. From the opening screen, you can jump to step-by-step instructions for using <<YourApp>> and various types of reference information.

Once you open Help, you can click the Contents button whenever you want to return to the opening screen.

### 3.14.2 Uso dell'help

**COMANDO: Help-Using Help command (Help menu)**

[Ribbon-Help]



Use this command for instructions about using Help.

### 3.14.3 Informazioni su Sargon

**COMANDO: Help-Informazioni su Sargon**

[Ribbon-Help]



Questo comando fa accedere a un [dialogo](#)<sup>1334</sup> contenente informazioni sulla versione in uso del programma.

#### 3.14.3.1 Informazioni su Sargon (Dialogo)

**INFORMAZIONI SU SARGON (DIALOGO)**

Questo dialogo dà informazioni sul programma.

**Parte**

**IV**

## 4 Guida tecnica alle verifiche

### 4.1 CNR10011/TA

#### CNR 10011: GUIDA TECNICA

##### Verifiche automatiche

Sono stati implementati i seguenti paragrafi e capitoli relativi alle norme CNR 10011/88:

Cap	1
Cap	2: 2.1, 2.2, 2.8, 2.9
Cap	3: 3.1, 3.3
Cap	4: 4, 4.1
Cap	6: 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.5.1, 6.5.2, 6.6, 6.7
Cap	7: 7.1, 7.2.1, 7.2.2, 7.2.3.1, 7.2.3.2, 7.2.3.2.1, 7.2.3.4.2, 7.2.6.1, 7.2.6.2, 7.3.2, 7.3.2.1, 7.3.2.2, 7.3.2.2.1, 7.3.2.2.2, 7.4.1, 7.4.1.1, 7.4.1.2, 7.4.2

Nell'uso di SARGON, con riguardo alle CNR, si tenga presente quanto segue, con riferimento ai paragrafi indicati:

**par 3.3.2**, affinché il programma assuma (automaticamente) la tensione ammissibile di verifica di condizione II ( $\times 1.125$ ), è necessario e sufficiente che una (o più) condizioni base, siano del tipo VENTO, SISMA o TEMPERATURA. Se la combinazione di verifica contiene almeno una condizione dei tipi precedenti il programma assume che la combinazione sia di tipo II, e quindi amplifica la tensione ammissibile. Se non si vuole questa amplificazione è sufficiente cambiare l'etichetta delle condizioni di carico in modo che non ve ne sia alcuna dei tipi elencati più sopra.

**par 4.1.1**, il programma, per poter funzionare anche con materiali diversi da quelli previsti dalle CNR 10011/85 (ovvero per esempio materiali esteri), assume per il calcolo della tensione ammissibile un algoritmo in forma chiusa reperibile nelle norme CNR 10029/85 par. 3. Per questo motivo sono da attendersi piccoli scarti rispetto alle tensioni nominali di normativa CNR 10011/85 (ad esempio per Fe360, la sigma risulta di 156,6 N/mm<sup>2</sup> anziché 160 N/mm<sup>2</sup>).

**cap 7**, verifiche a stabilità. L'azione assiale tenuta in conto quando si eseguono le verifiche a stabilità è la massima azione di compressione rilevata sull'asta, con la risoluzione data dal numero di sezioni richiesto. Tale assunzione è a favore di sicurezza in assenza di alcuna determinazione da parte delle norme.

**par 7.2.2.1.1**, determinazione di  $\beta$ . È compito dell'utente attribuire alle aste il giusto coefficiente  $\beta$ ; per default il programma assume il valore 1.

**par 7.2.3**, nel caso di aste composte a correnti ravvicinati, il programma assume un  $\lambda_1 = 50$  o  $40$  a seconda del tipo di acciaio. Valori di  $\lambda_1$  superiori non sono comunque ammessi dalle norme per profili abbottonati (par 7.2.3.4.2). Per profili calastrellati il programma assume  $\lambda_1 = 50$  o  $40$  a seconda del tipo di acciaio anche se la norma, in tal caso, consente  $\lambda_1$  superiori. È compito dell'utente evitare  $\lambda_1$  superiori a  $50$  o  $40$  anche per profili calastrellati.

**par 7.2.6**, SARGON consente in modo immediato le verifiche dei rapporti larghezza spessore, ma non inibisce le verifiche qualora questi rapporti non siano soddisfatti. È compito dell'utente sincerarsi che i profili scelti verifichino tali rapporti, eseguendo in modo automatico i calcoli con SARGON.

**par 7.3.2.**, la verifica allo svergolamento secondo quanto previsto dalle formule di questo paragrafo viene applicata, secondo la norma, agli stati di sollecitazione di flessione pura. Nel caso di pressoflessione, a queste formule si affianca la 7.4.2.. SARGON esegue, infatti, i calcoli in 7.4.2. solo se v'è una compressione. I calcoli in 7.3.2. vengono invece svolti in ogni caso. Se è presente una tensoflessione, e si è nei casi coperti dal par. 7.3.2.2.1. la trazione viene trascurata, a favore di sicurezza. Se invece è presente una tensoflessione e si deve applicare la 7.3.2.2.2., dato lo spirito diverso del metodo, la trazione viene tenuta in conto per valutare l'effettiva  $N_{eq}$ .

**par 7.4.1.1**, la formula per il calcolo del momento equivalente  $M_{eq} = 0.6M_a - 0.4M_b$  può essere assunta se vi è una distribuzione di momento lineare e se l'asta è "vincolata ad entrambi gli estremi". Mentre la prima condizione è verificata automaticamente da SARGON, la seconda condizione richiede delle convenzioni. SARGON assume che gli estremi siano vincolati, ovvero che l'asta appartenga ad una sottostruttura a vincoli fissi, se  $\beta$  risulta  $\leq 1$ . Se  $\beta$  è  $> 1$ , anche nel caso in cui la distribuzione di momento sia lineare, SARGON non assume applicabile la formula predetta. Per  $\beta$  si intende

$$\beta = \max(\beta_2, \beta_3)$$

**par 7.4.1.**, se nella verifica a pressoflessione di una trave la quantità posta a denominatore delle formule

$$\left(1 - \frac{vN}{N_{cr}}\right)$$

diventa negativa, le formule stesse perdono valore. In tal caso il coefficiente di sfruttamento viene convenzionalmente posto eguale a 99.

### Superelementi

Per ciò che attiene alle caratteristiche adottate nelle verifiche a pressoflessione ed a svergolamento dei par. 7.4.1. e 7.4.2, queste sono quelle della sezione di area minima incontrata esaminando le aste costituenti.

Relativamente alle verifiche su superelementi, va rilevato che affinché queste abbiano significato, il superelemento deve essere costituito da aste con identica sezione, identicamente orientate: le norme infatti non dicono alcunchè su tali verifiche nel caso in cui il profilo vari sull'asta.

### Verifiche utente

#### Generalità

A partire dalla versione 4.30 Sargon consente di eseguire parte delle verifiche secondo regole stabilite dall'utente. Questa importante miglioria è destinata a risolvere due problemi distinti:

- 1) La necessità di poter eseguire le verifiche anche su sezioni non coperte dal verificatore automatico;
- 1) La opportunità di scegliere gli algoritmi di verifica in modo più aderente alla situazione specifica o alle necessità peculiari o alle personali convinzioni del progettista.

Si pensi ad esempio al calcolo delle tensioni tangenziali dovute al taglio: non esiste una teoria di riferimento unica, alcuni applicano la formula di Jourawskij, altri preferiscono ripartire uniformemente il taglio sugli elementi resistenti.

0 Il programma che esegue le verifiche si comporta in modo diverso a seconda che l'elemento da verificare sia dotato di una *sezione standard* o di una *sezione utente*.

1 Se l'elemento ha una sezione standard esso verrà verificato secondo le regole implementate all'interno del programma, se invece esso ha una sezione non standard allora verrà verificato in accordo alle regole stabilite dall'utente. Per poter decidere se una sezione è standard o no il programma confronta il nome della sezione (spazi e maiuscole-minuscole incluse) con l'elenco delle sezioni utente contenuto nel file **cnrdata.txt**. Se la sezione compare tra quelle utente allora verrà verificata secondo le regole dell'utente, in caso contrario verrà verificata dal programma. **Alcuni tipi**



**sezionali non vengono verificati se non come profili utente.** Questi tipi sono: sezioni generiche, sezioni composte generiche, sezioni formate a freddo generiche o dei tipi previsti (a Z, a C, a omega, ad L). Per le sezioni formate a freddo il verificatore secondo le 10011 non è in ogni caso adeguato e si raccomanda invece di usare il verificatore 10011-10022.

### **Superset alle norme CNR10011**

- 0 Per poter spiegare ad un computer il modo nel quale eseguire le verifiche automatiche di una sezione o di un elemento in accordo ad una data norma è necessario poter definire regole chiare ed inequivoche atte a trattare il problema in modo generale.
- 1 La maggior parte delle norme non sistematizza il problema sino a definire in maniera chiara ed inequivoca il modo in cui comportarsi in generale. Il più delle volte si tratta di regole previste in accordo a tabelle di tipi e prive di una validità generale.
- 2 Definiamo “superset” di una certa norma un certo insieme di regole con opportuni parametri, da usare in casi generali non previsti esplicitamente dalla norma stessa, e capaci di essere ricondotte ai casi previsti pur di scegliere in modo opportuno i parametri stessi.
- 3 Per essere accettabile un superset deve contenere le formule di normativa come caso particolare.
- 4 Castalia ha elaborato e concepito un particolare superset alle norme CNR10011 che è stato implementato nel verificatore secondo le CNR10011 in modo da consentire all'utente sia di verificare sezioni arbitrariamente complesse, sia di personalizzare le regole di verifica sulla base delle proprie esigenze progettuali. Qui di seguito si dà chiarimento delle regole introdotte.

### **Verifiche di resistenza**

Nelle norme alle TA le verifiche di resistenza comportano la valutazione dello stato di sforzo in vari punti della sezione. Per le CNR10011 lo sforzo da valutare è quello di Von Mises, che combina completamente la tensione normale e quella tangenziale. Supponendo di riferire la sezione ai suoi assi principali, in ogni punto rilevante occorre calcolare la terna ( $\sigma$ ,  $\tau_2$ ,  $\tau_3$ ), per poi valutare

$$\sigma_{IM} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau_2^2 + 3\tau_3^2}$$

Mentre per il calcolo della tensione normale è tutto facile, perchè si possono facilmente valutare i moduli di resistenza in ogni punto, per le tensioni tangenziali originate dal momento torcente M1 e dai due tagli T2 e T3 il discorso è più complesso, in quanto non è sempre immediata e disponibile una teoria semplificata da usare per la sezione in esame. Nè è pensabile risolvere un sistema di equazioni differenziali alle derivate parziali per procedere. Introduciamo pertanto delle regole semplificate per il calcolo di  $\tau_2$  e di  $\tau_3$ . Precisamente poniamo:

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_2}{W_2} + \frac{M_3}{W_3}$$

$$\tau_2 = \frac{T_2}{A_{22}} + \frac{T_3}{A_{32}} + \frac{M_1}{W_{12}}$$

$$\tau_3 = \frac{T_2}{A_{23}} + \frac{T_3}{A_{33}} + \frac{M_1}{W_{13}}$$

dove (N, T2, T3, M1, M2, M3) è la sestupla con le sollecitazioni e:

0	A	area della sezione
1	W2	modulo di resistenza per calcolare la $\sigma$ dovuta a M2.
2	W3	modulo di resistenza per calcolare la $\sigma$ dovuta a M3.
3	A22	modulo di resistenza per calcolare la $\tau_2$ dovuta a T2.
4	A32	modulo di resistenza per calcolare la $\tau_2$ dovuta a T3.
5	W12	modulo di resistenza per calcolare la $\tau_2$ dovuta a M1.
6	A23	modulo di resistenza per calcolare la $\tau_3$ dovuta a T2.
7	A33	modulo di resistenza per calcolare la $\tau_3$ dovuta a T3.
8	W13	modulo di resistenza per calcolare la $\tau_3$ dovuta a M1.

0 Tutti i moduli ad eccezione di A variano da punto a punto sulla sezione. Tutti i moduli ad eccezione di A possono avere segno positivo o negativo, dando luogo a tensioni con segno positivo o negativo.

### Verifiche a pressoflessione

0 Le verifiche a pressoflessione vengono implementate secondo la formula del par. 7.4.1.2..I moduli di resistenza W2 e W3 sono quelli minimi in valore assoluto. Il valore di  $\omega$  viene valutato mediante la curva di stabilità specificata dall'utente con il parametro **nbc**, che può valere 1, 2, 3 o 4 a seconda che la curva prescelta sia la "a", la "b", la "c" o la "d" della norma.

1 Nel caso in cui l'asta sia composta è necessario aggiungere una snellezza  $\lambda_1$  (cfr. par 7.2.3) sia alla snellezza secondo l'asse 2 che alla snellezza secondo l'asse 3. Occorrono pertanto due parametri liberi, che sono i parametri  $\lambda_{12}$  e  $\lambda_{13}$ . Valgono le regole previste dalle norme:

$$\lambda_{2Totali} = \sqrt{\lambda_2^2 + \lambda_{12}^2}$$

$$\lambda_{3Totali} = \sqrt{\lambda_3^2 + \lambda_{13}^2}$$

## Verifiche a svergolamento

0 Il comportamento a svergolamento (par. 7.3) viene tenuto in conto dando una regola generale per il calcolo del fattore  $\omega_1$ . Occorre inoltre tenere in conto che lo svergolamento può in generale avvenire sia a causa del momento M2 che a causa del momento M3, e non solo a causa di M2 (come implicitamente previsto dalle norme, che tabellano i casi di sezioni ad H, a T, a C, eccetera. Si pensi ad una sezione a croce ottenuta saldando due mezze I sull'anima di una sezione ad H: essa può svergolare sia a causa di M2 che a causa di M3).

1 Il valore di  $\omega_1$  dipende sia dalla forma della sezione che dalla sua snellezza. Poniamo per lo svergolamento sotto M2:

$$\sigma = \frac{\omega_{12} M_{2eq}}{W_2}$$

$$\lambda_{Tors2} = \frac{\beta L}{i_{12}}$$

grazie alla curva di stabilità c

$$\omega = \omega(\lambda_{Tors2})$$

$$\omega_{12} = 1.4 k_{\omega 12} \omega$$

Per lo svergolamento sotto M3 poniamo:

$$\sigma = \frac{\omega_{13} M_{3eq}}{W_3}$$

$$\lambda_{Tors3} = \frac{\beta L}{i_{13}}$$

grazie alla curva di stabilità c

$$\omega = \omega(\lambda_{Tors3})$$

$$\omega_{13} = 1.4 k_{\omega 13} \omega$$

0 Le quantità in grassetto, **i12** e **k<sub>ω12</sub>** sono i due parametri necessari ad individuare il comportamento sotto l'azione del momento M2, altri due parametri sono necessari per individuare il comportamento sotto l'azione del momento M3, essi sono **i13** e **k<sub>ω13</sub>**.

1 La formula che tiene in conto degli effetti combinati, par. 7.4.2.,

$$\sigma = \frac{\omega N}{A} + \frac{\omega_{12} M_{2eq}}{(1 - \nu \frac{N}{N_{cr2}}) W_2} + \frac{M_{3eq}}{(1 - \nu \frac{N}{N_{cr3}}) W_3}$$

viene generalizzata nel seguente modo:

$$\sigma = \frac{\omega N}{A} + \frac{\omega_{12} M_{2eq}}{(1 - \nu \frac{N}{N_{cr2}}) W_2} + \frac{\omega_{13} M_{3eq}}{(1 - \nu \frac{N}{N_{cr3}}) W_3}$$

Se i parametri **i12** , **kom12** oppure **i13** e **kom13** vengono forniti eguali a zero il valore di  $\omega_1$  viene posto eguale a 1.

## Il file cnrdata.txt

0 Nel direttorio di installazione del programma è presente il file ASCII “cnrdata.txt”, il quale elenca tutte le forme sezionali da verificarsi secondo le regole utente. E' compito dell'utente mantenere ed aggiornare questo file in modo da ottenere i risultati voluti.

	\$			\$
0	\$	CNR	10011	\$
1	\$	ARCHIVIO SEZIONI SPECIALI DA VERIFICARSI SECONDO REGOLE DELL'UTENTE		\$
2	\$	Sargon - Copyright Castalia s.r.l.	1998-1998	\$
3	\$	file version 1.0		\$
4	\$			
5	\$			\$
6	\$	NOME	nome della sezione (max 20 caratteri)	\$
7	\$	nptck	numero di punti in cui eseguire il check di resistenza sulla sezione	\$
8	\$	nbc	numero della curva di buckling (a=1, b=2, c=3, d=4)	\$
9	\$	i12	raggio di inerzia da usare per la verifica a svergolamento (M2)	\$
10	\$	i13	raggio di inerzia da usare per la verifica a svergolamento (M3)	\$
11	\$	kom12	fattore pari a omegal / omega(lambdal) per svergolamento sotto M2	\$
12	\$	kom13	fattore pari a omegal / omega(lambdal) per svergolamento sotto M3	\$
13	\$	lam12	snellezza lam1 aggiuntiva su asse 2 (sezioni composte, par. 7.2.3)	\$
14	\$	lam13	snellezza lam1 aggiuntiva su asse 3 (sezioni composte, par. 7.2.3)	\$
15	\$	tmax	spessore massimo del profilo	\$
16	\$	Verifiche di resistenza		\$
17	\$	Area	sigN = N / Area	\$
18	\$	W2i	: sigM2 = M2 / W2i	\$
19	\$	W3i	: sigM3 = M3 / W3i	\$
20	\$	At22	: tau2T2 = T2 / At22	\$
21	\$	At32	: tau2T3 = T3 / At32	\$
22	\$	M12	: tau2M1 = M1 / M12	\$
23	\$	At23	: tau3T2 = T2 / At23	\$
24	\$	At33	: tau3T3 = T3 / At33	\$
25	\$	M13	: tau3M1 = M1 / M13	\$
26	\$	sig =	sigN + sigM2 + sigM3	\$
27	\$	tau2 =	tau2T2 + tau2T3 + tau2M1	\$
28	\$	tau3 =	tau3T2 + tau3T3 + tau3M1	\$
29	\$	sigVonMises = sqrt(sig²+3tau2²+3tau3²)		\$



- 2                      dove unità può assumere i valori seguenti: mm, m, cm, in, ft,  
yd
- 3                      Ogni riga successiva verrà interpretata sulla base dell'ultima riga  
\_UNITS letta. Il default è mm.
- 4            \_SHAPE11                      inizio del blocco relativo a una sezione utente da  
verificarsi con il verificatore 10011
- 5            \_ENDSHAPE                      fine del blocco relativo a una sezione

Ogni altra riga diversa da queste e non compresa tra le righe \_SHAPE11 o \_ENDSHAPE deve essere considerata come un commento. Le righe comprese tra \_SHAPE11 ed \_ENDSHAPE fanno parte del blocco \_SHAPE11. Tutto ciò che viene dopo un “;” su una certa riga è considerato commento.

### Il blocco dati \_SHAPE11

0                      Tutto quanto è compreso tra la riga con l'identificatore \_SHAPE11 e la  
corrispondente riga \_ENDSHAPE segue le regole qui enunciate.

1                      Il blocco è fatto nel seguente modo (comprese \_SHAPE11 ed \_ENDSHAPE  
sono [4+nptck] righe):

\_SHAPE11

**nome sezione**

(A20)

**0        nptck                      nbc**

**i12**

**i13**

**kom12**

**kom13**

**lam12**

**lam13**

**tmax**

(2I,7E)

1

W2

W3

A22

A32

W12

A23

A33

W13

(8E) **riga 1**

2

W2

W3

A22

A32

W12

A23

A33

W13

(8E) **riga 2**

3

.....

4

W2

W3

A22

A32

W12

A23

A33

W13

(8E) **riga**

**nptck**

\_ENDSHAPE

Il significato dei simboli è il seguente:

**nome sezione**

è il nome della sezione e viene confrontato con il nome della sezione descritta nel modello. Deve essere al più di 20 caratteri. Se è lungo meno di 20 caratteri viene completato aggiungendo degli spazi bianchi.

**Nptck**

È il numero di punti di verifica di resistenza sulla sezione e deve essere > 0.

**Nbc**

È il numero della curva di stabilità da adottare nelle verifiche a pressoflessione (a=1, b=2, c=3, d=4). Deve essere eguale a 1, 2, 3, o 4.

**i12**

È il raggio di inerzia usato per calcolare la snellezza ( $\lambda_1$ ) da usare nelle verifiche a svergolamento sotto l'azione del momento M2.

**i13**

È il raggio di inerzia usato per calcolare la snellezza ( $\lambda_1$ ) da usare nelle verifiche a svergolamento sotto l'azione del momento M3.

**Kom12**

Questo numero ha il seguente scopo. Ad ogni snellezza  $\lambda_1$  corrisponde sulla curva di stabilità “c” un certo valore di  $\omega$ . Moltiplicando il valore di  $\omega$  trovato per il termine Kom12 si ottiene il valore di  $\omega_1$  previsto per fare la verifica a svergolamento sotto M2 (cfr. par. 7.3.2.2.1). Ovvero:

$$\sigma = \frac{\omega_{12} M_{2eq}}{W_2}$$

$$\lambda_{Tors2} = \frac{\beta L}{i_{12}}$$

grazie alla curva di stabilità c

$$\omega = \omega(\lambda_{Tors2})$$

$$\omega_{12} = 1.4 k_{cm12} \omega$$

il valore di W2 impiegato è quello della sezione definita in Sargon (vale a dire il modulo minimo), non alcuno dei moduli definiti dall'utente per la verifica di resistenza.

**Kom13**

Il significato è analogo a quello di kom12, ma il valore di  $\omega_1$  trovato viene impiegato per eseguire le verifiche a svergolamento sotto M3. Ovvero:

$$\sigma = \frac{\omega_{13} M_{3eq}}{W_3}$$

$$\lambda_{Tors3} = \frac{\beta L}{i_{13}}$$

grazie alla curva di stabilità c

$$\omega = \omega(\lambda_{Tors})$$

$$\omega_{13} = 1.4 k_{om13} \omega$$

il valore di W3 impiegato è quello della sezione definita in Sargon (vale a dire il modulo minimo), non alcuno dei moduli definiti dall'utente per la verifica di resistenza.

### Lam12

Le sezioni abbottonate, calastrellate o tralicciate devono essere verificate a stabilità aggiungendo una snellezza fittizia  $\lambda_1$  (cfr. par. 7.2.3). Il valore di lam12 rappresenta la snellezza da aggiungere alla snellezza secondo l'asse 2 per ottenere la snellezza totale secondo la formula

$$\lambda_{2Total} = \sqrt{\lambda_2^2 + \lambda_{12}^2}$$

### Lam13

Le sezioni abbottonate, calastrellate o tralicciate devono essere verificate a stabilità aggiungendo una snellezza fittizia  $\lambda_1$  (cfr. par. 7.2.3). Il valore di lam13 rappresenta la snellezza da aggiungere alla snellezza secondo l'asse 3 per ottenere la snellezza totale secondo la formula

$$\lambda_{3Total} = \sqrt{\lambda_3^2 + \lambda_{13}^2}$$

### W2

Modulo di resistenza per calcolare la  $\sigma$  dovuta a M2.

### W3

Modulo di resistenza per calcolare la  $\sigma$  dovuta a M3.

### A22

Modulo di resistenza per calcolare la  $\tau_2$  dovuta a T2.

### A32

Modulo di resistenza per calcolare la  $\tau_2$  dovuta a T3.

### W12

Modulo di resistenza per calcolare la  $\tau_2$  dovuta a M1.

### A23

Modulo di resistenza per calcolare la  $\tau_3$  dovuta a T2.

### A33

Modulo di resistenza per calcolare la  $\tau_3$  dovuta a T3.

### W13

Modulo di resistenza per calcolare la  $\tau_3$  dovuta a M1.



## 4.2 CNR10011/SL

### CNR 10011 Stati Limite: GUIDA TECNICA

#### Verifiche automatiche

Sono stati implementati i seguenti paragrafi e capitoli relativi alle norme CNR 10011/88:

Cap	1	
0	Cap	2: 2.1, 2.2, 2.8, 2.9
1	Cap	3: 3.2
2	Cap	4: 4, 4.1
3	Cap	6: 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.5.1, 6.5.2, 6.6, 6.7
Cap	7: 7.1, 7.2.1, 7.2.2, 7.2.3.1, 7.2.3.2, 7.2.3.2.1, 7.2.3.4.2, 7.2.6.1(in sargon), 7.2.6.2 (in sargon),	
0		7.3.2, 7.3.2.1, 7.3.2.2, 7.3.2.2.1, 7.3.2.2.2, 7.4.1, 7.4.1.1, 7.4.1.2, 7.4.2

0 Nell'uso di SARGON, con riguardo alle CNR, si tenga presente quanto segue, con riferimento ai paragrafi indicati:

1 **par 3.2.1** Le combinazioni che il verificatore considera sono quelle definite all'interno di Sargon. Dalla comparsa di questo verificatore è anche disponibile, in Sargon, un opportuno comando per la generazione automatica delle combinazioni di verifica secondo le regole generali previste dalle CNR 10011.

2 **par 4.1.1**, il programma, per poter funzionare anche con materiali diversi da quelli previsti dalle CNR 10011/88 (ovvero per esempio materiali esteri), assume per il calcolo della tensione di progetto un algoritmo in forma chiusa reperibile nelle norme CNR 10029/85 par. 3. Per questo motivo sono da attendersi piccoli scarti rispetto alle tensioni nominali di normativa CNR 10011/88.

3 **cap 7**, verifiche a stabilità. L'azione assiale tenuta in conto quando si eseguono le verifiche a stabilità è la massima azione di compressione rilevata sull'asta, con la risoluzione data dal numero di sezioni richiesto. Tale assunzione è a favore di sicurezza in assenza di alcuna determinazione da parte delle norme.

**4** par 7.2.2.1.1, determinazione di  $\beta$ . È compito dell'utente attribuire alle aste il giusto coefficiente  $\beta$ ; per default il programma assume il valore 1.

**par 7.2.3**, nel caso di aste composte a correnti ravvicinati, il programma assume un  $\lambda_1 = 50$  o 40 a seconda del tipo di acciaio. Valori di  $\lambda_1$  superiori non sono comunque ammessi dalle norme per profili abbottonati (par 7.2.3.4.2). Per profili calastrellati il programma assume  $\lambda_1 = 50$  o 40 a seconda del tipo di acciaio anche se la norma, in tal caso, consente  $\lambda_1$  superiori. È compito dell'utente evitare  $\lambda_1$  superiori a 50 o 40 anche per profili calastrellati.

**0** par 7.2.6, SARGON consente in modo immediato le verifiche dei rapporti larghezza spessore, ma non inibisce le verifiche qualora questi rapporti non siano soddisfatti. È compito dell'utente sincerarsi che i profili scelti verifichino tali rapporti, eseguendo in modo automatico i calcoli con SARGON.

**1** par 7.3.2., la verifica allo svergolamento secondo quanto previsto dalle formule di questo paragrafo viene applicata, secondo la norma, agli stati di sollecitazione di flessione pura. Nel caso di pressoflessione, a queste formule si affianca la 7.4.2.. SARGON esegue, infatti, i calcoli in 7.4.2. solo se  $v$  è una compressione. I calcoli in 7.3.2. vengono invece svolti in ogni caso. Se è presente una tensoflessione, e si è nei casi coperti dal par. 7.3.2.2.1. la trazione viene trascurata, a favore di sicurezza. Se invece è presente una tensoflessione e si deve applicare la 7.3.2.2.2., dato lo spirito diverso del metodo, la trazione viene tenuta in conto per valutare l'effettiva  $N_{eq}$ .

**par 7.4.1.1**, la formula per il calcolo del momento equivalente  $M_{eq} = 0.6M_a - 0.4M_b$  può essere assunta se vi è una distribuzione di momento lineare e se l'asta è "vincolata ad entrambi gli estremi". Mentre la prima condizione è verificata automaticamente da SARGON, la seconda condizione richiede delle convenzioni. SARGON assume che gli estremi siano vincolati, ovvero che l'asta appartenga ad una sottostruttura a vincoli fissi, se  $\beta$  risulta  $\leq 1$ . Se  $\beta$  è  $> 1$ , anche nel caso in cui la distribuzione di momento sia lineare, SARGON non assume applicabile la formula predetta. Per  $\beta$  si intende

$$\beta = \max(\beta_2, \beta_3)$$

**par 7.4.1.**, se nella verifica a pressoflessione di una trave la quantità posta a denominatore delle formule

$$\left(1 - \frac{vN}{N_{cr}}\right)$$

**0** diventa negativa, le formule stesse perdono valore. In tal caso il coefficiente di sfruttamento viene convenzionalmente posto eguale a 99.

## 1 Superelementi

2 Per ciò che attiene alle caratteristiche adottate nelle verifiche a pressoflessione ed a svergolamento dei par. 7.4.1. e 7.4.2, queste sono quelle della sezione di area minima incontrata esaminando le aste costituenti.

3 Relativamente alle verifiche su superelementi, va rilevato che affinché queste abbiano significato, il superelemento deve essere costituito da aste con identica sezione, identicamente orientate: le norme infatti non dicono alcunchè su tali verifiche nel caso in cui il profilo vari sull'asta.

## Verifiche utente

### 0 Generalità

A partire dalla versione 4.30 Sargon consente di eseguire parte delle verifiche secondo regole stabilite dall'utente. Questa importante miglioria è destinata a risolvere due problemi distinti:

- 1) La necessità di poter eseguire le verifiche anche su sezioni non coperte dal verificatore automatico;
- 1) La opportunità di scegliere gli algoritmi di verifica in modo più aderente alla situazione specifica o alle necessità peculiari o alle personali convinzioni del progettista.

Si pensi ad esempio al calcolo delle tensioni tangenziali dovute al taglio: non esiste una teoria di riferimento unica, alcuni applicano la formula di Jourawskij, altri preferiscono ripartire uniformemente il taglio sugli elementi resistenti.

Il programma che esegue le verifiche si comporta in modo diverso a seconda che l'elemento da verificare sia dotato di una *sezione standard* o di una *sezione utente*.

Se l'elemento ha una sezione standard esso verrà verificato secondo le regole implementate all'interno del programma, se invece esso ha una sezione non standard allora verrà verificato in accordo alle regole stabilite dall'utente. Per poter decidere se una sezione è standard o no il programma confronta il nome della sezione (spazi e maiuscole-minuscole incluse) con l'elenco delle sezioni utente contenuto nel file **cnrdata.txt**. Se la sezione compare tra quelle utente allora verrà verificata secondo le regole dell'utente, in caso contrario verrà verificata dal programma. **Alcuni tipi sezionali non vengono verificati se non come profili utente.** Questi tipi sono: sezioni generiche, sezioni composte generiche, sezioni formate a freddo generiche o dei tipi previsti (a Z, a C, a omega, ad L). Per le sezioni formate a freddo il verificatore secondo le 10011 non è in ogni caso adeguato e si raccomanda invece di usare il verificatore 10011-10022, che però è solo alle tensioni ammissibili (così come la 10022).

## Superset alle norme CNR10011

Per poter spiegare ad un computer il modo nel quale eseguire le verifiche automatiche di una sezione o di un elemento in accordo ad una data norma è necessario poter definire regole chiare ed inequivoche atte a trattare il problema in modo generale.

La maggior parte delle norme non sistematizza il problema sino a definire in maniera chiara ed inequivoca il modo in cui comportarsi in generale. Il più delle volte si tratta di regole previste in accordo a tabelle di tipi e prive di una validità generale.

Definiamo “superset” di una certa norma un certo insieme di regole con opportuni parametri, da usare in casi generali non previsti esplicitamente dalla norma stessa, e capaci di essere ricondotte ai casi previsti pur di scegliere in modo opportuno i parametri stessi.

Per essere accettabile un superset deve contenere le formule di normativa come caso particolare.

Castalia ha elaborato e concepito un particolare superset alle norme CNR10011 che è stato implementato nel verificatore secondo le CNR10011 in modo da consentire all'utente sia di verificare sezioni arbitrariamente complesse, sia di personalizzare le regole di verifica sulla base delle proprie esigenze progettuali. Qui di seguito si dà chiarimento delle regole introdotte.

### Verifiche di resistenza

Nelle norme CNR agli stati limite le verifiche di resistenza comportano la valutazione dello stato di sforzo in vari punti della sezione. Per le CNR10011 lo sforzo da valutare è quello di Von Mises, che combina completamente la tensione normale e quella tangenziale. Supponendo di riferire la sezione ai suoi assi principali, in ogni punto rilevante occorre calcolare la terna ( $\sigma$ ,  $\tau_2$ ,  $\tau_3$ ), per poi valutare

$$\sigma_{IM} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau_2^2 + 3\tau_3^2}$$

Mentre per il calcolo della tensione normale è tutto facile, perchè si possono facilmente valutare i moduli di resistenza in ogni punto, per le tensioni tangenziali originate dal momento torcente  $M_1$  e dai due tagli  $T_2$  e  $T_3$  il discorso è più complesso, in quanto non è sempre immediata e disponibile una teoria semplificata da usare per la sezione in esame. Nè è pensabile risolvere un sistema di equazioni differenziali alle derivate parziali per procedere. Introduciamo pertanto delle regole semplificate per il calcolo di  $\tau_2$  e di  $\tau_3$ . Precisamente poniamo:

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{N}{A} + \frac{M_2}{W_2} + \frac{M_3}{W_3} \\ \tau_2 &= \frac{T_2}{A_{22}} + \frac{T_3}{A_{32}} + \frac{M_1}{W_{12}} \\ \tau_3 &= \frac{T_2}{A_{23}} + \frac{T_3}{A_{33}} + \frac{M_1}{W_{13}}\end{aligned}$$

dove (N, T2, T3, M1, M2, M3) è la sestupla con le sollecitazioni e:

A	area della sezione
W2	modulo di resistenza per calcolare la $\sigma$ dovuta a M2.
W3	modulo di resistenza per calcolare la $\sigma$ dovuta a M3.
A22	modulo di resistenza per calcolare la $\tau_2$ dovuta a T2.
A32	modulo di resistenza per calcolare la $\tau_2$ dovuta a T3.
W12	modulo di resistenza per calcolare la $\tau_2$ dovuta a M1.
A23	modulo di resistenza per calcolare la $\tau_3$ dovuta a T2.
A33	modulo di resistenza per calcolare la $\tau_3$ dovuta a T3.
W13	modulo di resistenza per calcolare la $\tau_3$ dovuta a M1.

Tutti i moduli ad eccezione di A variano da punto a punto sulla sezione. Tutti i moduli ad eccezione di A possono avere segno positivo o negativo, dando luogo a tensioni con segno positivo o negativo.

### Verifiche a pressoflessione

Le verifiche a pressoflessione vengono implementate secondo la formula del par. 7.4.1.2..I moduli di resistenza W2 e W3 sono quelli minimi in valore assoluto. Il valore di  $\omega$  viene valutato mediante la curva di stabilità specificata dall'utente con il parametro **nb**, che può valere 1, 2, 3 o 4 a seconda che la curva prescelta sia la "a", la "b", la "c" o la "d" della norma.

Nel caso in cui l'asta sia composta è necessario aggiungere una snellezza  $\lambda_1$  (cfr. par 7.2.3) sia alla snellezza secondo l'asse 2 che alla snellezza secondo l'asse 3. Occorrono pertanto due parametri liberi, che sono i parametri  $\lambda_{12}$  e  $\lambda_{13}$ . Valgono le regole previste dalle norme:

$$\lambda_{2Total} = \sqrt{\lambda_2^2 + \lambda_{12}^2}$$

$$\lambda_{3Total} = \sqrt{\lambda_3^2 + \lambda_{13}^2}$$

### Verifiche a svergolamento

Il comportamento a svergolamento (par. 7.3) viene tenuto in conto dando una regola generale per il calcolo del fattore  $\omega_1$ . Occorre inoltre tenere in conto che lo svergolamento può in generale avvenire sia a causa del momento M2 che a causa del momento M3, e non solo a causa di M2 (come implicitamente previsto dalle norme, che tabellano i casi di sezioni ad H, a T, a C, eccetera. Si pensi ad

una sezione a croce ottenuta saldando due mezze I sull'anima di una sezione ad H: essa può svergolare sia a causa di M2 che a causa di M3).

Il valore di  $\omega_1$  dipende sia dalla forma della sezione che dalla sua snellezza. Poniamo per lo svergolamento sotto M2:

$$\sigma = \frac{\omega_{12} M_{2eq}}{W_2}$$

$$\lambda_{Tors2} = \frac{\beta L}{i_{12}}$$

grazie alla curva di stabilità c

$$\omega = \omega(\lambda_{Tors2})$$

$$\omega_{12} = 1.4 k_{om12} \omega$$

Per lo svergolamento sotto M3 poniamo:

$$\sigma = \frac{\omega_{13} M_{3eq}}{W_3}$$

$$\lambda_{Tors3} = \frac{\beta L}{i_{13}}$$

grazie alla curva di stabilità c

$$\omega = \omega(\lambda_{Tors3})$$

$$\omega_{13} = 1.4 k_{om13} \omega$$

Le quantità in grassetto, **i12** e **kom12** sono i due parametri necessari ad individuare il comportamento sotto l'azione del momento M2, altri due parametri sono necessari per individuare il comportamento sotto l'azione del momento M3, essi sono **i13** e **kom13**.

La formula che tiene in conto degli effetti combinati, par. 7.4.2.,

$$\sigma = \frac{\omega N}{A} + \frac{\omega_{12} M_{2eq}}{(1 - \nu \frac{N}{N_{cr2}}) W_2} + \frac{M_{3eq}}{(1 - \nu \frac{N}{N_{cr3}}) W_3}$$

viene generalizzata nel seguente modo:

$$\sigma = \frac{\omega N}{A} + \frac{\omega_{12} M_{2eq}}{(1 - \nu \frac{N}{N_{cr2}}) W_2} + \frac{\omega_{13} M_{3eq}}{(1 - \nu \frac{N}{N_{cr3}}) W_3}$$

Se i parametri **i12**, **kom12** oppure **i13** e **kom13** vengono forniti eguali a zero il valore di  $\omega_1$  viene posto eguale a 1.

## Il file cnrdata.txt

Nel direttorio di installazione del programma è presente il file ASCII “cnrdata.txt”, il quale elenca tutte le forme sezionali da verificarsi secondo le regole utente. E' compito dell'utente mantenere ed aggiornare questo file in modo da ottenere i risultati voluti.

\$									
\$	CNR 10011								\$
\$	ARCHIVIO SEZIONI SPECIALI DA VERIFICARSI SECONDO REGOLE DELL'UTENTE								\$
\$	Sargon - Copyright Castalia s.r.l. 1998-1998								\$
\$	file version 1.0								\$
\$									
\$									\$
\$	NOME	nome della sezione (max 20 caratteri)							\$
\$	nptck	numero di punti in cui eseguire il check di resistenza sulla sezione							\$
\$	nbc	numero della curva di buckling (a=1, b=2, c=3, d=4)							\$
\$	i12	raggio di inerzia da usare per la verifica a svergolamento (M2)							\$
\$	i13	raggio di inerzia da usare per la verifica a svergolamento (M3)							\$
\$	kom12	fattore pari a omega1 / omega(lambda1) per svergolamento sotto M2							\$
\$	kom13	fattore pari a omega1 / omega(lambda1) per svergolamento sotto M3							\$
\$	lam12	snellezza lam1 aggiuntiva su asse 2 (sezioni composte, par. 7.2.3)							\$
\$	lam13	snellezza lam1 aggiuntiva su asse 3 (sezioni composte, par. 7.2.3)							\$
\$	tmax	spessore massimo del profilo							\$
\$	Verifiche di resistenza							\$	
\$	Area	sigN = N / Area							\$
\$	W2i	:	sigM2 = M2 / W2i						\$
\$	W3i	:	sigM3 = M3 / W3i						\$
\$	At22	:	tau2T2 = T2 / At22						\$
\$	At32	:	tau2T3 = T3 / At32						\$
\$	M12	:	tau2M1 = M1 / M12						\$
\$	At23	:	tau3T2 = T2 / At23						\$
\$	At33	:	tau3T3 = T3 / At33						\$
\$	M13	:	tau3M1 = M1 / M13						\$
\$	sig =	sigN + sigM2 + sigM3							\$
\$	tau2 =	tau2T2 + tau2T3 + tau2M1							\$
\$	tau3 =	tau3T2 + tau3T3 + tau3M1							\$
\$	sigVonMises = sqrt(sig^2+3tau2^2+3tau3^2)							\$	
\$	N.b.: tutte le grandezze delle verifiche a resistenza sono dotate di segno,							\$	
\$	in particolare tutti i moduli		W2i	W3i	At22	At32	W12	At23	\$
\$	At33		W13 hanno il segno.					\$	
\$	_UNITS	mm, cm, m, in, ft, yd							\$
\$									
\$									
\$									
_UNITS cm									
\$									

_SHAPE11																	
xHE 120 B ; NOME																	
14	3	3.464	0.	1.00	0.	0.	0.	1.1		; nptck	nbc	i12	i13	kom12	kom13	lam12	lam13 tmax
144.1	55.62	26.4	0.	-10.495	0.	0.	0.	0.		; W2i	W3i	At22	At32	W12	At23	At33	W13
176.44	55.62	26.4	0.	+10.495	0.	0.	0.	0.		; W2i	W3i	At22	At32	W12	At23	At33	W13
144.1	-55.62	26.4	0.	-10.495	0.	0.	0.	0.		; W2i	W3i	At22	At32	W12	At23	At33	W13
176.44	-55.62	26.4	0.	+10.495	0.	0.	0.	0.		; W2i	W3i	At22	At32	W12	At23	At33	W13
-176.44	55.62	26.4	0.	-10.495	0.	0.	0.	0.		; W2i	W3i	At22	At32	W12	At23	At33	W13
-144.1	55.62	26.4	0.	+10.495	0.	0.	0.	0.		; W2i	W3i	At22	At32	W12	At23	At33	W13
-176.44	-55.62	26.4	0.	-10.495	0.	0.	0.	0.		; W2i	W3i	At22	At32	W12	At23	At33	W13
-144.1	-55.62	26.4	0.	+10.495	0.	0.	0.	0.		; W2i	W3i	At22	At32	W12	At23	At33	W13
+144.1	0.00	26.4	0.	-10.495	0.	7.8	0.	0.		; W2i	W3i	At22	At32	W12	At23	At33	W13
176.44	0.00	26.4	0.	+10.495	0.	7.8	0.	0.		; W2i	W3i	At22	At32	W12	At23	At33	W13
0.	1026.83	0.	0.	0.	0.	7.8	-17.76	0.		; W2i	W3i	At22	At32	W12	At23	At33	W13
0.	-1026.83	0.	0.	0.	0.	7.8	+17.76	0.		; W2i	W3i	At22	At32	W12	At23	At33	W13
-176.44	0.00	26.4	0.	-10.495	0.	7.8	0.	0.		; W2i	W3i	At22	At32	W12	At23	At33	W13
-144.10	0.00	26.4	0.	+10.495	0.	7.8	0.	0.		; W2i	W3i	At22	At32	W12	At23	At33	W13
_ENDSHAPE																	

Il file è composto da righe che possono assumere significati differenti.

\_UNITS

unità

dove unità può assumere i valori seguenti: mm, m, cm, in, ft, yd

Ogni riga successiva verrà interpretata sulla base dell'ultima riga \_UNITS letta.

Il default è mm.

\_SHAPE11

inizio del blocco relativo a una sezione utente da verificarsi con

il verificatore 10011

\_ENDSHAPE

fine del blocco relativo a una sezione

Ogni altra riga diversa da queste e non compresa tra le righe \_SHAPE11 o \_ENDSHAPE deve essere considerata come un commento. Le righe comprese tra \_SHAPE11 ed \_ENDSHAPE fanno parte del blocco \_SHAPE11. Tutto ciò che viene dopo un “;” su una certa riga è considerato commento.

### Il blocco dati \_SHAPE11

Tutto quanto è compreso tra la riga con l'identificatore \_SHAPE11 e la corrispondente riga \_ENDSHAPE segue le regole qui enunciate.

Il blocco è fatto nel seguente modo (comprese \_SHAPE11 ed \_ENDSHAPE sono [4+nptck] righe):



**\_SHAPE11**

nome sezione		(A20)				
<b>nptck</b>	<b>nbc</b>	<b>i12</b>	<b>i13</b>	<b>kom12</b>		
<b>kom13</b>		<b>lam12</b>		<b>lam13</b>	<b>tmax</b>	
(2I,7E)						
W2	W3	A22	A32	W12	A23	
A33	W13			(8E) riga 1		
W2	W3	A22	A32	W12	A23	
A33	W13			(8E) riga 2		
.....						
W2	W3	A22	A32	W12	A23	
A33	W13			(8E) riga nptck		

**\_ENDSHAPE**

Il significato dei simboli è il seguente:

**nome sezione**

è il nome della sezione e viene confrontato con il nome della sezione descritta nel modello. Deve essere al più di 20 caratteri. Se è lungo meno di 20 caratteri viene completato aggiungendo degli spazi bianchi.

**Nptck**

È il numero di punti di verifica di resistenza sulla sezione e deve essere  $> 0$ .

**Nbc**

È il numero della curva di stabilità da adottare nelle verifiche a pressoflessione ( $a=1$ ,  $b=2$ ,  $c=3$ ,  $d=4$ ). Deve essere eguale a 1, 2, 3, o 4.

**i12**

È il raggio di inerzia usato per calcolare la snellezza ( $\lambda_1$ ) da usare nelle verifiche a svergolamento sotto l'azione del momento M2.

**i13**

È il raggio di inerzia usato per calcolare la snellezza ( $\lambda_1$ ) da usare nelle verifiche a svergolamento sotto l'azione del momento M3.

**Kom12**

Questo numero ha il seguente scopo. Ad ogni snellezza  $\lambda_1$  corrisponde sulla curva di stabilità “c” un certo valore di  $\omega$ . Moltiplicando il valore di  $\omega$  trovato per il termine Kom12 si ottiene il valore di  $\omega_1$  previsto per fare la verifica a svergolamento sotto M2 (cfr. par. 7.3.2.2.1). Ovvero:

$$\sigma = \frac{\omega_{12} M_{2eq}}{W_2}$$

$$\lambda_{Tors2} = \frac{\beta L}{i_{12}}$$

grazie alla curva di stabilità c

$$\omega = \omega(\lambda_{Tors2})$$

$$\omega_{12} = 1.4 k_{om12} \omega$$

il valore di W2 impiegato è quello della sezione definita in Sargon (vale a dire il modulo minimo), non alcuno dei moduli definiti dall'utente per la verifica di resistenza.

### Kom13

Il significato è analogo a quello di kom12, ma il valore di  $\omega_1$  trovato viene impiegato per eseguire le verifiche a svergolamento sotto M3. Ovvero:

$$\sigma = \frac{\omega_{13} M_{3eq}}{W_3}$$

$$\lambda_{Tors3} = \frac{\beta L}{i_{13}}$$

grazie alla curva di stabilità c

$$\omega = \omega(\lambda_{Tors3})$$

$$\omega_{13} = 1.4 k_{om13} \omega$$

il valore di W3 impiegato è quello della sezione definita in Sargon (vale a dire il modulo minimo), non alcuno dei moduli definiti dall'utente per la verifica di resistenza.

### Lam12

Le sezioni abbottonate, calastrellate o tralicciate devono essere verificate a stabilità aggiungendo una snellezza fittizia  $\lambda_1$  (cfr. par. 7.2.3). Il valore di lam12 rappresenta la snellezza da aggiungere alla snellezza secondo l'asse 2 per ottenere la snellezza totale secondo la formula

$$\lambda_{2Total} = \sqrt{\lambda_2^2 + \lambda_{12}^2}$$

### Lam13

Le sezioni abbottonate, calastrellate o tralicciate devono essere verificate a stabilità aggiungendo una snellezza fittizia  $\lambda_1$  (cfr. par. 7.2.3). Il valore di lam13 rappresenta la snellezza da aggiungere alla snellezza secondo l'asse 3 per ottenere la snellezza totale secondo la formula

$$\lambda_{3Total} = \sqrt{\lambda_3^2 + \lambda_{13}^2}$$

### W2

Modulo di resistenza per calcolare la  $\sigma$  dovuta a M2.

**W3**

Modulo di resistenza per calcolare la  $\sigma$  dovuta a M3.

**A22**

Modulo di resistenza per calcolare la  $\tau_2$  dovuta a T2.

**A32**

Modulo di resistenza per calcolare la  $\tau_2$  dovuta a T3.

**W12**

Modulo di resistenza per calcolare la  $\tau_2$  dovuta a M1.

**A23**

Modulo di resistenza per calcolare la  $\tau_3$  dovuta a T2.

**A33**

Modulo di resistenza per calcolare la  $\tau_3$  dovuta a T3.

**W13**

Modulo di resistenza per calcolare la  $\tau_3$  dovuta a M1.

## 4.3 CNR10011-10022

### CNR 10011 - 10022: GUIDA TECNICA

A partire dalla versione 4.31 viene affiancato al verificatore secondo le CNR 10011 il verificatore secondo le 10011-10022. Questo secondo verificatore è un'estensione del precedente ([CNR: GUIDA TECNICA<sup>\[1336\]</sup>](#)), con il quale ha in comune tutto ad eccezione di quanto verrà qui chiarito.

A seconda del tipo di profilo sono disponibili varie possibilità di verifica, secondo questa tabella

Profili	Automatiche	Automatiche	Utente	Utente
	10011	10022	10011	10022
Gruppo 1	Sì	No	Sì	Sì
Gruppo 2	No	No	Sì	Sì

I profili sono divisi in gruppi secondo la seguente tabella:

**Gruppo 1**

**Gruppo 2**

Tutti purchè non del gruppo 2

Formate a freddo (tra cui a C, a Z, a L, a  $\Omega$  e  
generiche)  
Composte generiche  
Generiche

Come si vede, le verifiche automatiche di profili formati a freddo non sono ancora state implementate (per le ragioni spiegate più avanti), mentre è possibile eseguire delle verifiche semiautomatiche mediante il concetto di “Verifiche utente”. Secondo questo approccio è l'utente che specifica i parametri necessari ad eseguire le verifiche su un dato profilo, nell'ambito di formule di verifica molto generali **eseguite automaticamente dal programma**. Una volta aggiunta la sezione al file “cnrdata.txt”, tutti i modelli Sargon che conterranno una sezione con quel nome verranno verificati con le regole specificate dall'utente all'interno dello stesso file, “cnrdata.txt”. Il vantaggio di questo approccio è che l'utente è libero di decidere come far eseguire al programma le verifiche, lo svantaggio è che occorre tenere aggiornato il file “cnrdata.txt” con i dati delle sezioni che si vuole verificare.

### **Problemi nella implementazione delle norme 10022**

Le norme 10022 sono scarsamente implementabili in quanto non menzionano una serie di importanti problemi che è necessario affrontare se si vuole risolvere il problema generale.

I profili formati a freddo sono tutt'ora oggetto di studio, e non si conoscono in maniera sistematica formule atte a rappresentare l'interazione tra le componenti di sollecitazione (taglio-momento flettente, eccetera).

La complessità del comportamento dei profili formati a freddo deriva dalla interazione tra il buckling locale dei lati ed il comportamento globale della sezione e della membratura. Tali problemi diventano particolarmente chiari se si deve lavorare in un contesto tridimensionale “cieco”, vale a dire in un ambito totalmente generale sia in termini di sollecitazione che in termini di forma sezionale.

Gli approcci più diffusi usano il concetto di sezione efficace e – in modo più o meno esplicito, più o meno nitido, e perciò programmabile – invocano un procedimento iterativo.

#### **1) Verifiche sezionali**

Data una sezione soggetta ad una certa combinazione di sollecitazioni  $N$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ ,  $M_t$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  (essendo 2 e 3 gli assi principali della sezione lorda) ci si pone il problema di determinare il coefficiente di sfruttamento di quella sezione.

In primo luogo va detto che la norma assume come unica causa di buckling la tensione normale ( $N$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ ) mentre non nomina le altre tre componenti di sollecitazione ( $M_t$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ). Anche supponendo di calcolare gli effetti di tali sollecitazioni sull'area efficace risultante dal calcolo sotto ( $N$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ ) non è chiaro secondo quali regole la tensione tangenziale dovrebbe essere calcolata (ad esempio, un profilo quadrato chiuso, che sotto un'azione assiale perde i tratti centrali dei quattro lati, non più efficaci, resta chiuso per il calcolo della tensione tangenziale dovuta al momento torcente?).

Si può anche immaginare di “buttare via” tagli e momento torcente, ma questo – in un contesto generale – ripugna il buon senso.

Secondariamente, la classificazione dei lati in “anime” e lati “compressi” appare troppo generica, slegata com'è da un concetto quantitativo.

## 2) Verifiche di stabilità

Le verifiche a stabilità hanno un senso solo in presenza di pura compressione. Se sull'asta sono presenti anche i momenti flettenti il  $Q$  definito dalla normativa varierà da sezione a sezione, nè la norma dice quale  $Q$  occorre prendere. Analogo discorso vale per i momenti di inerzia “efficaci” e per la collocazione degli assi principali delle sezioni efficaci.

Queste poche considerazioni bastano a dimostrare che le norme 10022 non sono univocamente implementabili, ma solo pluralisticamente interpretabili.

## Implementazione delle norme CNR10022

Nonostante quanto detto in precedenza, occorre poter implementare in qualche forma le norme 10022, così da consentire le verifiche automatiche.

Il problema che ci si pone è il seguente: dato un generico profilo formato a freddo soggetto ad uno stato di sollecitazione del tutto generale, quale insieme di verifiche occorre compiere, e qual'è l'insieme dei parametri minimo per definire tali verifiche?

Nel seguito verrà chiarito l'insieme di regole seguite dal verificatore automatico implementato da Castalia.

### Verifiche di resistenza.

Si fa l'ipotesi di conoscere o di poter determinare i seguenti parametri (tutti maggiori di zero):

$A_{eff}$

$f_y A_{eff}$  = azione assiale ultima a compressione

$W_{2eff}$	$f_y W_{2eff+}$ = momento positivo ultimo M2 (diretto come gli assi principali della sezione lorda)
$W_{2eff-}$	$f_y W_{2eff-}$ = momento negativo ultimo M2 (diretto come gli assi principali della sezione lorda)
$W_{3eff+}$	$f_y W_{3eff+}$ = momento positivo ultimo M3 (diretto come gli assi principali della sezione lorda)
$W_{3eff-}$	$f_y W_{3eff-}$ = momento negativo ultimo M3 (diretto come gli assi principali della sezione lorda)

Con questi parametri e l'area lorda è possibile determinare il dominio limite facendo l'ipotesi di linearizzare tra i punti corrispondenti alle sollecitazioni elementari. Ciò corrisponde alle seguenti posizioni:

$\sigma_N = N/A$	se $N > 0$
$\sigma_N = N/A_{eff}$	se $N < 0$
$\sigma_{M2} = M2/W_{2eff+}$	se $M2 > 0$
$\sigma_{M2} = M2/W_{2eff-}$	se $M2 < 0$
$\sigma_{M3} = M2/W_{3eff+}$	se $M3 > 0$
$\sigma_{M3} = M2/W_{3eff-}$	se $M3 < 0$

E infine

$$\sigma = |\sigma_N| + |\sigma_{M2}| + |\sigma_{M3}|$$

Il valore di tensione trovato è una misura dello sfruttamento della sezione sotto l'azione combinata delle sollecitazioni (N, M2, M3), ma non tiene in conto le sollecitazioni (T2, T3, M1). Per tenere in conto questi effetti si introducono dei punti di lettura, nei quali calcolare le tensioni tangenziali in accordo a regole sufficientemente generali da poter essere adottate su una amplissima classe di sezioni. Le regole sono quelle già introdotte quando si è parlato di verifiche utente secondo le norme CNR10011. In particolare introduciamo i seguenti ulteriori parametri:

A22	modulo di resistenza per calcolare la $\tau_2$ dovuta a T2.
A32	modulo di resistenza per calcolare la $\tau_2$ dovuta a T3.
W12	modulo di resistenza per calcolare la $\tau_2$ dovuta a M1.

A23	modulo di resistenza per calcolare la $\tau_3$ dovuta a T2.
A33	modulo di resistenza per calcolare la $\tau_3$ dovuta a T3.
W13	modulo di resistenza per calcolare la $\tau_3$ dovuta a M1.

E poniamo, in ogni punto di verifica “i”:

$$\tau_2 = \frac{T_2}{A_{22}} + \frac{T_3}{A_{32}} + \frac{M_1}{W_{12}}$$

$$\tau_3 = \frac{T_2}{A_{23}} + \frac{T_3}{A_{33}} + \frac{M_1}{W_{13}}$$

$$\tau = \sqrt{\tau_2^2 + \tau_3^2}$$

Se uno dei moduli A22, A32, W12, A23, A33, W13 viene convenzionalmente posto eguale a zero la corrispondente tensione viene posta eguale a 0 (e non a infinito).

Cerchiamo ora il massimo valore di  $\tau$  al variare dei punti di verifica:

$$\tau_{Max} = \max\{\tau_i\}$$

Il valore trovato è una misura dello sfruttamento della sezione sotto l'effetto delle sollecitazioni (T2, T3, M1).

Si pone ora il seguente problema: in che modo combinare l'effetto delle (N, M2, M3) con l'effetto delle (T2, T3, M1) ?

La combinazione con la formula di Von Mises è certamente a favore di sicurezza, perchè assume che il massimo della  $\sigma$  si verifichi ove vi è il massimo della  $\tau$ , ma in certi casi può essere eccessivamente a favore di sicurezza. Inoltre va osservato che la  $\sigma$  calcolata linearizzando il dominio limite non è una vera e propria tensione, ma solo un indice di sfruttamento. Per consentire all'utente di decidere autonomamente cosa fare, si è deciso di introdurre un flag, denominato *tausig*, che dice se combinare o meno tra loro la  $\sigma$  e la  $\tau$ . Risulta in particolare:

Se  $\text{tausig} = 0$

$$\sigma_{id} = \max\{\sigma, \tau_{Max}\}$$

Se  $\text{tausig} = 1$

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2_{Max}}$$

### Verifiche di stabilità

Le verifiche di stabilità procedono in tutto e per tutto allo stesso modo delle verifiche secondo le CNR 10011, ad eccezione del fatto che il valore del coefficiente  $\omega$  viene calcolato mediante le regole chiarite nelle 10022, ed è quindi funzione del parametro Q. Il parametro Q viene fornito esplicitamente dall'utente come parametro di verifica. Se Q viene posto eguale a 0, esso è calcolato così:

$$Q = (A_{eff}/A)$$

Se invece è  $A_{eff}$  ad essere posta eguale a 0, allora essa viene calcolata così:

$$A_{eff} = QA$$

Non è consentito dare contemporaneamente eguali a 0 sia Q che  $A_{eff}$ .

Le verifiche a stabilità avvengono dunque secondo le formule seguenti:

#### PRESSOFLESSIONE

$$\sigma = \frac{\omega N}{A} + \frac{M_{2eq}}{(1 - \nu \frac{N}{N_{cr2}})W_2} + \frac{M_{3eq}}{(1 - \nu \frac{N}{N_{cr3}})W_3}$$

#### PRESSOFLESSIONE+SVERGOLAMENTO

$$\sigma = \frac{\omega N}{A} + \frac{\omega_{12} M_{2eq}}{(1 - \nu \frac{N}{N_{cr2}})W_2} + \frac{\omega_{13} M_{3eq}}{(1 - \nu \frac{N}{N_{cr3}})W_3}$$

ove risulta:

$$\omega_{12} = 1.4 k_{om12} \omega$$

$$\omega = \omega(\lambda_{Tor2})$$

$$\lambda_{Tor2} = \frac{\beta L}{i_{12}}$$

I parametri **kom12** e **i12** sono forniti dall'utente (per maggiori dettagli si veda [CNR: GUIDA TECNICA](#) <sup>1336</sup>).



Si noti che in queste verifiche, in accordo a CNR10022, si usano l'area lorda ed i W lordi a denominatore. I valori di  $N_{cr}$  sono gli ordinari valori euleriani del carico critico. Il valore di  $\omega$ , invece, è calcolato con le regole di CNR-10022, ed ha un valore minimo di 1.25.

## Il file cnrdata.txt

Il verificatore secondo le 10011-10022 è in grado di leggere ed interpretare tutti i blocchi definiti per le CNR 10011 ([CNR: GUIDA TECNICA<sup>\[1336\]</sup>](#)) ed inoltre il seguente blocco di dati, da usare per le sezioni formate a freddo.

### Il blocco dati \_SHAPE22

Tutto quanto è compreso tra la riga con l'identificatore \_SHAPE22 e la corrispondente riga \_ENDSHAPE segue le regole qui enunciate.

```
_UNITS mm
_SHAPE22
Om25x40x15x1.5 ; NOME
165.20 1.0 1.5 0 1188.7 1188.7 1838.4 1838.4 ; Aeff Q tmax tausig W2eff+ W2eff- W3eff+ W3eff-
2 0. 0. 0. 0. 0. 0. ; nptck i12 i13 kom12 kom13 lam12 lam13
105. 0. 82.6 0. 0. 0. ; At22 At32 W12 At23 At33 W13
0. 0. 0. 0. 75. 82.6 ; At22 At32 W12 At23 At33 W13
_ENDSHAPE
```

I dati vengono interpretati sulla base dell'ultima istruzione \_UNITS presente nel file prima del blocco SHAPE22. Se non c'è alcuna istruzione \_UNITS allora le unità sono i millimetri.

Il blocco è fatto nel seguente modo (comprese \_SHAPE22 ed \_ENDSHAPE sono [5+nptck] righe):

#### \_SHAPE22

nome sezione	(A20)			
<b>Aeff</b>	<b>Q</b>	<b>tmax</b>	<b>tausig</b>	<b>W2eff+</b>
<b>W2eff-</b>		<b>W3eff+</b>		<b>W3eff-</b>
(3E,I,4E)				
<b>Nptck</b>		<b>i12</b>	<b>i13</b>	<b>kom12</b>
<b>kom13</b>		<b>lam12</b>		<b>lam13</b>
(I,6E)				

A22	A32	W12	A23	A33	W13
(6E) riga 1					
A22	A32	W12	A23	A33	W13
(6E) riga 2					
.....					
A22	A32	W12	A23	A33	W13
(6E) riga nptck					

### **\_ENDSHAPE**

Il significato dei simboli è il seguente:

#### **nome sezione**

è il nome della sezione e viene confrontato con il nome della sezione descritta nel modello. Deve essere al più di 20 caratteri. Se è lungo meno di 20 caratteri viene completato aggiungendo degli spazi bianchi.

#### **Aeff**

Area efficace della sezione. Se l'area efficace è nulla essa viene calcolata come  $A_{eff}=QA$ .

#### **Q**

Parametro caratteristico della sezione. Se esso è nullo viene calcolato come  $Q=A_{eff}/A$ .

#### **Tmax**

Spessore della sezione

#### **Tausig**

Flag che indica se combinare o meno le tensioni tangenziali con le tensioni normali (vedi la descrizione generale più sopra). Se è eguale a zero le tensioni non vengono combinate, se è eguale ad 1 le tensioni vengono combinate.

#### **W2eff+**

Modulo di resistenza della sezione sotto un momento M2 positivo. Deve essere maggiore di zero.

#### **W2eff-**

Modulo di resistenza della sezione sotto un momento M2 negativo. Deve essere maggiore di zero.

#### **W3eff+**

Modulo di resistenza della sezione sotto un momento M3 positivo. Deve essere maggiore di zero.

#### **W3eff-**

Modulo di resistenza della sezione sotto un momento M3 negativo. Deve essere maggiore di zero.

#### **Nptck**

È il numero di punti di verifica di resistenza a taglio e torsione sulla sezione e deve essere  $> 0$ .

#### **i12**

È il raggio di inerzia usato per calcolare la snellezza ( $\lambda_1$ ) da usare nelle verifiche a svergolamento sotto l'azione del momento M2.

### i13

È il raggio di inerzia usato per calcolare la snellezza ( $\lambda_1$ ) da usare nelle verifiche a svergolamento sotto l'azione del momento M3.

### Kom12

Questo numero ha il seguente scopo. Ad ogni snellezza  $\lambda_1$  corrisponde un certo valore di  $\omega$ . Moltiplicando il valore di  $\omega$  trovato per il termine Kom12 si ottiene il valore di  $\omega_1$  previsto per fare la verifica a svergolamento sotto M2 (cfr. par. 7.3.2.2.1). Ovvero:

$$\sigma = \frac{\omega_{12} M_{2eq}}{W_2}$$

$$\lambda_{Tors2} = \frac{\beta L}{i_{12}}$$

$$\omega = \omega(\lambda_{Tors2})$$

$$\omega_{12} = 1.4 k_{om12} \omega$$

il valore di W2 impiegato è quello della sezione definita in Sargon (vale a dire il modulo minimo), non alcuno dei moduli definiti dall'utente per la verifica di resistenza.

### Kom13

Il significato è analogo a quello di kom12, ma il valore di  $\omega_1$  trovato viene impiegato per eseguire le verifiche a svergolamento sotto M3. Ovvero:

$$\sigma = \frac{\omega_{13} M_{3eq}}{W_3}$$

$$\lambda_{Tors3} = \frac{\beta L}{i_{13}}$$

$$\omega = \omega(\lambda_{Tors3})$$

$$\omega_{13} = 1.4 k_{om13} \omega$$

il valore di W3 impiegato è quello della sezione definita in Sargon (vale a dire il modulo minimo), non alcuno dei moduli definiti dall'utente per la verifica di resistenza.

### Lam12

Le sezioni abbottonate, calastrellate o tralicciate devono essere verificate a stabilità aggiungendo una snellezza fittizia  $\lambda_1$  (cfr. par. 7.2.3). Il valore di lam12 rappresenta la snellezza da aggiungere alla snellezza secondo l'asse 2 per ottenere la snellezza totale secondo la formula

$$\lambda_{2Tot} = \sqrt{\lambda_2^2 + \lambda_{12}^2}$$

**Lam13**

Le sezioni abbottonate, calastrellate o tralicciate devono essere verificate a stabilità aggiungendo una snellezza fittizia  $\lambda_1$  (cfr. par. 7.2.3). Il valore di lam13 rappresenta la snellezza da aggiungere alla snellezza secondo l'asse 3 per ottenere la snellezza totale secondo la formula

$$\lambda_{3Total} = \sqrt{\lambda_3^2 + \lambda_{13}^2}$$

**A22**

Modulo di resistenza per calcolare la  $\tau_2$  dovuta a T2.

**A32**

Modulo di resistenza per calcolare la  $\tau_2$  dovuta a T3.

**W12**

Modulo di resistenza per calcolare la  $\tau_2$  dovuta a M1.

**A23**

Modulo di resistenza per calcolare la  $\tau_3$  dovuta a T2.

**A33**

Modulo di resistenza per calcolare la  $\tau_3$  dovuta a T3.

**W13**

Modulo di resistenza per calcolare la  $\tau_3$  dovuta a M1.

## **4.4 EC3**

### **EC3: GUIDA TECNICA**

**VERSIONE EN:1993-1-1 (RILASCIATA CON LA VERSIONE 8.40 NEL NOVEMBRE 2007)**

**VERSIONE ENV (NON PIÙ RILASCIATA A PARTIRE DAL NOVEMBRE 2007).**

---

**VERSIONE EN:1993-1-1 (RILASCIATA CON LA VERSIONE 8.40 NEL NOVEMBRE 2007)**

**Sommario:****1 Generalità**

<b>2</b>	<b>Paragrafi implementati</b>
<b>3</b>	<b>Classificazione delle sezioni</b>
<b>4</b>	<b>Verifiche standard</b>
4.1	Verifiche di resistenza
4.2	Verifiche di stabilità
4.2.1	Il problema dello svergolamento
4.2.2	Il nuovo formato delle verifiche di pressoflessione (metodo 1 e metodo 2)
4.2.3	Le verifiche di instabilità torsionale e flesso-torsionale (versione 9.90, Luglio 2012)
<b>5</b>	<b>Verifiche utente</b>
5.1	Approccio
5.2	Il file "ec3data.txt"
5.3	Esempio di aggiunta di una sezione al file: IPE500
<b>6</b>	<b>Il tracciamento dei calcoli</b>
<b>7</b>	<b>L'uso di checksolvers</b>
<b>8</b>	<b>Le schede di validazione</b>
<b>9</b>	<b>Bibliografia</b>

## **1 Generalità**

L'aggiornamento del verificatore dalla versione ENV della norma alla versione EN ha richiesto un considerevole lavoro. La stesura di un verificatore in accordo ad EN1993-1-1 si presenta come un lavoro molto vasto e complesso, tenuto conto dei notevoli problemi di interpretazione e di applicazione che la norma pone, quando applicata in un contesto generale. Il problema è così vasto che sarà oggetto di una trilogia di pubblicazioni [1]-[3] delle quali al momento (novembre 2007) è disponibile solo la prima. Non si ritiene di poter dare in questa sede che indicazioni di massima, riservando alle pubblicazioni [1]-[3] l'approfondimento necessario.

Nel passaggio dalla versione ENV alla versione EN sono profondamente cambiate le formule di verifica a pressoflessione, e ciò ha posto considerevoli problemi di interpretazione e di applicazione. Inoltre, per le sezioni in classe 3, di fatto è stato ripristinato il calcolo tensionale puntuale tradizionale, sia pur con una mitigazione legata alla possibilità di redistribuire plasticamente le sollecitazioni taglienti e torcenti applicate.

I maggiori problemi riguardano la mancata generalità di numerose parti che sono state messe a punto avendo in mente problemi particolari. Le stesse formule di pressoflessione non sono di fatto applicabili se non a profili doppiamente simmetrici. Si tratta di una grave limitazione, che non è mitigata da alcuna formula alternativa.

Il lavoro di studio e approfondimento ha abbracciato alcuni mesi. Da questo lavoro è scaturita anche una serie di importanti migliorie rispetto alla versione ENV precedentemente rilasciata. Tali migliorie sono le seguenti:

- È stata inclusa la torsione che precedentemente non era nominata dalla norma;
- Sono stati affrontati tutti i complessi problemi di interazione tra taglio e torsione anche se non chiariti dalla norma;
- È stato aggiunto il tracciamento dei calcoli, una funzionalità che consente di ricostruire passo passo i calcoli fatti e di disporre della gran parte dei risultati intermedi;
- Sono state messe a punto ben 100 schede di validazione ed alcuni worked example, che entreranno a far parte della documentazione del programma non appena pubblicate ufficialmente in [2] e [3], oggi in corso di stesura;
- È stato ampliato enormemente il raggio di azione del programma consentendo la esecuzione di verifiche utente su sezioni di forma qualsiasi;
- È stata migliorata la parte relativa al calcolo a svergolamento;
- È stata data la possibilità di usare vari tipi diversi di calcoli, scegliendo il miglior modo di eseguire il verificatore.
- È stata aggiunta a checksolvers la possibilità di eseguire controlli sui coefficienti di sfruttamento ottenuti con la norme EC3.

## 2 Paragrafi implementati

3.2.3 (per spessori  $t > 80\text{mm}$  si è assunta una riduzione di  $40\text{N/mm}^2$ ); 3.2.6, 5.5.2, 6.2.1 (ma non (2) e (10)), 6.2.2.1, 6.2.2.2 (l'area netta è tenuta in conto da un fattore riduttivo dell'area lorda), 6.2.2.5 (1) (2) i formati a freddo sono fuori dal campo di applicazione, (3), (4); 6.2.3; 6.2.4; 6.2.5; 6.2.6 ad esclusione delle clausole (5) applicata sempre e (6); 6.2.7 ma tenendo solo conto della torsione primaria; 6.2.8; 6.2.9.1 (ma non clausola (4)); 6.2.9.2; 6.2.9.3; 6.2.10; 6.3.1.1; 6.3.1.2 ma non clausola (4); 6.3.1.3; 6.3.1.4; 6.3.2.1; 6.3.2.2.; 6.3.2.4. per alcuni profili prendendo  $k_c=1$  clausola (2) e (3); 6.3.3.; annesso A; annesso B

### 3 Classificazione delle sezioni

A parte qualche piccola differenza nella definizione dei rapporti larghezza spessore, e, conseguentemente, nella definizione dei limiti, il problema della classificazione è stato affrontato in modo identico a quanto già previsto dalla precedente versione del verificatore. L'argomento è molto complesso quando affrontato nella sua generalità, ed è stato oggetto di una specifica pubblicazione ([1]) che costituisce il fondamentale riferimento bibliografico dal quale trarre tutte le informazioni del caso.

Nella documentazione del programma è disponibile l'articolo [\[articolo1\]](#)<sup>[1566]</sup>, che originariamente fu scritto per spiegare la metodologia impiegata.

SARGON risolve completamente il problema nel caso di sezioni ad I ed H laminato ed a I saldato (IPE, HEA, ecc.) così come chiarito in [1], mentre relativamente agli altri profili SARGON assume come classe la massima classe tra quelle dovute a sollecitazioni pure (sola N, solo M2, solo M3). Nel caso di elementi biella SARGON assume come classe la classe 1 se l'elemento è in trazione, la classe a compressione semplice in caso contrario.

Il caso di classe 4 è da considerare un caso a sè. Il calcolo delle grandezze efficaci viene eseguito per tutte le tipologie di profilo ad esclusione dei profili formati a freddo generici (per i quali esiste uno specifico servizio di calcolo a richiesta), dei profili ottenuti per composizione di sezioni, dei profili ottenuti per composizione di poligonali. Negli altri casi tali grandezze sono poste eguali a zero. E' tuttavia sempre possibile mediante le verifiche utente definire i moduli di resistenza efficaci pertinenti.

I profili del tipo formato a freddo generica, composta generica e composta da poligonali, e non sia un profilo-utente (che può sempre essere verificato) viene considerato non verificato, ed a esso è associato il coefficiente di sfruttamento convenzionale 99.

Profili che non siano doppiamente simmetrici presentano particolari problemi allorchè ci si trovi a calcolarne le grandezze efficaci. In tal caso infatti, anche sotto sollecitazioni semplici, gli assi principali della sezione efficace sono ruotati rispetto a quelli della sezione lorda, facendo con ciò perdere un pò di vista il significato delle verifiche a stabilità.

Quando per profili classificati in accordo a quanto chiarito nell'articolo citato uno qualsiasi di questi tre rapporti, in valore assoluto

$$N/N_{pl}$$
$$M2/M2_{pl}$$
$$M3/M3_{pl}$$

è minore di  $1.e-4$  (0.0001), allora la corrispondente componente di sollecitazione è assunta nulla ai fini della classificazione. Tale accorgimento evita che compressioni puramente numeriche (piccoli valori di compressione in presenza di momento nullo) possano portare a classificazioni troppo severe.

#### **4 Verifiche standard**

Con il nome di “verifiche standard” si intendono tutte quelle verifiche che vengono eseguite sui profili in modo automatico ovvero senza che l’utente “insegni” al programma come fare. Chiaramente, data l’estrema complessità della norma, è talvolta necessario impiegare “sezioni utente” al fondamentale fine di chiarire in che modo trattare profili di forma particolare, oppure al fine di specializzare le verifiche secondo i propri desideri. Sono verificate automaticamente le seguenti sezioni:

- A I o H laminato in tutte le classi.
- A I o H saldato in tutte le classi
- A T saldato in tutte le classi.
- A T laminato ottenuto per taglio di profili a I o H laminato, in tutte le classi.
- A I laminato con ali diseguali in tutte le classi.
- Piatti.
- Sezioni circolari cave in classe 1, 2 o 3.
- Sezioni rettangolari cave saldate o laminate (Rhs) in tutte le classi.
- A C laminato (ali rastremate o no) o saldato in tutte le classi
- A Z formato a freddo in classe 3 o 4.
- A L formato a freddo in classe 3 o 4.
- A C formato a freddo in classe 3 o 4.
- A L laminato, o saldato in tutte le classi.
- A doppio o quadruplo L e a doppio o C .

Non sono verificate automaticamente, a meno che non siano definite come sezioni utente, le seguenti sezioni:

- Composta generica
- Formata a freddo generica
- Composta da poligonali
- Totalmente generica



## 4.1 Verifiche di resistenza

### 4.1.1 *Sezioni in classe 1 o in classe 2*

Per queste sezioni vengono utilizzati, dove disponibili, domini nonlineari eventualmente corretti per tener conto della presenza di taglio e torsione. Nel caso in cui tali domini non siano disponibili viene impiegata una formula di interazione di tipo lineare, corretta per tener conto della presenza di taglio e momento torcente. In questo caso gli sfruttamenti plastici vengono calcolati impiegando una tensione di snervamento ridotta  $(1-\rho_2-\rho_3)f_y$  al posto della tensione di snervamento originaria. Di solito gli sfruttamenti calcolati non sono coefficienti di sfruttamento ma meri indici di sfruttamento, essi non esprimono cioè una reale distanza dalla soglia. Per una estesa trattazione del problema, non sintetizzabile nelle note di rilascio di un programma, si rimanda a [3].

### 4.1.2 *Sezioni in classe 3*

In questo caso le verifiche sono verifiche puntuali ed il criterio adottato è quello di Von Mises. Le sezioni si dividono in due gruppi: il gruppo delle sezioni per le quali vengono adottate delle verifiche convenzionali, ottenute sovrapponendo le tensioni normali e tangenziali in modo che siano a favore di sicurezza; ed il gruppo di sezioni per le quali viene definito un insieme di punti nei quali vengono definiti dei moduli di resistenza generalizzati atti a far calcolare la tensione normale e la tensione tangenziale, combinate poi con la regola di Von Mises.

Al primo gruppo appartengono le sezioni: circolari; a  $]$ , a  $]$ , angolari composti a T ed a croce, nonché angolari semplici;

Al secondo gruppo appartengono le sezioni ad I o H laminato, ad I o H saldato, a T laminato o saldato, RHS (rectangular hollow section), a cassone, piatti o rettangolari, ed UPN nonché C saldati.

Poiché la norma consente una redistribuzione plastica anche nel caso di calcoli elastici in nessuno di questi casi la tensione tangenziale dovuta al taglio è calcolata usando la formula di Jouravskij. Invece viene sempre adottata una ripartizione costante.

### 4.1.3 *Sezioni in classe 4*

Alcune tipologie di sezione possono essere verificate anche se di classe 4. Tali tipologie sono:

- profili a I o H laminato;
- profili ad I o H saldato;
- profili ad I o H laminato a flange asimmetriche;

- profili ad U saldato, laminato e formato a freddo;
- profili a T ottenuti per taglio di profili ad I o H laminato;
- profili a T saldato;
- profili a cassone;
- profili rettangolari cavi (RHS);
- Profili a C a flange parallele.
- Profili formati a freddo a Z, L e C.

Perché questi profili siano verificati automaticamente benché in classe 4, il verificatore deve poter conoscere i valori efficaci. I valori efficaci vengono calcolati dal programma automaticamente. Tali valori efficaci dipendono anche dal materiale e quindi non possono essere considerati una proprietà della sezione immutabile, ma piuttosto sono una proprietà della sezione una volta che sia noto il materiale con cui è costituita.

Per far conoscere i valori efficaci di un profilo ricadente nelle tipologie anzi dette, l'utente deve eseguire il comando [Edit-Proprietà-Modifica sezione](#)<sup>[998]</sup> scegliere la sezione a cui è interessato e poi premere il bottone "Valori Efficaci".

A quel punto si apre un [opportuno dialogo](#)<sup>[948]</sup> che chiede essenzialmente le tensioni di snervamento e rottura del materiale e il valore di  $\gamma_{m0}$  da usare. L'utente dovrà introdurre i valori che corrispondono agli elementi a cui quella sezione è stata assegnata. Se la sezione è stata assegnata a elementi aventi materiale diverso, sarà necessario (se per tutti è necessario un calcolo in classe 4) distinguere i profili introducendo nuovi profili identici a con nome diverso.

Ad esempio se gli elementi A hanno la sezione HE200B in S235 e gli elementi B hanno la stessa sezione in S355, agli elementi B si potrà assegnare una sezione "HE200B\_2" in modo da poter definire due volte i valori efficaci, una volta (HE200B) con S235, ed una volta (HE200B\_2) con S355.

Il verificatore utilizzerà comunque i valori efficaci pertinenti che calcola in modo automatico.

Nel caso in cui sia presente anche taglio e torsione la formula viene corretta riducendo da 1 a  $(1-\rho_2-\rho_3)$  la soglia massima. In questo caso

$$\rho_2 = \frac{2V_2}{V_{p2,T}} - 1$$

$$V_{p2,T} = V_{p1,2} \left( 1 - \frac{M_1}{M_{1,lim}} \right)$$

E di conseguenza  $\rho_3$ .

#### 4.2. Verifiche di stabilità

Le formule di stabilità presenti nell'Eurocodice 3 sono relative alle verifiche di compressione, di svergolamento, di pressoflessione con o senza svergolamento. Per quanto riguarda la verifica di compressione semplice questa non presenta particolari difficoltà nota che sia la snellezza e la curva di stabilità da adottare per la verifica. Ove l'azione assiale sia variabile il programma assume la massima compressione come valore di riferimento sulla membratura. Per quanto invece riguarda le verifiche di svergolamento e di pressoflessione, esistono considerevoli problemi che necessitano di essere menzionati.

#### 4.2.1 Il problema dello svergolamento

Le verifiche a svergolamento possono essere eseguite essenzialmente mediante tre distinti metodi, in EN1993. Il primo metodo impiega una formula chiusa per il calcolo del momento critico; il secondo metodo impiega i moltiplicatori critici e limite ottenuti con calcoli di buckling e di analisi nonlineare; il terzo metodo, semplificato, verifica la piattabanda compressa. Il verificatore usa quando possibile il metodo che impiega la formula chiusa per il valore di  $M_{crit}$ , mentre quando ciò non è possibile (sezioni aperte o sezioni a C) si esegue di fatto una verifica della piattabanda compressa pensata isolata dal resto della sezione.

Il primo metodo può essere applicato solo a sezioni inflesse nel piano di simmetria, e consiste nell'applicare una complicata formula (non più esplicitamente presente nella norma) che può essere scritta come segue:

$$M_{crit} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(\beta_1 L)^2} \left\{ \left[ \left( \frac{\beta_1}{k_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(\beta_1 L)^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} + (C_2 z_g - C_3 z_j)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - (C_2 z_g - C_3 z_j) \right\}$$

Se il carico è applicato nel centro di taglio  $z_g=0$ . Inoltre per sezioni doppiamente simmetriche  $z_j=0$ . In questi casi la formula precedente si semplifica e viene unicamente a dipendere dal coefficiente di distribuzione  $C_1$ . Il termine  $k_w$  è un coefficiente che vale 1 quando l'ingobbamento è libero agli estremi, 0,5 se è impedito. Il coefficiente  $\beta_1$  (anche indicato da  $k$ , in alcune fonti), dà conto della lunghezza compresa tra due ritegni torsionali successivi e di solito coincide con 1. Il termine  $I_w$  è la costante di ingobbamento mentre  $I_t$  è il momento di inerzia torsionale.

Nel caso di sezioni ad I o ad H laminato ed a I saldato, la formula precedente fornisce direttamente il valore del momento critico elastico associato allo svergolamento. Tale formula dipende, come si è detto, dal coefficiente di distribuzione  $C_1$  che per momento costante vale 1 mentre per momento variabile è generalmente maggiore di 1. Sebbene siano disponibili tabelle capaci di fornire questo coefficiente in una certa casistica, nella maggior parte dei casi tale coefficiente non risulta

determinabile in modo semplice. Alcuni studi, eseguiti su un gran numero di simulazioni numeriche, hanno permesso di mettere a punto delle formule semplificate che, campionando il diagramma di momento  $M$  associato allo svergolamento (di solito  $M_2$ ) esprimono  $C_1$  in forma chiusa.

Tra queste formule l'ultima e più attendibile è quella di Serna (vedasi il [dialogo](#)<sup>[770]</sup> che consente di scegliere il modo in cui valutare  $C_1$ ). Altre formulazioni sono dovute a Kirby-Nethercot (norme americane) ed alle normative BS.

Il programma verificatore è in grado di calcolare  $C_1$  partendo da una generica distribuzione di momento, mediante l'uso delle formule anzi dette. E' anche possibile fissare un valore unico e costante per  $C_1$ .

Calcolato il momento  $M_{crit}$  (che come si vede dipende dalla combinazione a causa della dipendenza di  $C_1$  dal diagramma di momento sollecitante). Il programma può calcolare la snellezza per lo svergolamento  $\lambda_{LT}$  e da questa un coefficiente riduttivo da applicare al momento limite per ottenere la soglia di momento da associare alla instabilità laterale per svergolamento.

Quando viene applicato il metodo della piattabanda compressa, di fatto si valuta la snellezza di questa mediante il suo raggio di inerzia  $i_f$ . Anche in questo caso è previsto un coefficiente, denominato  $k_c$ , che consente di dosare la verifica in funzione della distribuzione di momento, ma, data l'indisponibilità di formule generali per la sua valutazione esso, a favore di sicurezza, viene posto eguale ad 1.

#### 4.2.2 Il nuovo formato delle verifiche di pressoflessione (metodo 1 e metodo 2)

Le nuove norme EN differiscono dalle precedenti ENV in specie per il formato delle verifiche a pressoflessione, che è stato profondamente cambiato pervenendo, nella intenzione degli autori, ad un formato al tempo stesso più chiaro e più accurato. In realtà da un punto di vista operativo il nuovo formato si presenta notevolmente complesso e macchinoso, tanto che di fatto risulta inapplicabile a mano. Inoltre il nuovo formato si riferisce a sezioni doppiamente simmetriche mentre non è ben chiaro come regolarsi quando il profilo da verificare possieda un solo asse di simmetria o al limite nessuno.

Il formato generale delle verifiche prevede due formule, una per lo sbandamento nel piano 1-2 ed una per lo sbandamento nel piano 1-3. Queste formule devono poi essere diversamente applicate a seconda che il profilo sia in classe 1 o 2 o in classe 3, ed a seconda che lo svergolamento sia considerato possibile o impedito. Inoltre le formule generali vengono poi a specializzarsi in due differenti approcci, che comportano due metodi differenti per il calcolo dei coefficienti: un formato denominato "Metodo 1", e dovuto alla ricerca franco-belga, ed un formato denominato "Metodo 2" e dovuto alla ricerca austro-tedesca.

Il formato generale delle verifiche è il seguente:

$$\frac{N}{\chi_2 N_{Rk}} + k_{22} \frac{M_2 + \Delta M_2}{\chi_{LT} M_{2,Rk}} + k_{23} \frac{M_3 + \Delta M_3}{M_{3,Rk}} \leq \frac{1}{\gamma_{M1}}$$

$$\frac{N}{\chi_3 N_{Rk}} + k_{32} \frac{M_2 + \Delta M_2}{\chi_{LT} M_{2,Rk}} + k_{33} \frac{M_3 + \Delta M_3}{M_{3,Rk}} \leq \frac{1}{\gamma_{M1}}$$

I due metodi differiscono per il modo in cui vengono calcolati i coefficienti  $k_{ij}$ . Nelle formule precedenti le grandezze a denominatore cambiano in funzione della classe. Per la classe 1 e 2 si usano i moduli plastici, per la 3 quelli elastici e per la 4 l'area ed i moduli di resistenza efficaci. Le variazioni di momento  $\Delta$  sono nulle se la classe non è la 4.

Il verificatore è in grado di applicare entrambi i metodi, a scelta (vedasi il [dialogo](#)<sup>[769]</sup> opportuno).

Data la possibilità di eseguire i calcoli con entrambi i metodi, si consiglia di avvalersi di tale funzionalità come procedura standard onde migliorare il grado di affidabilità dei calcoli. Tra i due metodi quello maggiormente affidabile e preciso dovrebbe essere, nella maggior parte dei casi, il metodo franco-belga (il metodo 1).

Vediamo nel seguito in che modo i due metodi provvedano a calcolare i coefficienti.

#### 4.2.2.1 Metodo 1 (franco-belga)

Le formule che danno i coefficienti  $k_{ij}$  sono molto complesse, in specie nel caso di dimensionamento plastico. Non è questa la sede per entrare nel dettaglio, ci si limita ad osservare che in questo approccio la dipendenza dei coefficienti da ciascun fenomeno fisico (plasticità, svergolamento, distribuzione di momento, ecc.) è chiaramente evidenziata da termini a questi associati. Particolare rilevanza hanno le formule che si riferiscono al calcolo dei coefficienti  $C_{mi,0}$  per le quali (cfr. tabella A.2 della norma) esiste una dipendenza dalla freccia massima sotto i carichi applicati, almeno nel caso in cui la distribuzione di momento non sia lineare. La formula è questa:

$$C_{mi,0} = 1 + \left( \frac{\pi^2 EI_i |\delta|}{L^2 |M_{i,max}|} - 1 \right) \frac{N}{N_{cr,i}}$$

nella quale compare il massimo momento e la massima freccia  $\delta$ . La massima freccia  $\delta$  può essere valutata in vari modi (vedasi il [dialogo](#)<sup>[769]</sup> opportuno). Il programma ne propone due: una frazione costante della luce ed un valore ottenuto integrando l'equazione della linea elastica.

Si segnala che la formula per il coefficiente  $C_{zz}$  presente nel testo della norma oggi (novembre 2007) disponibile, contiene un errore. Tale errore è stato corretto e non figura nel verificatore.

#### 4.2.2.2 Metodo 2 (austro-tedesco)

Nelle intenzioni degli Autori, il metodo austro tedesco dovrebbe consentire una maggior semplicità d'uso rispetto a quello franco-belga. In effetti la sua applicazione nei calcoli a mano è più semplice, benchè, a nostro parere, pur sempre proibitiva. Relativamente a questo metodo si deve segnalare una certa equivocità nella definizione dei coefficienti  $\alpha_s$  ed  $\alpha_h$ , dovuta ad una non piena comprensibilità della tabella B.3. Anche nella tabella B.3 figura un errore corretto nel verificatore (nell'ultima riga ed ultima colonna il termine 0,9-.... Deve essere sostituito da 0,9+...). Un motivo di serio imbarazzo nell'applicazione del metodo è la ambiguità nella definizione dei coefficienti  $C_m$  legata alle differenti formule previste per il caso di “carico uniforme” e “carico concentrato”. In realtà, come è ben evidente, il caso normale è quello in cui sono presenti entrambi. Il programma assume sempre che il caso sia quello di carico uniforme essendo questo più severo dell'altro.

#### 4.2.3 Le verifiche di instabilità torsionale e flesso-torsionale (dalla versione 9.90, Luglio 2012)

Un elemento soggetto a compressione semplice può instabilizzarsi mediante due modalità dette torsionale e flesso-torsionale. Tali modalità sono diverse dalle modalità flessionali tipiche del problema di Eulero. Queste modalità di instabilizzazione sono assenti normalmente nella maggior parte dei profili di impiego comune, tuttavia, per profili in parete sottile, esse possono rivelarsi determinanti ai fini delle verifiche. La situazione di compressione semplice deve dunque essere indagata sia per il rischio di instabilità flessionale, sia per il rischio di instabilità torsionale e flesso-torsionale.

La formula per il carico critico torsionale  $N_{cr,T}$  è la seguente:

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \left( GI_t + \frac{\pi^2 EI_w}{l_T^2} \right)$$

$$i_0^2 = i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2$$

nella quale

$G$  è il modulo di elasticità tangenziale.

$I_t$  è il momento di inerzia torsionale primario.

$E$  è il modulo di Young

$I_w$  è la costante di ingobbamento

$l_T$  è identica alla lunghezza di libera inflessione per svergolamento, dominata dal coefficiente di libera inflessione  $\beta_1$

$i_y$  ed  $i_z$  sono i raggi di inerzia si riferiscono agli assi principali 2 e 3 rispettivamente ( $i_y=i_2$ ,  $i_z=i_3$ ).

$y_0$  è la coordinata del centro di taglio rispetto al baricentro lungo l'asse principale y (asse 2).

$z_0$  è la coordinata del centro di taglio rispetto al baricentro lungo l'asse principale z (asse 3).

Nel caso in cui sia presente almeno un asse di simmetria, allora il carico critico  $N_{cr,TF}$  è esprimibile in forma chiusa, se non c'è nessun asse di simmetria allora la formula non è disponibile in forma chiusa. Se la simmetria è doppia allora  $N_{cr,TF} = N_{cr,T}$ . In caso contrario, nella ipotesi in cui l'asse di simmetria sia l'asse y (o asse principale 2), la formula per  $N_{cr,TF}$  è la seguente:

$$N_{cr,TF} = \frac{N_{cr,y}}{2\beta} \left( 1 + \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}} - \sqrt{\left( 1 - \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}} \right)^2 + 4 \left( \frac{y_0}{i_0} \right)^2 \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}}} \right)$$

$$\beta = 1 - \left( \frac{y_0}{i_0} \right)^2$$

nella quale  $N_{cr,y}$  è il carico critico per instabilità flessionale attorno all'asse y (asse 2, di simmetria). Si noti che se y (2) è di simmetria allora  $z_0=0$ .

Se invece la simmetria è relativa all'asse z (o asse 3, symmetry = 3), le formule diventano le seguenti:

$$N_{cr,TF} = \frac{N_{cr,z}}{2\beta} \left( 1 + \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,z}} - \sqrt{\left( 1 - \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,z}} \right)^2 + 4 \left( \frac{z_0}{i_0} \right)^2 \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,z}}} \right)$$

$$\beta = 1 - \left( \frac{z_0}{i_0} \right)^2$$

Calcolati  $N_{cr,y}$ ,  $N_{cr,z}$  con le ben note formule seguenti, relative al carico critico euleriano:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{(\beta_y L)^2}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{(\beta_z L)^2}$$

si ha infine il carico critico elastico

$$N_{cr} = \min \{ N_{cr,y}, N_{cr,z}, N_{cr,T}, N_{cr,TF} \}$$

Ad ognuno dei carichi critici è associata una curva di stabilità. Per  $N_{cr,T}$  ed  $N_{cr,TF}$  si usa la curva associata all'asse 3.

Ne consegue che il carico di progetto finale  $N_{b,Rd}$  sarà dato, per le sezioni in classe 1, 2 e 3, da

$$N_{b,Rd} = \min \{ \chi_y, \chi_z, \chi_T, \chi_{TF} \} \cdot \frac{Af_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{b,Rd,y} = \chi_y \cdot \frac{Af_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{b,Rd,z} = \chi_z \cdot \frac{Af_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{b,Rd,TF} = \min \{ \chi_T, \chi_{TF} \} \cdot \frac{Af_y}{\gamma_{M1}}$$

e per le sezioni in classe 4 da

$$N_{b,Rd} = \min \{ \chi_y, \chi_z, \chi_T, \chi_{TF} \} \cdot \frac{A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{b,Rd,y} = \chi_y \cdot \frac{A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{b,Rd,z} = \chi_z \cdot \frac{A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{b,Rd,TF} = \min \{ \chi_T, \chi_{TF} \} \cdot \frac{A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}}$$

I coefficienti riduttivi  $\chi$  si trovano nota la curva di stabilità e nota la snellezza adimensionale. Questa ultima è data, per le sezioni in classe 1, 2 e 3 da

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}}$$

mentre per le sezioni in classe 4, da

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}}$$

dove al posto di  $N_{cr}$  andrà messo il carico critico opportuno tra i 4 disponibili.

La verifica alla instabilità torsionale e flessio-torsionale viene fatta per alcune forme sezionali in modo automatico, mentre per altre no.



Per queste ultime, generalmente o sezioni non standard o sezioni non simmetriche. è sempre possibile utilizzare le [sezioni utente](#) e "spiegare" al programma come fare.

Per le seguenti sezioni il calcolo è fatto automaticamente (anche facendo uso di formule interne *hard coded* sia per il calcolo della posizione del centro di taglio, sia per il calcolo di  $I_w$ ):

- sezioni a I o H laminate (doppia simmetria)
- piatti e sezioni rettangolari (doppia simmetria)
- tubi circolari (doppia simmetria)
- RHS (doppia simmetria)
- sezioni saldate a I o a H (simmetria asse 3)
- sezioni a T a lati rastremati (simmetria asse 3)
- sezioni a T saldate (simmetria asse 3)
- sezioni a T ottenute per taglio da sezioni ad I o ad H (simmetria asse 3)
- sezioni a U laminate (simmetria asse 2)
- sezioni a U saldate (simmetria asse 2)
- sezioni composte da 4 angolari a croce (doppia simmetria)
- sezioni composte da due angolari a  $\_||\_$  (simmetria asse 3)
- sezioni a L laminato a lati eguali (simmetria asse 2)
- sezioni a L saldato a lati e spessore eguale (simmetria asse 2)
- sezioni formate a freddo a C, L e Z.

Una volta calcolato  $N_{b,Rd}$  occorre ben comprendere come questo viene utilizzato.

Per elementi biella esso è il carico assiale effettivamente sopportabile (non c'è interazione con il momento flettente).

Per elementi trave il dato è utilizzato per una verifica iniziale sull'effetto della azione assiale presa da sola, e viene poi impiegato o meno a seconda di quale formula si usi per la presso-flessione:

- se si usano i Metodi 1 e 2 di Eurocodice 3, nelle formule di interazione si prendono in considerazione solo  $N_{b,Rd,y}$  e  $N_{b,Rd,z}$ .
- se si usano le NTC Metodo A, allora nelle formule di interazione si prendono in considerazione solo  $N_{b,Rd,y}$  e  $N_{b,Rd,z}$ .
- se si usano le formule della versione ENV, allora il primo termine ha a denominatore  $N_{b,Rd}$  e dunque si tiene anche conto di  $N_{cr,T}$  e  $N_{cr,TF}$ .

Limitatamente ai soli elementi formati a freddo la EN 1993-1-3 dà una formula di interazione per la presso flessione, che tiene anche conto delle modalità di instabilizzazione torsionale e flessio-torsionale. La formula è la seguente:

$$\left( \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \right)^{0.8} + \left( \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \right)^{0.8} \leq 1,0$$

tale formula non è al momento ancora implementata dal verificatore, dato che è una formula di presso-flessione retta e non deviata come necessario.

## 5 Verifiche utente


### Approccio

La complessità delle formulazioni previste nella norma e la loro mancanza di esaustività da un lato, l'esigenza di personalizzare e specificare meglio le verifiche dall'altro, ha portato alla necessità di mettere a punto un formato di verifica più generale, che consentisse in tutti i casi di poter eseguire verifiche automatiche usando un formato praticamente coincidente con quello della norma. Si è quindi dovuto mettere a punto un insieme di regole e di parametri di nuova concezione, in grado di consentire all'utente di lavorare con qualsiasi forma sezionale. Tale ampliamento è stato molto complicato ma realizza un importantissimo obiettivo, in specie quando usato in congiunzione con la funzionalità del tracciamento. Il verificatore automatico diviene uno strumento di lavoro personalizzabile ed adattabile alle più svariate esigenze.

Da un punto di vista pratico il funzionamento è il seguente (affine a quanto avviene per le CNR e per le BS). Se una sezione figura all'interno di un file denominato "EC3DATA.txt" e collocato nella cartella di installazione del programma, questa sezione non viene verificata impiegando le regole normali ma applicando delle regole di verifica particolari. Tutti gli elementi e le membrature che utilizzano quella sezione saranno verificate impiegando queste regole particolari e non le regole normali previste dal verificatore. Ciò vale per tutti i profili, anche quelli standard: è sufficiente che il nome del profilo figuri all'interno del file EC3DATA.TXT in un opportuno blocco di istruzioni, perché questo venga trattato in modo diverso e verificato con le regole utente.

Naturalmente è sempre possibile attivare o meno questa opzione semplicemente cambiando il nome delle forme sezionali all'interno di EC3DATA.TXT in modo che siano/non siano identiche a quelle definite nel modello del programma. In linea di principio sarebbe possibile bypassare completamente il normale funzionamento del verificatore, semplicemente includendo le forme sezionali nel file

EC3DATA.TXT. Produttori che abbiano particolari profili o particolari esigenze di verifica possono creare o commissionare programmi in grado di compilare da soli il file EC3DATA in modo da personalizzare pienamente le verifiche.

Una analitica rassegna del formato del file potrà consentire di comprendere in che modo debba essere compilato il file, il successivo paragrafo dà invece un esempio di compilazione relativo ad un profilo IPE500. Dalla versione 9.60 non è più necessario gestire manualmente il file EC3DATA.txt: è infatti disponibile un [comando](#)  che attraverso un'opportuna interfaccia guida l'utente nella compilazione del file in modo più semplice e veloce.

In quanto segue verranno fornite le spiegazioni necessarie a comprendere il significato dei dati da introdurre nel file. A tale fine verranno essenzialmente trattati i seguenti problemi, dal punto di vista di chi deve verificare un profilo generico:

- Il problema della classificazione;
- Il problema delle verifiche di resistenza;
- Il problema delle verifiche a stabilità con particolare riguardo per lo svergolamento

### **Il problema della classificazione**

In generale la classificazione di un piatto sotto l'azione di una certa distribuzione di tensione, plastica o elastica, può essere espressa da disequazioni del tipo

$$(c/t) < f(\varepsilon)$$

dove  $c/t$  è il rapporto larghezza spessore per il piatto considerato ed  $f()$  è una opportuna funzione delle caratteristiche geometriche del profilo impiegato nonché della classe considerata. La precedente relazione può essere invertita fornendo una disequazione di questo tipo:

$$\varepsilon > g(c/t)$$

essendo  $g$  una opportuna funzione del rapporto larghezza spessore e dei dati geometrici della sezione. Ad ogni sollecitazione elementare può essere associato un valore  $\varepsilon$  di soglia oltre il quale la sezione deve essere classificata, per quella data sollecitazione, con una classe superiore. Si consideri ad esempio un profilo a T che in flessione plastica comporti, per flessione positiva, un tratto compresso pari a 0,6 volte l'altezza dell'anima ed un tratto teso pari a 0,4 volte tale altezza. In questo caso potremo scrivere per la delimitazione tra classe 2 e 3:

$$c/t < 456\varepsilon/(13x0,6-1)$$

Tale equazione può essere invertita fornendo:

$$\varepsilon > (c/t)(13x0,6-1)/456 = 0,0149(c/t)$$

ed ammettendo che  $c/t$  sia pari a 50

$$\varepsilon > 0,7456$$

Questa disequazione vuol dire che l'anima potrà essere classificata in classe 2 per flessioni positive, solo a patto che il materiale impiegato soddisfi la condizione, precedente che si traduce nella seguente:

$$\sqrt{\frac{235}{f_y}} > 0,7456$$

e quindi di fatto

$$f_y < 130,64 \frac{N}{mm^2}$$

Nel caso in cui la flessione inverta il suo segno, le precedenti considerazioni devono essere modificate come segue:

$$c/t < 456\varepsilon/(13x0,4-1)$$

$$\varepsilon > (c/t)(13x0,4-1)/456 = 0,00921(c/t) = 0,46052$$

dal che si evince che il valore di soglia per  $\varepsilon$  cambia a seconda del segno del momento flettente applicato.

Il ragionamento fatto per un piatto può essere ripetuto per tutti i piatti componenti la sezione, pervenendo infine ad una condizione che involuppi tutte le altre sempre del tipo

$$\varepsilon > \varepsilon_{M2p}$$

Pensando al momento positivo secondo l'asse 2. Analoga quantità limite per la classe 2-3 potrà essere definita per tutte le componenti di sollecitazione, in particolare per l'azione assiale ( $\varepsilon_N$ ) per il momento M2 positivo ( $\varepsilon_{M2p}$ ) e negativo ( $\varepsilon_{M2m}$ ) e per il momento M3 positivo ( $\varepsilon_{M3p}$ ) e negativo

( $\epsilon_{M3m}$ ). Tali quantità limite, tutte associate al passaggio tra la classe 2 e la classe 3 mettono in condizione il verificatore di classificare il profilo noto che sia il materiale ad esso applicato. Basterà calcolare il valore di  $\epsilon$  del materiale in questione e poi confrontare tale numero con le soglie specificate. Il problema della classificazione sotto sollecitazioni elementari viene così ad essere affrontato in modo sistematico e formale mediante la definizione del limite di snervamento dell'acciaio da usare per ottenere una certa classe.

Come è noto (se si è letto il lavoro [1]) il problema della classificazione sotto sollecitazioni miste è tutt'altro che banale ed è stato affrontato al momento solo per le sezioni ad I laminato e saldato (I ed H). Per le sezioni generiche l'algoritmo che classifica il profilo quando assoggettato ad una terna di sollecitazioni del tipo (N, M2, M3) è diverso. Per ogni sollecitazione si valuta dapprima se questa è significativa. Per essere significativa deve superare un valore di soglia che è 1/10000 dei valori limite ( $A_{fy}$  o  $W_{fy}$ ). Se la sollecitazione è significativa se ne valuta il segno e si attribuisce la classe che le compete sulla base dei valori di  $\epsilon$  di soglia specificati. Infine si classifica il profilo con la massima classe tra quelle delle sollecitazioni elementari così valutate.

### Il problema delle verifiche di resistenza

Il problema delle verifiche di resistenza per le sezioni utente consiste nell'“insegnare” al programma in che modo eseguire tali verifiche in tutti e tre i possibili casi che si possono presentare: sezione in classe 1 o 2; sezione in classe 3; sezione in classe 4.

#### Classe 1 o 2

Nel primo caso si può scegliere se adottare un dominio limite plastico linearizzato oppure no. Se il dominio plastico è di tipo non lineare, esso ricade nel formato specificato dalla norma, e richiede 20 distinti parametri per poter essere identificato. In genere molti di questi parametri sono nulli, ma taluni di essi possono assumere speciali valori da calcolarsi a mano. I parametri sono individuati da lettere comprese tra “A” e “V” secondo il formato seguente:

$$\left( \frac{M_2}{M_{N,2,Rd}} \right)^\alpha + \left( \frac{M_3}{M_{N,3,Rd}} \right)^\beta \leq 1$$

$$n = N / N_{pl,Rd}$$

$$M_{N,2,Rd} = M_{pl,2,Rd} \times [A + Bn + Cn^2]$$

$$M_{N,3,Rd} = M_{pl,3,Rd} \times [D + En + Fn^2]$$

$$\alpha = \frac{G + Hn + In^2}{L + Mn + Nn^2} > 0$$

$$\beta = \frac{P + Qn + Rn^2}{S + Tn + Un^2} > V$$

Una opportuna scelta dei parametri consente di sposare tutte le formule presenti nella normativa ed una ampia classe di domini plastici limite.

Nel caso in cui il dominio limite sia lineare la formula di verifica è la seguente:

$$\frac{N}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_2}{M_{2,pl,Rd}} + \frac{M_3}{M_{3,pl,Rd}} \leq 1$$

Se non ci fossero la torsione ed il taglio il problema potrebbe dirsi risolto. In realtà tali domini sono entrambi bisognosi di modifiche per tenere in conto la possibilità che siano applicati tagli o momenti torcenti rilevanti.

Per fare questo si deve applicare la clausola della norma che indica di usare, per le aree resistenti a taglio, una tensione ridotta al valore  $(1-\rho)f_y$ , dove  $\rho$  è un numero adimensionale funzione del livello di taglio e torsione applicati.

Purtroppo le prescrizioni di normativa sono deficitarie a riguardo della modifica da applicare alle formule che danno i domini in pressoflessione deviata, nella condizione di taglio rilevante. Si è quindi dovuta sviluppare una teoria ad hoc che abbracci il problema in modo generale. L'argomento è piuttosto vasto e non può essere trattato in questa sede se non per sommi capi.

Si definiscono dapprima i tagli plastici ridotti per tener conto della presenza della torsione:

$$V_{2,pl,T} = V_{2,pl} \sqrt{1 - \frac{M_1}{\alpha M_{1,pl}}}$$

$$V_{3,pl,T} = V_{3,pl} \sqrt{1 - \frac{M_1}{\alpha M_{1,pl}}}$$

Noti questi si possono definire i fattori  $\rho$ :

$$\rho_2 = \left( \frac{2V_2}{V_{2,pl,T}} - 1 \right)^2$$

$$\rho_3 = \left( \frac{2V_3}{V_{3,pl,T}} - 1 \right)^2$$

Se risulta  $\rho_i < 0,5$  si deve porre  $\rho_i = 0$ .

Una volta calcolati questi parametri  $\rho$  è possibile modificare le formule che danno i domini limite in questo modo:

$$\frac{N}{N_{pl,Rd}(1 - a_{v2}\rho_2 - a_{v3}\rho_3)} + \frac{M_2}{M_{2,pl,Rd}(1 - w_{2,plav2}\rho_2 - w_{2,plav3}\rho_3)} + \frac{M_3}{M_{3,pl,Rd}(1 - w_{3,plav2}\rho_2 - w_{3,plav3}\rho_3)} \leq 1$$

E per il dominio non lineare:

$$\left( \frac{M_2}{M_{N,2,Rd}} \right)^\alpha + \left( \frac{M_3}{M_{N,3,Rd}} \right)^\beta \leq 1$$

$$n = \frac{N}{N_{pl,Rd}(1 - a_{v2}\rho_2 - a_{v3}\rho_3)}$$

$$M_{N,2,Rd} = M_{2,pl,Rd} \left[ A + Bn + Cn^2 \right] (1 - w_{2,plav2}\rho_2 - w_{2,plav3}\rho_3)$$

$$M_{N,3,Rd} = M_{3,pl,Rd} \left[ D + En + Fn^2 \right] (1 - w_{3,plav2}\rho_2 - w_{3,plav3}\rho_3)$$

Dove i termini  $a_{vi}$  e  $w_{i,plavj}$  esprimono il rapporto tra le proprietà delle zone di sezione coincidenti con le aree resistenti a taglio ed i corrispondenti moduli resistenti sezionali. Pertanto:

$$a_{v2} = \frac{A_{v2}}{A}$$

$$a_{v3} = \frac{A_{v3}}{A}$$

$$w_{2,plav2} = \frac{W_{2,pl,Av2}}{W_{2,pl}}$$

$$w_{2,plav3} = \frac{W_{2,pl,Av3}}{W_{2,pl}}$$

$$w_{3,plav2} = \frac{W_{3,pl,Av2}}{W_{3,pl}}$$

$$w_{3plav3} = \frac{W_{3,pl,Av3}}{W_{3pl}}$$

Se non si vuole calcolare i  $w_{jplavi}$ , è sempre possibile adottare per essi, a favore di sicurezza, il valore 1. Se si fa così anche per gli  $avi$  si perviene alle seguenti formule semplificate che tengono in conto anche taglio e torsione:

$$\frac{N}{N_{plRd}} + \frac{M_2}{M_{2plRd}} + \frac{M_3}{M_{3plRd}} \leq (1 - \rho_2 - \rho_3)$$

E nel caso di dominio non lineare:

$$\left( \frac{M_2}{M_{N,2,Rd}} \right)^\alpha + \left( \frac{M_3}{M_{N,3,Rd}} \right)^\beta \leq 1$$

$$n = \frac{N}{N_{plRd}(1 - \rho_2 - \rho_3)}$$

$$M_{N,2,Rd} = M_{2,pl,Rd} \left[ A + Bn + Cn^2 \right] (1 - \rho_2 - \rho_3)$$

$$M_{N,3,Rd} = M_{3,pl,Rd} \left[ D + En + Fn^2 \right] (1 - \rho_2 - \rho_3)$$

### Classe 3

In questo caso occorre definire i moduli di resistenza generalizzati per un certo numero di punti sulla sezione. Da questi moduli di resistenza generalizzati sarà poi possibile calcolare le tensioni normali e le tensioni tangenziali associate al taglio ed alla torsione. Infine verrà applicata la verifica di resistenza secondo Von Mises.

Precisamente si pone in ogni punto “i”:

$$x_{2i} \quad W_{3i} = I_3 / x_{2i}$$

$$x_{3i} \quad W_{2i} = I_2 / x_{3i}$$

$At_{22}$  modulo di resistenza per calcolare la  $\tau_2$  dovuta a  $T_2$ .

$At_{32}$  modulo di resistenza per calcolare la  $\tau_2$  dovuta a  $T_3$ .

$W_{12}$  modulo di resistenza per calcolare la  $\tau_2$  dovuta a  $M_1$ .

$At_{23}$  modulo di resistenza per calcolare la  $\tau_3$  dovuta a  $T_2$ .

$At_{33}$  modulo di resistenza per calcolare la  $\tau_3$  dovuta a  $T_3$ .

$W_{13}$  modulo di resistenza per calcolare la  $\tau_3$  dovuta a  $M_1$ .



E poniamo, in ogni punto di verifica “i”:

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M_2}{I_2} x_{3i} - \frac{M_3}{I_3} x_{2i}$$

$$\tau_2 = \frac{T_2}{A_{22}} + \frac{T_3}{A_{32}} + \frac{M_1}{W_{12}}$$

$$\tau_3 = \frac{T_2}{A_{23}} + \frac{T_3}{A_{33}} + \frac{M_1}{W_{13}}$$

$$\tau = \sqrt{\tau_2^2 + \tau_3^2}$$

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} < \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Se uno dei moduli A22, A32, W12, A23, A33, W13 viene convenzionalmente posto eguale a zero la corrispondente tensione viene posta eguale a 0 (e non a infinito).

#### Classe 4

In questo caso occorre dapprima insegnare al programma quali siano i valori efficaci dell'area e dei moduli resistenti a flessione. Questi ultimi possono in generale assumere valori diversi a seconda che la flessione sia positiva o negativa. Inoltre occorre specificare le distanze con segno del baricentro della sezione efficace rispetto a quella lorda, in modo che i momento aggiuntivi siano rispettivamente:

$$\Delta M_2 = N x_{De2}$$

$$\Delta M_3 = N x_{De3}$$

E' da notare che i valori efficaci sono funzione della tensione di progetto. Essi dovranno quindi essere associati ad una certa tensione di progetto che dovrà corrispondere a quella dei profili effettivamente adottati nel modello da verificare.

In assenza di taglio e torsione le verifiche si scrivono in questo modo:

$$\frac{N}{A_{eff} f_y} + \frac{M_2 + N e_2}{W_{2eff,min} f_y} + \frac{M_3 + N e_3}{W_{3eff,min} f_y} < \frac{1}{\gamma_{M0}}$$

Il verificatore impiegherà il Weff pertinente anche in funzione del segno del momento applicato complessivamente. Si noti che tutti gli addendi devono essere positivi, e quindi la norma sottointende un valore assoluto in essa mancante.

In presenza di taglio e torsione, la verifica viene eseguita in modo semplificato con la seguente formula:

$$\frac{N}{A_{eff} f_y} + \frac{M_2 + Ne_2}{W_{2eff,min} f_y} + \frac{M_3 + Ne_3}{W_{3eff,min} f_y} < \frac{1 - \rho_2 - \rho_3}{\gamma_{M0}}$$

Dove  $p_2$  ed  $p_3$  sono stati definiti precedentemente quando si è parlato delle verifiche di resistenza in classe 1 o 2.

## 5.2. Il file Ec3data.txt

Il file EC3DATA.TXT è costituito da un insieme di blocchi che delimitano ogni forma sezionale. Ogni blocco comincia con la scheda \_EC3SHAPE e termina con la scheda \_ENDSHAPE. Sono possibili commenti, individuati da righe inizianti con “\$” oppure posti in coda a una riga di dati a cominciare da un “,”.

Prima della versione 9.60 di Sargon era necessario compilare manualmente il file. Dalla 9.60 in poi è sempre possibile gestirlo manualmente, ma la modalità più immediata e comoda è l'utilizzo del comando [Verifiche utente](#)<sup>[1146]</sup> che attraverso opportuni dialoghi aiuta l'utente nell'inserimento dei dati nel file.

**Si rimanda alla spiegazione del comando per la descrizione dei dialoghi e delle operazioni necessari a una corretta compilazione**, mentre questa sezione della guida è destinata alla comprensione dei parametri presenti nel file.

Qui di seguito si dà un esempio di file EC3DATA.TXT, che sarà anche utile per commentare le varie schede.

```

$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$
$
$
$
$      Eurocode 3      $
$
$      EN 1993-1-1:2005      $
$
$
$      USER'S SECTION DATA      $
$
$

```

```

$
$
$ This file stores section data to be used for Eurocode 3 checks. Data
$ teach solver how to perform checks within a general model which has
$ been set up by Castalia srl.
$
$
$ Card definitions:
$
$ _EC3SHAPE          name
$                      Begins a new section data block
$                      name: section name
$
$
$
$
$
$
$
$
$
$
$ _CLASSIFICATION23  epsN epsM2p epsM2m epsM3p epsM3m
$                      Limiting values of  $\epsilon_s = \sqrt{235/f_y}$  bounding
$                      from class2 to class 3 behaviour
$                      epsN : simple compression  $\epsilon_s$  limiting value;
$                      epsM2p: positive bending M2  $\epsilon_s$  lim. value;
$                      epsM2m: negative bending M2  $\epsilon_s$  lim. value;
$                      epsM3p: positive bending M3  $\epsilon_s$  lim. value;
$                      epsM3m: negative bending M3  $\epsilon_s$  lim. value;
$
$
$
$ _CLASSIFICATION34  epsN epsM2p epsM2m epsM3p epsM3m
$                      Limiting values of  $\epsilon_s = \sqrt{235/f_y}$  bounding
$                      from class3 to class 4 behaviour
$                      epsN : simple compression  $\epsilon_s$  limiting value;
$                      epsM2p: positive bending M2  $\epsilon_s$  lim. value;
$                      epsM2m: negative bending M2  $\epsilon_s$  lim. value;
$                      epsM3p: positive bending M3  $\epsilon_s$  lim. value;
$                      epsM3m: negative bending M3  $\epsilon_s$  lim. value;
$
$
$
$ _FIXEDCLASS        class
$                      Section will be computed according to this
$                      section classification, no matter limiting  $\epsilon_s$ 
$                      values. If class is 0 no forcing class will be
$                      defined (and  $\epsilon_s$  values will be used)
$
$
$
$
$
$
$ _EFFECTIVE          fd Aeff W2effp W2effm W3effp W3effm De2 De3
$                      fd: design stress for this data
$                      Aeff: effective area
$                      W2effp: effective section modulus for M2 > 0
$                      W2effm: effective section modulus for M2 < 0
$                      W3effp: effective section modulus for M3 > 0
$                      W3effm: effective section modulus for M3 < 0
$                      De2: shift in neutral axis (axis 3 direction)
$                      De3: shift in neutral axis (axis 2 direction)
$                      material  $f_y$  must match the  $f_y$  described here
$                      more than one _EFFECTIVE card may be added, at
$                      different  $f_y$  values.
$
$
$
$ _ELASTICPOINT       x2i x3i At22 At32 W12 At23 At33 W13
$                      used when section is in class 3
$                      W2i =  $J_2 / x_{3i}$ 
$                      W3i =  $J_3 / x_{2i}$ 
$                       $\sigma = N/A + M_2/W_{2i} + M_3/W_{3i}$ 
$                       $\tau_2 = T_2/At_{22} + T_3/At_{32} + M_1/W_{12}$ 
$                       $\tau_3 = T_2/At_{23} + T_3/At_{33} + M_1/W_{13}$ 
$                       $\tau = \sqrt{\tau_2^2 + \tau_3^2}$ 
$                      Von Mises =  $\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$ 
$                      if a modulus is null, related stress is 0
$                      all moduli have sign, generally
$
$ _SHEAR              av2 av3 w2plAv2 w2plAv3 w3plAv2 w3plAv3
$                      shear plastic moduli (6.2.6)

```

```

$          T,2,pl,Rd= Av2*(fy / 1.732 / gammaM0) < T2,Ed $
$          T,3,pl,Rd= Av2*(fy / 1.732 / gammaM0) < T3,Ed $
$          av2 = Av2 / A $
$          av3 = Av3 / A $
$          w2pl,Av2 = W2pl,Av2 / W2pl $
$          w2pl,Av3 = W2pl,Av3 / W2pl $
$          w3pl,Av2 = W3pl,Av2 / W3pl $
$          w3pl,Av3 = W3pl,Av3 / W3pl $
$
$ _TORSION          Wlpl a $
$          torsion plastic moduli $
$          M1,plRd= Wlpl * (fy / 1.732 / gammaM0) $
$          a: see 6.26 where a=1.25. 6.26 will be used to $
$          compute reduced shear resistance due to $
$          torsion. $
$ _PLASTICDOMAIN    kind datum1 datum2 datum3 datum4 datum5 $
$          datum6 datum7 datum8 datum9 datum10 $
$          datum11 datum12 datum13 datum14 datum15 $
$          datum16 datum17 datum18 datum19 datum20 $
$          only used if class is 1 or 2 $
$          kind: plastic domain kind $
$          1 linear, no datum used equation 6.2 $
$          2 data meaning in manual, equation 6.41 $
$
$ _BUCKLCURVE        alpha2 alpha3 $
$          imperfection factors for axis 2 and axis 3 $
$          buckling, respectively. Values different from $
$          those in the norm are allowed (e.g. alpha2=0.9) $
$          curve a0->0.13;a->0.21;b->0.34;c->0.49;d->0.76 $
$
$ _LATERALTORSIONAL  axis radius alfaLT kfl W Iw $
$
$          axis: may be 2 or 3. Bending around this axis $
$          causes lateral torsional buckling. $
$          radius: kc*Lc/radius = lambda,f (6.3.2.4) $
$          compressed part whose buckling causes $
$          lateral torsional buckling (if,z) $
$          alphaLT:imperfection factor for LT $
$          kfl: see 6.3.2.4.(2B) $
$          W: see 6.3.2.4. "Wy" $
$          Iw: warping constant. $
$
$
$ _2LATERALTORSIONAL Iz It zs zj $
$
$          Iz: second area moment relative to symm axis $
$
$          It: torsional constant $
$
$          zs: zct - zg (distance shear center-center) $
$          presently unused $
$
$          zj: non symmetry factor $
$
$
$
$ _TORFLEX          symmetry x2 x3 Iw $
$
$          symmetry: maybe 0, 2, 3, or 5. $
$          0 no symm; 2 symm axis 2; 3 symm $
$          axis 3; 5 symm axis 2 and 3 $
$
$          x2: axis 2 coordinate of shear center (y0) $
$
$          x3: axis 3 coordinate of shear center (z0) $
$
$          Iw: warping constant $
$
$
$

```



```

_ELASTICPOINT -100 -234. 6400. 0. -55750. 0. 0. 0. ; x2i x3i At22 At32 W12 At23
At33 W13
_SHEAR 0.48172 0.51828 0.70589 0.47835 0.95272 0.11218 ; av2 av3 (6.2.6) w2plAv2 w2plAv3
w3plAv2 w3plAv3
_TORSION 37772. 1.25 ; W1pl a
_PLASTICNMDOMAIN 2 1.287 -1.287 0. 0.3518 2.9063 ; kind datum1 datum2 datum3
datum4 datum5
-3.2582 2. 0. 0. 1. ; datum6 datum7
datum8 datum9 datum10
0. 0. 0. 0. 5. ; datum11
datum12 datum13 datum14 datum15
0. 1. 0. 0. 1. ; datum16 datum17 datum18 datum19
datum20
$
$ stability checks
$
_BUCKLCURVE 0.21 0.34 ; buckling
curve alpha values
_LATERALTORSIONAL 2 54.46 0.49 1.1 1991673. 1.249e12 ; axis i,f,z
alfa(curve) kfl W Iw
_2LATERALTORSIONAL 21416800. 892900. 0. 0. ; Iz It zs zj$
_TORFLEX 2 3.010e+001 0.000e+000 2.100e+008 ; 'symmetry', 'x2=y0', 'x3=z0', 'Iw'
_OTHER 16. ; tmax
$
_ENDSHAPE
$-----

```

Di seguito la descrizione del formato delle varie schede.

### **\_UNITS len for**

len indica l'unità di lunghezza e può essere “mm”, “cm”, “m”, “in” “ft” “yd”

for indica l'unità di forza e può essere “N”, “daN”, “kN”, “kg”, “t”, “lb”, “kip”

Tutti i dati successivi a questa scheda saranno interpretati usando queste unità di misura o le unità di misura derivate: Se si gestisce il file attraverso l'opportuno [comando](#)<sup>[146]</sup> di Sargon, i dati dimensionali di tutte le sezioni sono espressi nelle unità correnti del modello. L'utilizzo del comando comporta inoltre la riscrittura automatica di tutti i dati nel file EC3DATA.txt con la loro conversione in N, mm e unità derivate.

### **\_EC3SHAPE name**

Name nome del profilo (sono consentiti gli spazi). Il nome non può essere più lungo di 19 caratteri

Questa scheda apre il blocco di dati relativo ad un profilo. Se si gestisce il file attraverso l'opportuno [comando](#)<sup>[1146]</sup> di Sargon, questa scheda viene compilata automaticamente in base al nome della sezione scelta.

## **\_ENDSHAPE**

Questa scheda chiude il blocco di dati relativo a un profilo. Se si gestisce il file attraverso l'opportuno [comando](#)<sup>[1146]</sup> di Sargon, questa scheda viene compilata automaticamente.

## **\_CLASSIFICATION23 epsN epsM2p epsM2m epsM3p epsM3m**

epsN	numero reale
epsM2p	numero reale
epsM2m	numero reale
epsM3p	numero reale
epsM3m	numero reale

Questa scheda, gestita dalla property page [Classificazione](#)<sup>[1148]</sup>, definisce i valori limite che la  $\varepsilon$  del materiale deve soddisfare per considerare il profilo in classe 2, sotto l'azione di: una compressione semplice (epsN); un momento M2 positivo (epsM2p); un momento M2 negativo (epsM2m); un momento M3 positivo (epsM3p); un momento M3 negativo (epsM3m). Ricordiamo qui la definizione di  $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

dove  $f_y$  è la tensione di snervamento del materiale adottato in N/mm<sup>2</sup>. Se risulta  $\varepsilon$  minore dei valori di soglia indicati allora la classe associata al tipo di sollecitazione indicato è la 3, altrimenti la classe è assunta pari a 2.

**\_CLASSIFICATION34 epsN epsM2p epsM2m epsM3p epsM3m**

epsN	numero reale
epsM2p	numero reale
epsM2m	numero reale
epsM3p	numero reale
epsM3m	numero reale

Questa scheda, gestita dalla property page [Classificazione](#)<sup>1148</sup>, definisce i valori limite che la  $\varepsilon$  del materiale deve soddisfare per considerare il profilo in classe 3, sotto l'azione di: una compressione semplice (epsN); un momento M2 positivo (epsM2p); un momento M2 negativo (epsM2m); un momento M3 positivo (epsM3p); un momento M3 negativo (epsM3m). Ricordiamo qui la definizione di  $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

dove  $f_y$  è la tensione di snervamento del materiale adottato in N/mm<sup>2</sup>. Se risulta  $\varepsilon$  minore dei valori di soglia indicati allora la classe associata al tipo di sollecitazione indicato è la 4, altrimenti la classe è assunta pari a 3.

**\_FIXEDCLASS class**

class            numero compreso tra 0 e 4.

Questa scheda, gestita dalla property page [Classificazione](#)<sup>1148</sup>, forza il verificatore a classificare il profilo con una certa classe, indicata dal numero, indipendentemente dalle sollecitazioni applicate e/o dal materiale utilizzato. Se il numero è 0 tale opzione non risulta attivata.

**\_PLASTICNMDOMAIN      kind datum1 datum2 datum3 datum4 datum5  
 datum6 datum7 datum8 datum9 datum10  
 datum11 datum12 datum13 datum14 datum15  
 datum16 datum17 datum18 datum19 datum20**



kind 1 dominio lineare, 2 dominio non lineare

datum1	A	parametro reale
datum2	B	parametro reale
datum3	C	parametro reale
datum4	D	parametro reale
datum5	E	parametro reale
datum6	F	parametro reale
datum7	G	parametro reale
datum8	H	parametro reale
datum9	I	parametro reale
datum10	L	parametro reale
datum11	M	parametro reale
datum12	N	parametro reale
datum13	O	parametro reale
datum14	P	parametro reale
datum15	Q	parametro reale
datum16	R	parametro reale
datum17	S	parametro reale
datum18	T	parametro reale
datum19	U	parametro reale
datum20	V	parametro reale

Questa scheda è gestita dalla property page [Valori plastici \(1\)](#)<sup>1150</sup>.

Se kind è eguale a 1 la verifica di resistenza viene condotta con un dominio limite semplificato lineare del tipo:

$$\frac{N}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_2}{M_{2,pl,Rd}} + \frac{M_3}{M_{3,pl,Rd}} \leq 1$$

Se invece kind è eguale a 2, allora la verifica è di questo tipo:

$$\left( \frac{M_2}{M_{N,2,Rd}} \right)^\alpha + \left( \frac{M_3}{M_{N,3,Rd}} \right)^\beta \leq 1$$

n= N / Npl,Rd

$$MN_{2,Rd} = M_{pl,2,Rd} \times [A + B_n + C_n^2]$$

$$MN_{3,Rd} = M_{pl,3,Rd} \times [D + E_n + F_n^2]$$

$$\alpha = \frac{G + H_n + I_n^2}{L + M_n + N_n^2} > 0$$

$$\beta = \frac{P + Q_n + R_n^2}{S + T_n + U_n^2} > V$$

Dove i parametri da A a V (in tutto 20) devono essere stabiliti dall'utente.

**\_SHEAR    av2   av3   av2'   av3'   w2plav2'   w2plav3'   w3plav2'   w3plav3'**

av2	rapporto tra il modulo di resistenza al taglio V2 e l'area totale: $av2 = Av2/A$
av3	rapporto tra il modulo di resistenza al taglio V3 e l'area totale: $av3 = Av3/A$
av3'	rapporto tra l'area resistente al taglio V2 e l'area totale: $av2' = Av2'/A$ (solo NTC)
av3'	rapporto tra l'area resistente al taglio V3 e l'area totale: $av3' = Av3'/A$ (solo NTC)
w2plav2'	rapporto tra il modulo di resistenza plastico per flessioni attorno all'asse 2 dell'area resistente a taglio Av2' ed il modulo di resistenza plastico complessivo: $w2plAv2' = W2plAv2'/Wpl2$
w2plav3'	rapporto tra il modulo di resistenza plastico per flessioni attorno all'asse 2 dell'area resistente a taglio Av3' ed il modulo di resistenza plastico complessivo: $w2plAv3' = W2plAv3'/Wpl2$
w3plav2'	rapporto tra il modulo di resistenza plastico per flessioni attorno all'asse 3 dell'area resistente a taglio Av2' ed il modulo di resistenza plastico complessivo: $w3plAv2' = W3plAv2'/Wpl3$
w3plav3'	rapporto tra il modulo di resistenza plastico per flessioni attorno all'asse 3 dell'area resistente a taglio Av3' ed il modulo di resistenza plastico complessivo: $w3plAv3' = W3plAv3'/Wpl3$

*Nota: Av è il modulo di resistenza al taglio indicato sia nell'EN1993-1-1 che nelle NTC: ad Av corrisponde, nel file EC3data.txt, il valore adimensionalizzato av. Nelle NTC viene inoltre utilizzato il simbolo Av\* che è l'area resistente al taglio, cioè quella porzione dell'area totale fisicamente coinvolta nella resistenza a taglio, utilizzata nelle verifiche con sollecitazioni miste. Poichè nelle NTC ad Av\* corrisponde il valore adimensionalizzato av senza asterisco, qui già utilizzato come*

adimensionalizzazione di  $A_v$ , nel file *EC3data.txt* si è scelto di utilizzare questa convenzione: i simboli presenti **solo nelle NTC sono indicati con l'apostrofo**; nella tabella seguente sono riportate le corrispondenze tra i simboli adottati nel file *EC3data.txt* e quelli riportati nelle normative.

Significato	EC3data.txt	Eurocodice	NTC
modulo resistente a taglio	$A_v$	$A_v$	$A_v$
modulo res. a taglio diviso area totale	$a_v$	non definito	non definito
area resistente a taglio	$A_v'$	-	$A_v^*$
area res. a taglio diviso area totale	$a_v'$	-	$a_v$

Questi termini consentono di eseguire una verifica di resistenza in ambito plastico. I moduli di resistenza a taglio e le aree resistenti a taglio si ottengono dai corrispondenti numeri adimensionali moltiplicandoli per l'area del profilo. I termini *wiplavi'* possono essere posti, a favore di sicurezza, eguali ad 1 (la riduzione del modulo plastico viene fatta su tutta la sezione). Verifiche più raffinate possono essere condotte assegnando a questi numeri il loro reale valore. In questo modo il depauperamento dovuto alla presenza del taglio non verrà associato alla intera sezione ma solo alla area di taglio associata al taglio considerato. Tale regola è coerente con quella prescritta in Eurocodice, che richiede di assumere una tensione di snervamento ridotta  $(1-\rho)f_y$  per l'area di taglio. Questa scheda è gestita dalla property page [Valori plastici \(2\)](#)<sup>[151]</sup>.

## **\_TORSION W1pl a**

**W1pl** è il modulo di resistenza plastico a torsione

**a** è il numero reale che compare nella formula 6.26 di normativa con il valore 1,25. Può essere posto eguale a 1 a favore di sicurezza

Questa scheda è gestita dalla property page [Valori plastici \(2\)](#)<sup>[151]</sup> e consente di eseguire le verifiche a torsione e di valutare (tramite **a**) il taglio ridotto a causa della presenza della torsione.

## **\_ELASTICPOINT x2i x3i At22 At32 W12 At23 At33 W13**

**X2i** coordinata  $x_2$  del punto  $i$  considerato

X3i	coordinata x3 del punto i considerato
At22	modulo resistente a taglio per taglio V2, direzione 2: $\tau_2 = V_2/At_{22}$
At32	modulo resistente a taglio per taglio V3, direzione 2: $\tau_2 = V_3/At_{32}$
W12	modulo resistente a torsione, direzione 2: $\tau_2 = M_1/W_{12}$
At23	modulo resistente a taglio per taglio V2, direzione 3: $\tau_3 = V_2/At_{23}$
At33	modulo resistente a taglio per taglio V3, direzione 3: $\tau_3 = V_3/At_{33}$
W13	modulo resistente a torsione, direzione 3: $\tau_3 = M_1/W_{13}$

Questi moduli di resistenza, in generale dotati di segno, vengono impiegati per le verifiche di resistenza di profili considerati in classe 3. Quando il modulo di resistenza è nullo è nulla anche la corrispondente tensione. Le verifiche di resistenza vengono condotte sommando tutte le  $\tau$  in una direzione, le  $\tau$  nell'altra direzione, calcolando la  $\tau$  risultante ed infine applicando la formula di Von Mises. Questa scheda è gestita dalla property page [Valori elastici](#)<sup>[1152]</sup>.

#### **\_EFFECTIVE fd Aeff W2effp W2effm W3effp W3effm De2 De3**

fd	tensione di progetto da associare ai dati forniti nel seguito ( $f_y/\gamma_{M0}$ )
Aeff	area efficace
W2effp	modulo di resistenza per flessioni attorno all'asse 2 momento positivo
W2effm	modulo di resistenza per flessioni attorno all'asse 2 momento negativo
W3effp	modulo di resistenza per flessioni attorno all'asse 2 momento positivo
W3effm	modulo di resistenza per flessioni attorno all'asse 2 momento negativo
De2	traslazione del baricentro sotto azione assiale di compressione $\Delta M_2 = N \times De_2$
De3	traslazione del baricentro sotto azione assiale di compressione $\Delta M_3 = N \times De_3$

Questa scheda, gestita dalla property page [Valori efficaci](#)<sup>[1153]</sup>, definisce le caratteristiche efficaci ed è tipicamente da usare per le verifiche di sezioni in classe 4. Perché il programma possa verificare, la tensione di snervamento indicata deve effettivamente corrispondere a quella associata alla sezione indicata nel modello all'esame. Si noti che il programma usa una formula lievemente diversa da quella di normativa in quanto associa ciascun modulo efficace al segno della corrispondente azione flettente,

tenendo quindi conto del fatto che il modulo efficace può mutare invertendo il segno della sollecitazione flettente.

### **\_BUCKLCURVE    alpha2    alpha3**

alpha2            parametro di imperfezione associato allo sbandamento per flessioni attorno all'asse 2

alpha3            parametro di imperfezione associato allo sbandamento per flessioni attorno all'asse 3

Questi parametri di imperfezione devono valere:

0,13            per la curva a0

0,21            per la curva a

0,34            per la curva b

0,49            per la curva c

0,76            per la curva d

Questa scheda è gestita dalla property page [Instabilità<sup>\[1155\]</sup>](#) e determina le verifiche a stabilità (escluso lo svergolamento).

Il programma consente, tuttavia, anche di specificare valori diversi da questi, ove specifiche esigenze di verifica lo richiedano. Il parametro di imperfezione può essere definito mediante un valore intermedio tra quelli di due curve o maggiore di quello della curva d. Si sconsiglia di adoperare valori non normati se non si è ben certi di ciò che si sta facendo.

### **\_LATERALTORSIONAL axis i,f,z    alphaLT    kfl    W    Iw**

Axis            può valere 2 o 3: è l'asse di flessione che causa lo svergolamento

Ifz            è il raggio di inerzia della piattabanda compressa

alphaLT        è il fattore di imperfezione della curva di stabilità da adottare

kc=kfl        è un coefficiente che mitiga la severità della verifica

W            è il modulo di resistenza da associare alla flessione per il calcolo della tensione di compressione nella piattabanda compressa

Iw            è la costante di ingobbamento

Nella verifica a svergolamento le sezioni utente utilizzano il metodo della piattabanda equivalente compressa (par. 6.3.2.4. della norma). Tutti i dati forniti in questa scheda servono a questa verifica ad eccezione della costante di ingobbamento che serve per valutare  $N_{crT}$  nella formula per  $C_{mLT}$  del metodo 1 (cfr. tabella A.1). E' possibile porre un valore 0 per la costante di ingobbamento. Questa scheda é gestita dalla property page [Instabilità](#)<sup>[1155]</sup>.

## \_2LATERALTORSIONAL Iz It zs zj

Iz	il momento di inerzia attorno all'asse di simmetria
It	il momento di inerzia torsionale
zs	z <sub>ct</sub> - z <sub>g</sub>
zj	indice di non simmetria

Questi dati, gestiti dalla property page [Instabilità](#)<sup>[1155]</sup>, servono a calcolare il momento critico secondo la formula canonica per sezioni aventi un asse di simmetria (cfr. ad esempio ENV 1993-1-1 appendice F, [F2]). In effetti, se e solo se viene aggiunta la scheda "\_2LATERALTORSIONAL", allora il momento critico non verrà calcolato con il metodo della piattabanda compressa, bensì con la formula teorica seguente:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(kL)^2} \left\{ \left[ k^2 \frac{I_w}{I_z} + k^2 \frac{GI_t}{\pi^2 EI_z} + z_j^2 \right]^{0.5} + z_j \right\}$$

nella quale Iz, It, e zj sono letti nella scheda "\_2LATERALTORSIONAL", mentre Iw è letto nella scheda "\_LATERALTORSIONAL". k è il β1. Si è fatta l'ipotesi che il carico sia applicato nel centro di taglio (z<sub>g</sub>=0) e che C3 sia eguale ad 1. E' da notare che le quantità Iw e zj sono fornite da Sargon per alcune forme sezionali (bottoni **Dettagli** del dialogo della forma sezionale formata a freddo) e dovranno essere riportate manualmente nel file EC3DATA.TXT. In caso di doppia simmetria zs e zj sono nulli. L'asse attorno al quale la flessione provoca lo svergolamento è specificato nella scheda "LATERALTORSIONAL" e può essere il 2 o il 3. Se nonostante sia presente la scheda "\_2LATERALTORSIONAL" non si vuole calcolare il momento critico con la formula canonica, ma usare il metodo della piattabanda compressa, basta porre eguale a zero Iz o It.

**\_TORFLEX symmetry y0 z0 Iw**

symmetry	codice che dice se la sezione è simmetrica. 0: non simmetrica; 2: simmetrica rispetto all'asse 2; 3 simmetrica rispetto all'asse 3; 5 doppiamente simmetrica (assi 2 e 3). Si ricorda che asse 2 = asse y; asse 3: asse z.
y0	distanza con segno tra il baricentro e il centro di taglio lungo l'asse 2 (asse y).
z0	distanza con segno tra il baricentro e il centro di taglio lungo l'asse 3 (asse z).
Iw	costante di ingobbamento

Questi dati, gestiti dalla property page [Instabilità](#)<sup>[1155]</sup>, servono a calcolare l'azione assiale critica per instabilità torsionale (T) o torsoflessionale (TF) secondo la formula canonica per sezioni aventi un asse di simmetria (cfr. ad esempio EN 1993-1-3, e si veda [la sezione](#)<sup>[1376]</sup> dedicata alle verifiche a instabilità torsionale e flesso-torsionale). In effetti, se e solo se viene aggiunta la scheda "\_TORFLEX", allora l'azione assiale critica  $N_{cr,T}$  verrà calcolata, altrimenti no. Essa non verrà calcolata anche nel caso in cui symmetry = 0. In tal caso le verifiche a instabilità per azione assiale terranno conto solo della instabilità flessionale (euleriana).

Il carico critico  $N_{cr,T}$  viene calcolato con la formula teorica seguente:

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \left( GI_t + \frac{\pi^2 EI_w}{l_T^2} \right)$$

$$i_0^2 = i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2$$

nella quale  $y_0$ ,  $z_0$ , e  $I_w$  sono letti nella scheda "\_TORFLEX". I raggi di inerzia  $i_y$  ed  $i_z$  si riferiscono agli assi principali 2 e 3 rispettivamente ( $i_y = i_2$ ,  $i_z = i_3$ ).  $I_t$  è il momento di inerzia torsionale primario e  $l_T$  è identica alla lunghezza di libera inflessione per svergolamento, dominata dal coefficiente  $\beta_1$ .

Se la simmetria è doppia (symmetry = 5) allora  $N_{cr,TF} = N_{cr,T}$ . In caso contrario, nella ipotesi in cui l'asse di simmetria sia l'asse y (o asse principale 2), la formula per  $N_{cr,TF}$  è la seguente:

$$N_{cr,TF} = \frac{N_{cr,y}}{2\beta} \left( 1 + \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}} - \sqrt{\left( 1 - \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}} \right)^2 + 4 \left( \frac{y_0}{i_0} \right)^2 \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,y}}} \right)$$

$$\beta = 1 - \left( \frac{y_0}{i_0} \right)^2$$

nella quale  $N_{cr,y}$  è il carico critico per instabilità flessionale attorno all'asse y (asse 2, di simmetria). Si noti che se y (2) è di simmetria allora  $z_0=0$ .

Se invece la simmetria è relativa all'asse z (o asse 3, symmetry = 3), le formule diventano le seguenti:

$$N_{cr,TF} = \frac{N_{cr,z}}{2\beta} \left( 1 + \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,z}} - \sqrt{\left( 1 - \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,z}} \right)^2 + 4 \left( \frac{z_0}{i_0} \right)^2 \frac{N_{cr,T}}{N_{cr,z}}} \right)$$

$$\beta = 1 - \left( \frac{z_0}{i_0} \right)^2$$

## \_OTHER

## tmax

tmax

spessore massimo dei piatti costituenti il profilo

Questo dato, gestito dalla property page [Altro](#)<sup>1157</sup>, consente se necessario di ridurre la tensione di snervamento del materiale (spessori maggiori di 40mm).

## 5.3

## Esempio di aggiunta di una sezione al file: IPE500

### IPE500

h=500mm

b=200mm

tw=10.2mm

tf=16mm

r=21mm

A= 11552mm<sup>2</sup>

J2= 481985120mm<sup>4</sup>

J3= 21416800 mm<sup>4</sup>

Wpl2= 2194120 mm<sup>3</sup>



$$W_{pl3} = 335880 \text{ mm}^3$$

## Classificazione

### Flangia

$$c/t_f = (200 - 10.2 - 21 - 21) \cdot 0.5 / 16 = 4.61$$

In compressione:

$$\epsilon_{N23} = (c/t_f) / 10 = 0.461$$

$$\epsilon_{N34} = (c/t_f) / 14 = 0.329$$

In flessione M2

$$\epsilon_{M223} = (c/t_f) / 10 = 0.461$$

$$\epsilon_{M234} = (c/t_f) / 14 = 0.329$$

In flessione M3

$$\epsilon_{M323} = (c/t_f) / 10 = 0.461$$

$$\epsilon_{M334} = (c/t_f) / 14 = 0.329$$

### Anima

$$c/t_w = (500 - 32 - 42) / 10.2 = 41.76$$

In compressione:

$$\epsilon_{N23} = (c/t_w) / 38 = 1.099$$

$$\epsilon_{N34} = (c/t_w) / 42 = 0.994$$

In flessione M2

$$\text{epsM223} = (c/tw)/83 = 0.503$$

$$\text{epsM234} = (c/tw)/124 = 0.336$$

In flessione M3

Indefinito

Pertanto concludo

$$\text{epsN23} = \max(0.461, 1.099) = 1.099$$

$$\text{epsM223} = \max(0.461, 0.503) = 0.503$$

$$\text{epsM323} = \max(0.461, -) = 0.461$$

$$\text{epsN34} = \max(0.329, 0.994) = 0.994$$

$$\text{epsM234} = \max(0.329, 0.336) = 0.336$$

$$\text{epsM334} = \max(0.329, 0.994) = 0.994$$

Pertanto

Se	$\varepsilon > 1.099$	classe in compressione N	2 o 1
Se	$\varepsilon > 0.503$	classe in flessione M2	2 o 1
Se	$\varepsilon > 0.461$	classe in flessione M3	2 o 1

Se	$\varepsilon > 0.994$	classe in compressione N	3
Se	$\varepsilon > 0.336$	classe in flessione M2	3
Se	$\varepsilon > 0.994$	classe in flessione M3	3

Se	$\varepsilon < 0.994$	classe in compressione N	4
Se	$\varepsilon < 0.336$	classe in flessione M2	4
Se	$\varepsilon < 0.994$	classe in flessione M3	4

### Caratteristiche efficaci (S275)

$$\varepsilon = \sqrt{235/275} = 0.924$$

Classe in compressione: 4                      De2=De3=0

Classe per M2: 1

Classe per M3: 4

Sotto azione assiale e momento M3 l'anima si parzializza nel tratto centrale per una lunghezza pari a  $b_{eff}$ . Sotto M2 il profilo resta interamente reagente. Quindi sotto M2 i  $W$  efficaci coincidono con quelli elastici. La variazione di  $W$  sotto M3 è trascurabile (perché la parzializzazione riguarda l'anima). Resta pertanto da calcolare l'area efficace per sottrazione. Non vi è spostamento di baricentro in questo caso.

$$k\sigma = 4$$

$$\bar{\lambda}_P = \frac{\frac{b_P}{t}}{28,4 \varepsilon \sqrt{k_\sigma}} = \frac{500 - 32 - 42}{28,4 \times 0,924 \times 2} = 0,79577$$

$$\rho = \frac{\lambda_P - 0,22}{\lambda_P^2} = 0,9092$$

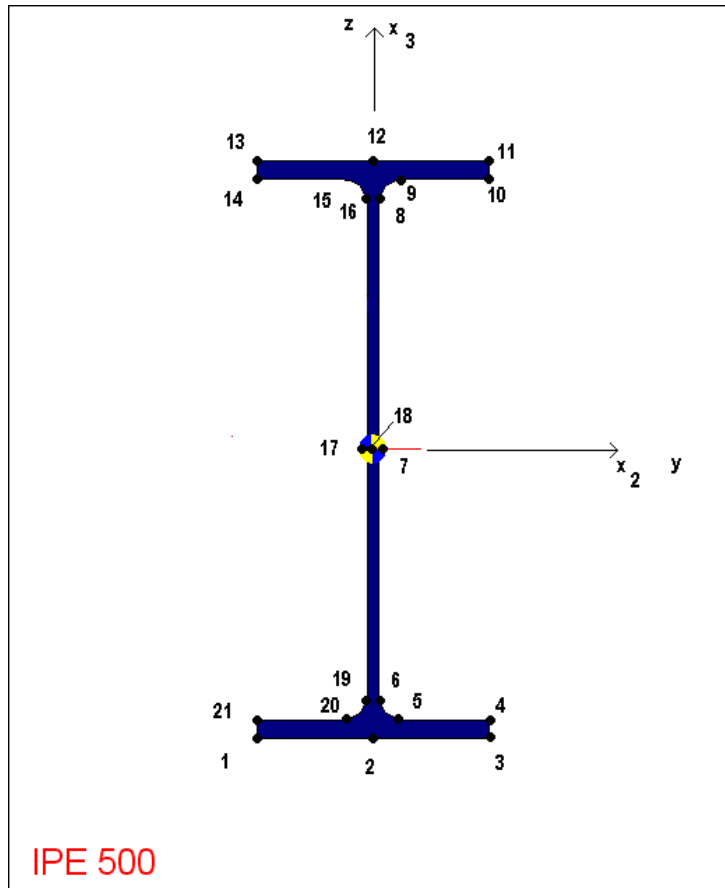
$$h_{eff} = (1 - 0,9092) \times 426 = 38,68$$

$$A_{eff} = A - t \times h_{eff} = 11552 - 10,2 \times 38,68 = 11157 \text{ mm}^2.$$

$$W_{2effp} = W_{2effm} = W_2 = 1\,927\,940 \text{ mm}^3.$$

$$W_{3effp} = W_{3effm} = W_3 = 214\,170 \text{ mm}^3.$$

## Punti elastici



Il calcolo dei moduli di resistenza viene eseguito in 21 punti come da immagine allegata.

Per quanto riguarda la flessione il programma chiede le coordinate rispetto al sistema di riferimento principale tenendo presente che  $x_2$  è misurata lungo l'asse 2 (e quindi corrisponde alla  $y$  dei disegni in Eurocodice 3) mentre  $x_3$  è misurata lungo l'asse 3 e quindi corrisponde alla  $z$  dei disegni dell'Eurocodice 3.

Per il taglio si invoca una redistribuzione (cosa consentita) e quindi si assume una  $\tau$  diretta come l'asse 2 e costante sulle ali, diretta come l'asse 3 e costante nell'anima. Il modulo di resistenza è dato dalla somma delle aree delle ali e dall'area dell'anima (con l'altezza totale).

Per la torsione si ipotizza una distribuzione lineare nello spessore con valore nullo nel punto medio dello stesso spessore. Il modulo di resistenza di un piatto di spessore  $t$  si ottiene da  $Jt/t$ , e quindi per l'anima  $892900/10.2=87450\text{mm}^3$ , mentre per le ali  $892000/16=55750\text{mm}^3$ .

I segni dipendono dal corrispondente segno della tensione nel sistema di riferimento principale. Sono positive le trazioni e le tensioni tangenziali nel verso positivo degli assi.

In definitiva la tabella dei numeri da introdurre è la seguente (tutti i dati in mm, mm<sup>2</sup> o mm<sup>3</sup>):

Punto	X2i	X3i	At22	At32	W12	At23	At33	W13
1	-100	-250	6400	0	55750	0	0	0
2	0	-250	6400	0	55750	0	5100	0
3	100	-250	6400	0	55750	0	0	0
4	100	-234	6400	0	-55750	0	0	0
5	20.1	-234	6400	0	-55750	0	0	0
6	5.1	-213	0	0	0	0	5100	87450
7	5.1	0	0	0	0	0	5100	87450
8	5.1	213	0	0	0	0	5100	87450
9	20.1	234	6400	0	55750	0	0	0
10	100	234	6400	0	55750	0	0	0
11	100	250	6400	0	-55750	0	0	0
12	0	250	6400	0	-55750	0	5100	0
13	-100	250	6400	0	-55750	0	0	0
14	-100	234	6400	0	55750	0	0	0
15	-20.1	234	6400	0	55750	0	0	0
16	-5.1	213	0	0	0	0	5100	-87450
17	-5.1	0	0	0	0	0	5100	-87450
18	0	0	0	0	0	0	5100	-87450
19	-5.1	-213	0	0	0	0	5100	0
20	-20.1	-234	6400	0	-55750	0	0	0
21	-100	-234	6400	0	-55750	0	0	0

### Aree di taglio (per il calcolo plastico)

Per questo profilo in accordo all'Eurocodice 3 si ha:

$$A_{v3} = 11552 - 2 \cdot 200 \cdot 16 + (10,2 + 2 \cdot 21) \cdot 16 = 5987,2 \text{ mm}^2.$$

Per quanto riguarda l'area per taglio parallelo alle ali, in mancanza di specificazioni:

$$A_{v2} = 11552 - 5987,2 = 5564,8 \text{ mm}^2.$$

Da cui

$$av2 = 5564,8 / 11552 = 0,48172$$

$$av3 = 0,51828$$

Il calcolo dei w viene eseguito ipotizzando che Av2 coincida con le ali ed Av3 coincida con la quantità definita dalla norma come  $(A - 2btf + (tw + 2r)tf)$  ovvero la sezione totale depurata dei quattro monconi d'ala di area  $(0,5b - 0,5tw - r)tf$ .

$$w2,pl,Av2 = 2 \times 200 \times 16 \times (250 - 8) / 2194120 = 0,70589$$

$$w2,pl,Av3 = [2194120 - 2 \times 16 \times (200 - 2 \times 21 - 10,2) \times (250 - 8)] / 2194120 = 0,47835$$

$$w3,pl,Av2 = 2 \times 200 \times 16 \times (200 / 4) / 335880 = 0,95272$$

$$w3,pl,Av3 = [335880 - 4 \times 16 \times (100 - 5,1 - 21)(50 + 2,55 + 10,5)] / 335880 = 0,11218$$

Si noti come tali valori risultino, anche talvolta significativamente, minori di 1.

### Torsione (per il calcolo plastico)

Il momento resistente plastico può essere ottenuto da:

$$M1pl = 2 \times 200 \times 16 \times [fy / \sqrt{3}] \times 16 / 4 + (500 - 16 \times 2) \times 10,2 \times [fy / \sqrt{3}] \times 10,2 / 4 = 37772 [fy / \sqrt{3}]$$

E quindi

$$W1pl = 37772 \text{ mm}^3$$

## Dominio plastico

### Calcolo dei momenti ridotti

Il modello è

$$M_{N,i,Rd} = M_{pl,i,Rd} \times [A + B_n + C_n^2]$$

Dove per definizione

$$n = N / N_{pl,Rd}$$

Nel caso dei profili IPE si sposa la formula di normativa ponendo:

**per i=y=asse2:**

$$(1-n)/(1-0,5a) = [A + B_n + C_n^2]$$

Essendo

$$a = (A - 2b_{tf})/A = (11552 - 2 \times 200 \times 16) / 11552 = 0.446$$

E quindi

$$A = 1 / (1 - 0,5a) = 1,287$$

$$B = -1 / (1 - 0,5a) = -1,287$$

$$C = 0$$

**Per i=z=asse 3**

$$1 - [(n-a)/(1-a)]^2 = [D + E_n + F_n^2]$$

E con un pò di conti si vede che deve essere

$$D = (1 - 2a) / (1 - a)^2 = 0,3518$$

$$E = 2a / (1 - a)^2 = 2,9063$$

$$F = -1 / (1 - a)^2 = -3,2582$$

## Determinazione di $\alpha$ e $\beta$

Il modello prevede (6.41):

$$\alpha = \frac{G + Hn + In^2}{L + Mn + Nn^2} > O$$

$$\beta = \frac{P + Qn + Rn^2}{S + Tn + Un^2} > V$$

Nel caso di una ipe 500 deve essere

$$\alpha=2$$

$$\beta=5n > 1$$

E quindi:

$$G=2$$

$$H=0$$

$$I=0$$

$$L=1$$

$$M=0$$

$$N=0$$

$$O=0$$

$$P=0$$

$$Q=5$$

$$R=0$$

$$S=1$$

$$T=0$$

$$U=0$$

$$V=1$$



## Curve di stabilità

Curva per asse 2: a  $\alpha=0.21$

Curva per asse 3: b  $\alpha=0.34$

## Comportamento a svergolamento

Si assume il raggio di inerzia della piattabanda compressa.

$$h_1 = 500 - 16 \times 2 - 21 \times 2 = 426$$

$$I_f = 0,5 \cdot [I_3 - (1/12)(10,23 \cdot 426)] = 0,5 \cdot [I_3 - 37672,9] = 0,5 \cdot [21416800 - 37672,9] = 10\,689\,563 \text{ mm}^4.$$

$$A_f = 0,5 \cdot (11552 - 426 \cdot 10,2) = 3603,4$$

$$i_f = \sqrt{10\,689\,563 / 3603,4} = 54,46 \text{ mm}$$

Come curva di stabilità si adotta la curva c e quindi  $\alpha_{LT}=0.49$

Il coefficiente riduttivo  $k_{fl}$  (6.3.2.4.(2)) viene posto eguale a 1,1.


Il modulo di resistenza della flangia si ottiene moltiplicando il modulo di resistenza della sezione per il rapporto tra la semialtezza ed il braccio ridotto:

$$W = 1927940 \times 250 / (250 - 8) = 1991673$$

La costante di ingobbamento è pari a:

$$I_w = 1,249 \times 10^{12} \text{ mm}^6$$

## 6 Il tracciamento dei calcoli

Data la complessità dei calcoli da eseguire e le differenti possibili strategie di calcolo possibili, il verificatore è stato dotato di una importante funzionalità che consente di “tracciare” i calcoli svolti, ottenendo un file nel quale non solo gli indici di sfruttamento ma anche tutti i risultati intermedi siano disponibili (vedasi il [dialogo](#)  opportuno). La funzionalità va intesa come uno strumento aggiuntivo da impiegare in casi particolari. In alternativa è possibile, a prezzo di tabulati anche molto estesi e di tempi di calcolo sensibilmente superiori, produrre il tabulato come ulteriore documentazione del lavoro.

Il tracciamento produce un file con nome “modello.eur.txt” che usa imprescindibilmente i N ed i mm come unità di misura (nonché le unità derivate).

## 7 L'uso di checksolvers

Il programma checksolvers è stato ampliato per consentire di eseguire controlli di elaborazione anche sul verificatore in accordo all'Eurocodice 3. Le nuove schede sono:

<b>_TRES</b>	<b>COM</b>	<b>TNUM</b>	<b>CASE</b>	<b>KIND</b>	<b>TARGET</b>
<b>_TSTAC</b>	<b>OM</b>	<b>TNUM</b>	<b>CASE</b>	<b>KIND</b>	<b>TARGET</b>
<b>_BRES</b>	<b>COM</b>	<b>BNUM</b>	<b>CASE</b>	<b>KIND</b>	<b>TARGET</b>
<b>_BSTAC</b>	<b>OM</b>	<b>BNUM</b>	<b>CASE</b>	<b>KIND</b>	<b>TARGET</b>

In cui CASE è il numero della combinazione, BNUM e TNUM sono il numero di elemento, KIND è il tipo di controllo (generalmente “CROSS”) e TARGET è il numero obiettivo. La scheda TRESOM va a leggere il valore del massimo indice di sfruttamento a resistenza per elementi truss nella combinazione considerata; la scheda BRESOM fa lo stesso ma per elementi beam. La scheda BSTACOM va a controllare l'indice di sfruttamento a stabilità per elementi beam. La scheda TSTACOM lo fa per elementi truss.

Tale funzionalità è molto importante poiché consente, ad ogni versione, di eseguire delle verifiche sulla bontà della elaborazione su un certo gruppo di casi test che siano stati messi a punto. Anche ciascun utente può, a sua discrezione, mettere a punto casi di prova.

Castalia srl ha messo a punto circa 100 casi test sul verificatore in accordo ad Eurocodice 3. Tali casi test sono consegnati insieme con il programma. La determinazione dei valori obiettivo è stata fatta con un lungo e attento lavoro che è confluito nelle schede di validazione.

## 8 Le schede di validazione

Il lavoro di sviluppo e di attento studio della normativa ha portato, tra l'altro, alla creazione di ben 100 schede di validazione, ovvero alla analisi di 100 diverse situazioni di progetto e verifica relative sia alla resistenza che alla stabilità. Tale lavoro rappresenta un risultato di primissima importanza poiché costituisce una messe considerevole di dati a disposizione sia degli utenti che di un pubblico più ampio (ad esempio i Clienti degli utilizzatori del programma). Ad oggi non risulta siano disponibili schede di questo tipo relative alla norma EN 1993, per lo meno in Italia.

Ben consapevoli della importanza della messa a punto di un simile insieme di test (i quali tra l'altro hanno consentito di approfondire notevolmente il testo della norma, nonché di coglierne numerosi limiti) si è deciso di far afferire queste 100 schede di validazione all'interno di una vera e propria pubblicazione ([2]). Per questo motivo, sino alla pubblicazione di dette schede all'interno di tale pubblicazione, queste schede di validazione non sono inserite nella documentazione del programma: esse saranno rese disponibili all'interno della documentazione del programma una volta che siano state ufficialmente pubblicate.

Al momento le schede disponibili sono 100, delle quali 50 si riferiscono a verifiche di resistenza e 50 a verifiche a stabilità. Sono indagati sia il metodo 1 che il metodo 2 con una vasta gamma di profili. Ogni scheda presenta i dati di partenza, alcuni dei più importanti dati intermedi e gli indici di sfruttamento finali, così come sono stati calcolati a mano o mediante fogli Excel. Questi risultati sono poi comparati, con pieno successo, con quelli forniti dal programma. Non appena la paternità del lavoro non potrà più essere oggetto di discussione, e quindi dopo la pubblicazione formale, le schede saranno anche posizionate nel sito internet di Castalia.

## Bibliografia

- [1] Rugarli P. “La classificazione delle sezioni. Commento ad Eurocodice 3”, EPC LIBRI, 2007
- [2] Rugarli P. “Software di calcolo di travi in accordo ad EN1993-1-1”, EPC LIBRI, 2008 (*in stesura*)
- [3] Rugarli P. “Commento generale ad Eurocodice 3”, EPC LIBRI, 2008 (*in stesura*)
- [4] ECCS “Rules for Member Stability in EN 1993-1-1, background documentations and design guidelines”, N°119, 2006

[5] Rondal J., Wurker K.G., Dutta D. "Structural stability of hollow sections", Verlag TUV Rheinland, 1992

[6] M.A. Serna, A.Lopez et al. "Equivalent uniform moment factors for lateral-torsional buckling of steel members", *Journal of Constructional Steel Research*, 62, 566-580, 2006

---

**VERSIONE ENV (NON PIÙ RILASCIATA A PARTIRE DAL NOVEMBRE 2007).**

L'eurocodice 3 (EC3) si preannuncia come la normativa di riferimento dei prossimi anni. Di seguito verranno date informazioni utili alla comprensione di quanto eseguito dal programma e di quanto da esso stampato, dando per scontata la conoscenza della Norma.

Si tenga presente che la relativa provvisorietà dell'EC3 rende possibili aggiornamenti o modifiche anche di non lieve entità (tal modifiche, si ritiene, si renderanno specialmente necessarie nell'ambito della classificazione).

L'ampiezza e la complessità della norma rendono impossibile, in quest'ambito, la completa descrizione di tutti gli aspetti specifici. In queste *note* verranno quindi richiamati i principali aspetti d'interesse, fermo restando che Castalia è a disposizione dei propri clienti con diritto all'aggiornamento, per tutte le spiegazioni che si rendessero necessarie.

Sono stati implementati i seguenti paragrafi dell' EC3:

5.1.1.

5.3

5.4.1

5.4.2.

5.4.3.

5.4.4.

5.4.5.

5.4.6.

5.4.7.

5.4.8.

5.4.9.

5.5.1.

5.5.2.

5.5.3.

5.5.4.

5.6.1.

5.6.2.

5.6.3.

5.6.7.

annesso F.

Particolare rilievo, nell'ambito del codice così come nell'ambito della sua programmazione, ha assunto il problema della classificazione delle sezioni.

## LA CLASSIFICAZIONE DELLE SEZIONI

Come chiarito in [\[articolo1\]<sup>1566</sup>](#), il problema della classificazione delle sezioni nell'ambito di uno stato di sforzo generale (due componenti di momento, una di azione assiale), è tutt'altro che banale.

SARGON risolve completamente il problema nel caso di sezioni ad I (IPE, HEA, ecc.) così come chiarito in [1], mentre relativamente agli altri profili SARGON assume come classe la massima classe tra quelle dovute a sollecitazioni pure (sola N, solo M2, solo M3). Nel caso di elementi biella SARGON assume come classe la classe 1 se l'elemento è in trazione, la classe a compressione semplice in caso contrario.

Il caso di classe 4 è da considerare un caso a sè. Il calcolo delle grandezze efficaci viene eseguito, nella versione 1.00 del verificatore, per i soli profili ad I laminati. Negli altri casi tali grandezze sono poste eguali a zero.

Un profilo che risulti di classe 4 e non sia un profilo ad I viene considerato non verificato, ed a esso è associato il coefficiente di sfruttamento convenzionale 99.

Profili che non siano doppiamente simmetrici presentano particolari problemi allorchè ci si trovi a calcolarne le grandezze efficaci. In tal caso infatti, anche sotto sollecitazioni semplici, gli assi principali della sezione efficace sono ruotati rispetto a quelli della sezione lorda, facendo con ciò perdere un pò di vista il significato delle verifiche a stabilità. In attesa di maggiori chiarimenti da parte del Normatore SARGON in tali casi non verifica il profilo.

A partire dalla versione 7.20 di Sargon i profili la cui sezione ha un nome che comincia con "CL3\_" verranno forzati ad essere in classe 3 anche se per ipotesi fossero in classe 4. Ciò consente di trattare anche le sezioni saldate o laminate che debbano essere adeguatamente irrigidite, senza che queste, essendo classificate in classe 4, vengano ingiustamente penalizzate. E' compito del progettista garantire che le travi abbiano gli irrigidimenti necessari a garantire che la classe sia effettivamente la 3. Il

nome della sezione, che comincia con “CL3\_” vuole far capire che si tratta di una “forzatura” rispetto ai dati puramente ideali della sezione priva di irrigidimenti.

A partire dalla versione 7.20 quando per profili classificati in accordo a quanto chiarito nell'articolo citato uno qualsiasi di questi tre rapporti, in valore assoluto

$$N/N_{pl}$$

$$M2/M2_{pl}$$

$$M3/M3_{pl}$$

è minore di  $1.e-4$  (0.0001), allora la corrispondente componente di sollecitazione è assunta nulla ai fini della classificazione. Tale accorgimento evita che compressioni puramente numeriche (piccoli valori di compressione in presenza di momento nullo) possano portare a classificazioni troppo severe.

### CALCOLO DELLA SNELLEZZA ADIMENSIONALE $\lambda_{LT}$

Il calcolo della snellezza adimensionale è eseguito seguendo quanto prescritto nell'annesso F. Relativamente al calcolo dei coefficienti C1, C2, e C3 va detto quanto segue. La norma non fornisce in tal caso alcuna formula chiusa per valutare questi coefficienti. Le tabelle date nella norma non sono quindi praticamente utilizzabili. Per tale motivo, in attesa di una più precisa trattazione del problema, SARGON pone a favore di sicurezza:

$$C1 = 1$$

$$C2 = 0$$

$$C3 = 1$$

### GENERAZIONE DELLE COMBINAZIONI DI CARICO

SARGON genera automaticamente le combinazioni di carico partendo dai casi di carico base. Per generare le combinazioni SARGON utilizza le informazioni sul tipo di carico date dall'utente, nonché una serie di dettagliate informazioni su vari coefficienti e sulla possibile variabilità e contemporaneità dei casi di carico base. Si rimanda a quanto chiarito in [Come Generare le combinazioni](#)<sup>[346]</sup> ed al comando di generazione delle combiazioni [Genera](#)<sup>[1085]</sup>.

## SUPERELEMENTI

I superelementi ottenuti riunendo profili diversi sono calcolati assumendo come profilo di riferimento il profilo avente area minima.

## TABULATO

Nel tabulato vengono date informazioni relative alle grandezze limite definite dalla normativa. Tali grandezze possono essere calcolate nell'ipotesi di profilo in classi 1 e 2, ovvero nell'ipotesi di profilo di classe 3, o di profilo in classe 4. Nel tabulato vengono riportate le grandezze d'interesse nei vari casi. Si tenga presente che l'unica forma sezionale per la quale sono calcolate le grandezze efficaci è, nella versione 1.00 del verificatore, la sezione ad I laminata (HEA, B, M, IPE ecc.): le altre forme sezionali hanno caratteristiche efficaci poste eguali a zero.

## PERSONALIZZAZIONE DEL VERIFICATORE SECONDO EC3

I coefficienti gamma relativi al materiale ( $\gamma_{M0}$ ,  $\gamma_{M1}$ ,  $\gamma_{M2}$ ) possono essere modificati in un opportuno [dialogo](#)<sup>768</sup>, accessibile dal dialogo che consente di impostare l'EC3 come norma attiva ([Norma](#)<sup>767</sup>).

## 4.5 NTC2008 VS EC3

### NTC2008 / NTC 2018 VS EC3

Le verifiche di resistenza e stabilità in accordo con le NTC2008 / NTC2018 coincidono sostanzialmente con le verifiche in accordo con l'EN1993-1-1.

In Sargon è perciò disponibile un solo verificatore di riferimento, quello inerente all'Eurocodice 3, che però è in grado di gestire anche le differenze tra EC3 e NTC2008 / NTC2018, in modo da coprire anche le esigenze della normativa italiana.

Le differenze principali tra i due codici sono:

- il valore dei coefficienti di sicurezza  $\gamma_{Mi}$
- i metodi per le verifiche di instabilità a pressoflessione (retta o deviata, con o senza svergolamento)

### Coefficienti di sicurezza

I valori dei  $\gamma_{Mi}$  sono parametri definibili dall'utente, che quindi introdurrà in una opportuna [property page](#)<sup>[768]</sup> quelli previsti dalla normativa scelta.

### Verifiche di stabilità: pressoflessione

Per quanto riguarda le verifiche di stabilità a pressoflessione, l'EN1993-1-1 presenta due formule di verifica ([6.61](#)<sup>[1375]</sup> e [6.62](#)<sup>[1375]</sup>) dipendenti da fattori di interazione  $k_{ij}$ . Questi fattori sono calcolabili con due metodi diversi: il [metodo 1](#)<sup>[1375]</sup> (franco-belga, Annex A) e il [metodo 2](#)<sup>[1376]</sup> (austro-tedesco, Annex B). L'utente può scegliere il metodo da utilizzare in una opportuna [property page](#)<sup>[769]</sup>, e le due disequazioni verranno verificate in base al metodo adottato, con i valori  $k_{ij}$  calcolati automaticamente da Sargon.

Nelle NTC2008 (Circolare 2 febbraio 2009, n.617 - C.S.LL.PP.) è previsto l'utilizzo di due metodi di verifica che utilizzano formule diverse: il *metodo A* (C4.2.4.1.3.3.1), composto da un'unica formula di verifica che vedremo in seguito e applicabile a sezioni in classe 1, 2 o 3, e il *metodo B* (C4.2.4.1.3.3.2) che si applica a sezioni doppiamente simmetriche e utilizza formule identiche alle [6.61](#)<sup>[1375]</sup> e [6.62](#)<sup>[1375]</sup> dell'EN1993-1-1, consentendo però di calcolare i fattori di interazione  $k_{ij}$  con il solo [metodo 2](#)<sup>[1376]</sup> (austro-tedesco). La sopracitata [property page](#)<sup>[769]</sup> consente di scegliere il metodo desiderato. Se si intende usare quindi il metodo B delle NTC2008 si deve scegliere il metodo 2 dell'EN.



Il metodo A delle NTC2008 si basa invece sulla formula seguente, diversificata a seconda della possibilità o meno di svergolamento.

C4.2.32 (senza svergolamento):

$$\frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_{\min} \cdot f_y \cdot A} + \frac{M_{2eq,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{f_{yk} \cdot W_2 \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,2}}\right)} + \frac{M_{3eq,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{f_{yk} \cdot W_3 \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,3}}\right)} \leq 1$$

C4.2.36 (con svergolamento):

$$\frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_{\min} \cdot f_y \cdot A} + \frac{M_{2eq,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_{LT} \cdot f_{yk} \cdot W_2 \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,2}}\right)} + \frac{M_{3eq,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{f_{yk} \cdot W_3 \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,3}}\right)} \leq 1$$

La seconda è identica alla prima a meno del termine  $\chi_{LT}$  al denominatore del secondo termine. In sostanza, la prima formula è un caso particolare della seconda, con  $\chi_{LT}=1$ , cioè senza alcuna riduzione a causa dello svergolamento.

I criteri per la determinazione dei valori da utilizzare nella formula, in particolare quelli per il calcolo dei momenti equivalenti, sono riportati nel paragrafo C4.2.4.1.3.3.1 della Circolare.

Riepilogando, l'EN1993-1-1 richiede la verifica di due disequazioni, i cui fattori di interazione sono calcolabili con il metodo A o con il metodo B. L'NTC2008 prevede un metodo A costituito da una sola formula di verifica e un metodo B con due formule di verifica identiche a quelle dell'EN, con la possibilità di calcolare i fattori di interazione con uno solo dei due metodi previsti dall'EN (il secondo).

N.B. i coefficienti  $C_{my}$ ,  $C_{mz}$  e  $C_{mLT}$  dell'EN, necessari al calcolo dei fattori di interazione, nelle NTC2008 sono chiamati  $\alpha_{my}$ ,  $\alpha_{mz}$  e  $\alpha_{mLT}$

## 4.6 AISC

### AISC: GUIDA TECNICA

Edizione 1989 Green Book

A differenza delle norme CNR, le AISC non distinguono in modo esplicito tra verifiche di resistenza e verifiche di stabilità. Per questo motivo i tabulati si riferiscono ai coefficienti di sfruttamento massimi, definiti dall'applicazione di formule diverse di volta in volta.

Elemento caratteristico delle AISC è l'assumere tensioni ammissibili rapportate alla tensione caratteristica di snervamento, diverse per le varie sollecitazioni elementari.

Occorre distinguere inoltre le sezioni di vario tipo e tra trazione e compressione.

La classificazione delle sezioni (COMPATTA, NON COMPATTA, SNELLA), dipende anche dal campo di tensioni che le sollecita nel tabulato è riportata la sua classificazione corrente per ogni caso di carico e per ogni asta. Nell'eseguire le verifiche sui rapporti larghezza spessore, le aste vengono classificate a prescindere dalle sollecitazioni; nel corso delle verifiche vere e proprie, invece, tale classificazione tiene in conto l'effettiva distribuzione di tensione. infatti, la classificazione automatica viene eseguita prima della soluzione del sistema risolvante, facendo l'ipotesi che il campo di tensioni sollecitante sia il peggiore tra quelli possibili. È possibile che gli effettivi campi di sforzo non comportino una classificazione così onerosa: in tal caso, nei tabulati di output si potrà verificare l'effettiva classificazione della sezione caso di carico per caso di carico.

Sono stati implementati i seguenti paragrafi delle norme AISC/90:

Cap A

Cap B: B5

Cap D: D1, D2, D3

Cap E: E1, E2, E3, E4

Cap F: F4, F11, F12, F13, F21, F22, F31, F32

Cap H: H1, H2

**Le sezioni che risultano nel corso dei calcoli "snelle" non vengono verificate da SARGON.** Per queste sezioni infatti, la sezione geometrica non è interamente reagente, in quanto alcuni elementi si imbozzano. Il fatto che una sezione sia classificata snella, ancorchè consentito, deve essere considerato di per sé un indice di pericolo.

Le norme AISC prevedono un coefficiente amplificativo per le tensioni ammissibili, pari a 1.333 per le condizioni di carico di tipo VENTO o SISMA. Nell'applicazione di questi coefficienti valgono regole analoghe a quelle specificate per le CNR. Se non si vuole introdurre il coefficiente amplificativo, basta dichiarare di un tipo diverso la condizione di carico.

I carichi TERMICI non godono della predetta amplificazione.

Per quanto riguarda il **par. H1**, relativamente al calcolo dei coefficienti  $C_m$ , il programma assume quanto segue:

- a) se il momento varia linearmente e  $K$  è minore o eguale ad 1  $C_m = 0.6 - 0.4 (M_1/M_2)$ ;
- b) se il momento varia non linearmente e  $K$  è minore o eguale ad 1,  $C_m=1$ .; se  $K$  è maggiore di 1  $C_m= 0.85$  in ogni caso.

Nel tabulato con le verifiche vengono date delle informazioni utili per risalire ai calcoli fatti dal programma. Il numero Nver indica la causa che ha determinato un certo coefficiente di sfruttamento. Il numero può assumere i valori 0-8.

Se il numero è 0 ciò significa che la sezione o il materiale non sono stati attribuiti.

Se il numero è 1 la formula è la H1-3, valida per pressoflessione con blanda compressione.

Se il numero è 2 la formula è quella relativa al paragrafo F4 (sfruttamento a taglio).

Se il numero è 3 la formula è la H1-1 o la H1-2 (pressoflessione).

Se il numero è 4 il pericolo deriva dalla snellezza locale eccessiva (sezioni SLENDER, snelle).

Se il numero è 5 si è in tensoflessione (formula H2-1).

Se il numero è 6 si è in compressione pura (formula E2-1, E2-2).

Se il numero è 7 si è in tensione pura (formula di capitolo D).

Se il numero è 8 si è in tensoflessione ma la formula è quella che si riferisce alla piattabanda compressa (cfr. par. H2).

Nella sezione "analitica" del tabulato vengono date le informazioni di dettaglio che riguardano la classificazione della sezione e le tensioni ammissibili per le varie sollecitazioni elementari adottate dal programma. A tal proposito si segnala che l'aggettivo CONTENUTA è la traduzione dell'inglese BRACED, mentre COMPATTA traduce COMPACT.

Le tensioni ammissibili sono rapportate alla tensione di snervamento  $F_y$ ; esse sono:

- $F_{b2up}$ ,                      ovvero la tensione ammissibile a compressione nella flangia superiore per flessione attorno all'asse 2.
- $F_{b2dn}$ ,                      ovvero la tensione ammissibile a compressione nella flangia inferiore per flessione attorno all'asse 2.
- $F_{b2t}$ ,                        ovvero la tensione ammissibile a trazione nelle flange, per flessione attorno all'asse 2.
- $F_{b3}$ ,                        ovvero la tensione ammissibile per flessione attorno all'asse 3.
- $F_v$ ,                         ovvero la tensione ammissibile a taglio.

## 4.7    **BS-5950**

### **BS 5950: GUIDA TECNICA VERSIONE 1.0**

Le norme British Standard 5950 sono state implementate in Sargon per varie ragioni. Ad oggi esse sono molto impiegate nei paesi arabi e nelle ex colonie inglesi, inoltre esse sono in vigore da più tempo rispetto all'EC3 e non sono in uno stadio preliminare.

Anche per le BS come per altre norme la implementazione si è presentata irta di difficoltà, a causa del fatto che molte prescrizioni sembrano essere state indicate avendo in mente dei particolari ambiti, e non le situazioni più generali.

In quanto segue si cercherà di dare un'idea il più possibile esatta del lavoro svolto e delle avvertenze da seguire nell'uso delle norme, così da evitare situazioni pericolose o inaccettabili.

#### **Paragrafi implementati**

Hanno costituito oggetto di implementazione i seguenti paragrafi della norma:

3.1,3.1.1. con le modifiche di AMD 6972, Febbraio 1992, 3.1.2, 3.3., 3.3.1, 3.3.2., 3.5, 3.5.1., 3.5.2., 3.5.3., 3.5.4., 3.5.5., 3.6, 3.6.1., 3.6.2., 3.6.3., 3.6.4. (involuppati da 3.6.3.), 4.1, 4.1.1., 4.1.2, 4.1.3., 4.2, 4.2.1.3.(a), 4.2.1.3.(c), 4.2.1.3.(d), 4.2.2., 4.2.3., 4.2.5., 4.2.6. (a) Dove applicabile (cfr più oltre), 4.2.6.(b), 4.2.6.(c), 4.3., 4.3.1., 4.3.7., 4.3.7.1., 4.3.7.2., 4.3.7.3., 4.3.7.4., 4.3.7.5., 4.3.7.6., 4.3.7.7., 4.4.5., 4.4.5.1., 4.4.5.3. con le osservazioni che seguono, 4.6., 4.6.1., 4.7., 4.7.4., 4.7.5., 4.7.9.(c) Lamc=50 sempre, 4.8., 4.8.1., 4.8.2., 4.8.3., 4.8.3.1., 4.8.3.2., 4.8.3.3., 4.8.3.3.1., 4.8.3.3.2, 4.9, B.1., B.2., B.2.1., B.2.2., B.2.3., B.2.4., B.2.5., B.2.6., B.2.6.1., B.2.6.2., B.2.7., C.1, C.2.

I paragrafi non implementati non sono stati implementati perchè non implementabili. Ad esempio, là dove le prescrizioni in termini di snellezza di calcolo dipendono dal tipo e dalla disposizione dei bulloni di collegamento, Sargon, che gestisce modelli unifilari, non può intervenire. E' l'utente che deve specificare il giusto coefficiente di libera inflessione, valutato tenendo conto del sistema che verrà impiegato per connettere gli elementi.

Nel seguito verranno commentati i paragrafi della norma là dove si ritiene necessario chiarire gli interventi di programmazione resi necessari.

## **Torsione**

Il codice non nomina la torsione. Pertanto il verificatore non introduce formule di verifica nelle quali la torsione abbia ruolo. Ciò può essere pericoloso là dove sono da attendersi torsioni significative. Per questi elementi si suggerisce di eseguire la verifica con altre norme. E' attualmente allo studio documentazione esterna al testo delle norme e di fonte inglese.

## **Combinazioni**

La norma non chiarisce il modo in cui è necessario creare le combinazioni, pertanto, in attesa di chiarimenti a riguardo, è l'utente che deve aggiungere le combinazioni manualmente o utilizzando la generazione automatica prevista in Sargon.

## **Valutazione di py**

La tabella prevista in AMD 6972, Febbraio 1992, considera spessori fino a 100 mm per Grade 43 o 50 e spessori fino a 63 per grade 55.

Se vengono trovati spessori superiori il programma si blocca e dà un messaggio di errore. Ciò dipende dal fatto che non è data una formula generale da applicare in tutti i casi.

### **Area effettiva delle connessioni (par. 3.3.3., 3.4)**

In Sargon, l'utente specifica un coefficiente di riduzione dell'area da applicarsi ai singoli elementi. Poiché Sargon non gestisce le informazioni relative ai collegamenti è compito dell'utente associare agli elementi i corretti o prudenziali valori del coefficiente  $k$ , tale per cui  $A_{eff}=kA$ .

### **Classificazione delle sezioni (3,5)**

Le Bs affrontano il problema della classificazione delle sezioni in modo più semplice rispetto a quanto previsto dall'EC3. Scopo della classificazione è, come è noto, garantire che la sezione potrà sopportare i valori nominali di azione assiale e di momento senza che via siano effetti di instabilità locale.

Il programma esegue la classificazione per sollecitazioni elementari, vale a dire immaginando la sezione soggetta a compressione o a momento  $M2$ , o a momento  $M3$ . Poiché certe sezioni si comportano in modo diverso a seconda che il segno del momento sia positivo o negativo, viene introdotta la classificazione anche in base al segno del momento. Pertanto si avranno:  $C1N$ ,  $C1M2m$ ,  $C1M2p$ ,  $C1M3m$ ,  $C1M3p$ , dove "m" sta per "meno" e "p" sta per "più".

La classe è un numero compreso tra 1 e 4. La classe 1 è la classe dei profili plastici, la classe 2 è la classe dei profili compatti, la classe 3 dei profili semicompatti, la classe 4 è la classe dei profili snelli.

Se il profilo è snello si ha buckling locale prima che venga raggiunto il limite elastico della corrispondente componente di sollecitazione.

La classificazione di una sezione dipende sia dalle caratteristiche della sezione, in termini di rapporti larghezza-spessore, sia dal materiale impiegato. Al fine di separare la parte dipendente dai suddetti rapporti larghezza-spessore, dalla parte dipendente dal materiale, si sono introdotti i valori limite di  $\varepsilon$  ( $=275/\sigma_y$ ) al di sopra dei quali un profilo è in una certa classe. Si prenda ad esempio un profilo HEB300, per il quale risulta:

$$B/(2e) = 300/2/19 = 7.8947$$

$$d/a = (300-38-54)/11 = 18.9090$$

Affinché il profilo HEB300 sia in classe 1 se soggetto a compressione deve essere (cfr. table 7):

$$B/2e \leq 8.5\varepsilon$$

$$d/a \leq 39\varepsilon$$

E quindi equivalentemente

$$\varepsilon \geq 7.8947/8.5=0.928$$

$$\varepsilon \geq 18.9090/39=0.4848$$

e quindi in definitiva

$$\varepsilon \geq 0.928=ecN1$$

Ovvero, affinché HEB300 sia in classe 1 in compressione il materiale deve avere un  $\varepsilon$  maggiore del valore di soglia  $ecN1 = 0.928$ . Allo stesso modo si possono definire i valori di soglia di  $\varepsilon$  per la compressione in classe 2,  $ecN2$  ed in classe 3  $ecN3$ , eccetera, secondo la seguente tabella:

Simbolo	Valore limite di $\varepsilon$ per la sollecitazione e la classe
$ecN1$	Compressione classe 1
$ecN2$	Compressione classe 2
$ecN3$	Compressione classe 3
$ecM2p1$	Momento M2 positivo, classe 1
$ecM2p2$	Momento M2 positivo, classe 2
$ecM2p3$	Momento M2 positivo, classe 3
$ecM2m1$	Momento M2 negativo, classe 1
$ecM2m2$	Momento M2 negativo, classe 2
$ecM2m3$	Momento M2 negativo, classe 3
$ecM3p1$	Momento M3 positivo, classe 1
$ecM3p2$	Momento M3 positivo, classe 2
$ecM3p3$	Momento M3 positivo, classe 3
$ecM3m1$	Momento M3 negativo, classe 1
$ecM3m2$	Momento M3 negativo, classe 2
$ecM3m3$	Momento M3 negativo, classe 3

L'introduzione di questi parametri consente di trattare la classificazione in modo indipendente dal materiale, e quindi in definitiva di descrivere il comportamento di una sezione prima di conoscere il materiale per il quale essa verrà impiegata. Questi parametri entrano così a far parte del corredo di informazioni indispensabile per verificare una sezione secondo BS.

Il programma, una volta noti questi parametri (o perchè calcolati o perchè assegnati), ed il materiale di cui è fatta una certa sezione è in grado di classificare rapidamente l'elemento al quale la sezione appartiene.

### Sezioni snelle (3.6)

Il comportamento a buckling locale di una sezione dipende strettamente dalla distribuzione dello stato di sforzo sull'elemento. Infatti è necessario conoscere con esattezza l'estensione delle zone di compressione per poter predire un eventuale buckling locale. A rigore sarebbe dunque necessario un calcolo di tipo nonlineare, sezione per sezione e combinazione per combinazione, per poter valutare con precisione non solo se vi è buckling locale, ma anche i parametri necessari al calcolo.

Le norme BS introducono un importante principio che consente di calcolare egualmente le sezioni snelle, senza mettere in piedi procedimenti di calcolo nonlineare che, nel caso più generale che è allo studio, genererebbero situazioni non implementabili perchè non sufficientemente chiare.

Il principio è quello di ridurre il valore della tensione di progetto  $p_y$  mediante un opportuno fattore riduttivo  $K$ , calcolato in modo da sposare i valori limite previsti per la transizione da sezione semicompatta a snella. La norma dà due distinti insiemi di regole: una prima regola (par. 3.6.3) consiste nel valutare  $p_y$  in modo che nell'anima si abbia che con il valore di  $d/t$  della sezione da calcolare ci si trovi al limite di anima semicompatta.

Il secondo insieme di regole fa capo a la tavola 8, dove sono elencati dei fattori correttivi relativi a flange o sbalzi. Questo secondo insieme di regole porta a coefficienti riduttivi maggiori di quelli previsti dalla regola precedente (la dimostrazione è omessa), che può dunque essere usata come regola di riferimento a favore di sicurezza. Se  $\varepsilon$  è il valore del materiale usato ed  $E$  è il valore limite di  $\varepsilon$  che il materiale può avere senza che la sezione diventi snella si pone

$$p_y^* = \left( \frac{\varepsilon}{E} \right)^2 p_y$$

si può facilmente vedere che questo fattore riduttivo corrisponde al prendere una tensione di progetto ridotta proprio tale da soddisfare le limitazioni previste per le sezioni semicompatte. Il valore limite  $E$  dipende dalla sollecitazione. Tale valore è precisamente il valore introdotto con i simboli ecN3, ecM2p3, ecM2m3, ecM3m3, ecM3p3 al paragrafo precedente.

Trovata la tensione ridotta il programma valuta la capacità a compressione ed a flessione usando questa tensione ridotta, e con questi valori esegue poi la verifica di resistenza.



Per maggiori dettagli si rimanda agli esempi svolti (documento cartaceo), che chiariscono in modo inequivoco i vari passaggi.

### Capacità a momento con alto valore del taglio (par. 4.2.6.)

Nella verifica di resistenza di sezioni soggette ad un taglio maggiore di 0.6 volte il valore limite di taglio sostenibile è prevista una formula di verifica particolare. In particolare, se la sezione è in classe 3 si deve usare il modulo elastico della sezione, mentre se essa è in classe 1 o 2 per valutare il momento limite  $M_c$  si deve usare la formula seguente:

$$M_c = p_y (S - S_v \rho_1)$$

La definizione di  $\rho_1$  non è chiara per le sezioni che non siano dei tipi RHS (rectangular hollow sections), rettangolare cava saldata, a T, a C o ad I (laminata o saldata). In assenza di flange, infatti, non è chiara la distribuzione da assumere per la area resistente a taglio  $A_v$ .

Si prenda l'importante caso di una sezione circolare cava. La norma dice che  $A_v=0.6A$ , ma non dice dove considerare distribuita  $A_v$ : non è quindi possibile valutare il momento plastico associato ad  $A_v$ .

A causa di questa mancanza di chiarezza, e nella impossibilità di inventare formule o assunzioni sostituendosi al dettato della norma, il verificatore si comporta nel seguente modo. **Se una sezione è di classe 1 o 2 ed è soggetta ad un taglio  $> 0.6P_v$ , e questa sezione non è tra quelle per le quali la regola che prevede l'impiego di  $S_v$  sia applicabile in modo privo di dubbi, in tal caso la sezione viene considerata come se fosse di classe 3, applicando il paragrafo 4.2.6.(b), ovvero**

$$M_c = p_y Z$$

Dove  $Z$  è il modulo di resistenza elastico.

Per le sezioni circolari cave è disponibile in letteratura una formula di interazione tra taglio momento flettente ed azione assiale (*Structural Stability of Hollow Sections*, J. Rondal K.G. Wûrker, D. Dutta ecc., CIDECT, 1992), ma tale formula assume valori diversi sia per il valore del taglio limite che per i valori di soglia del taglio oltre i quali applicare la formula di interazione, e non è pertanto inseribile nel contesto delle BS.

### Svergolamento (par. 4.3)

Per valutare lo svergolamento è necessario conoscere la distanza tra due ritegni torsionali successivi. Questa distanza viene valutata dal programma moltiplicando la lunghezza dell'elemento (o del superelemento) per il coefficiente  $\beta_1$ , vale a dire il primo dei tre coefficienti di libera inflessione. E'

compito dell'utente applicare correttamente le prescrizioni contenute in 4.3.5. e 4.3.6., sul modo di valutare tale coefficiente.

Il coefficiente  $n$ , in difetto di una formula chiusa atta a stimarne il valore, viene conservativamente posto eguale ad 1. Le tabelle 15 e 16 della norma infatti, non sono implementabili, poichè si riferiscono ad un caso di carico del tutto particolare e non generalizzabile. Il termine "carico sostanzialmente concentrato" è tipicamente atto ad essere variamente interpretato, e pertanto non è implementabile. Inoltre la norma non fornisce alcuna formula di impiego generale. Per tutte queste ragioni i fattori  $n$  ed  $m$  sono sempre posti dal programma eguali ad 1, ad eccezione di quanto previsto per il coefficiente  $m$  nella tavola 18, ove viene fornita una formula alternativa alla tabella.

### **Compressione su profili composti (par. 4.7.9., 4.7.11, 4.7.12., 4.7.13)**

In accordo a quanto previsto anche da altre normative, le BS verificano a stabilità gli elementi composti valutando una snellezza equivalente ottenuta componendo alla snellezza teorica  $\lambda_m$  una snellezza aggiuntiva  $\lambda_c$ . La formula è la seguente

$$\lambda_T = \sqrt{\lambda_m^2 + \lambda_c^2}$$

Il valore delle snellezza aggiuntiva dipende essenzialmente dal passo della bullonatura, oltre che dal raggio di inerzia del profilo. Nel caso dei profili calastrellati o abbottonati (par. 4.7.8. e 4.7.9) la snellezza aggiuntiva non può superare il valore di 50. Per tale motivo, non essendo noto il passo delle bullonature, il programma aggiunge sempre e comunque una snellezza aggiuntiva pari al massimo possibile (50). Si noti che per snellezze pari a 100, l'incremento di snellezza conseguente è pari al 11%, mentre per snellezze pari a 50 esso è pari al 41%. Al crescere della snellezza propria la variazione decresce rapidamente.

E' compito del progettista assicurarsi che il limite di 50 sia rispettato dal modo previsto di connettere i profili.

Analogamente, è compito del progettista adempiere a quanto previsto nei paragrafi 4.7.10, 4.7.11, 4.7.12, 4.7.13.

### **La logica del programma**

Il programma esegue dapprima il calcolo delle caratteristiche proprie della sezione. In seguito, per ogni trave, biella e superelemento, vengono valutate le capacità limite. Ciò fatto, per ogni trave ed ogni biella in ogni combinazione vengono eseguite le verifiche di resistenza e di stabilità.

Nel caso delle bielle le verifiche di resistenza sono quella alla compressione e quella alla trazione. Nel caso delle travi, le verifiche di resistenza riguardano la trazione o la compressione, il momento secondo l'asse 2 o 3, il taglio secondo l'asse 2 o 3 e, infine, l'interazione tra azione assiale e momento flettente.

Dopo le verifiche di resistenza vengono eseguite le verifiche a stabilità. Per le bielle le verifiche a stabilità vengono eseguite solo se l'elemento è compresso, e si identificano con quanto previsto al capitolo 4.7.

Per le travi, oltre alle verifiche di stabilità intese come verifiche alla compressione, il programma esegue le verifiche a svergolamento, le verifiche a pressoflessione e, dove applicabili, le verifiche alla instabilità per taglio.

Le verifiche sotto l'azione combinata delle sollecitazioni vengono eseguite solo se le verifiche alle sollecitazioni elementari sono state soddisfatte. Così, se una sola componente di sollecitazione è in grado da sola di portare ad un eccesso di sfruttamento, questo viene segnalato.

## **Superelementi**

Circa l'uso dei superelementi, la loro importanza e la necessità di introdurli si è già discusso. Qui si vuole mettere in rilievo come questi vengano tenuti in conto nelle verifiche.

I superelementi modificano le sole verifiche a stabilità, non quelle a resistenza. Dopo aver verificato tutte le bielle e tutte le travi il programma, se ve ne sono, verifica i superelementi.

Eseguite le verifiche, il programma controlla, facendo un ciclo su ciascun elemento componente il superelemento verificato, se il coefficiente di sfruttamento a stabilità dell'elemento pensato come elemento è inferiore al coefficiente di sfruttamento dell'elemento pensato come parte del superelemento. In questo caso, esso va a scrivere come coefficiente di sfruttamento dell'elemento il coefficiente di sfruttamento dello elemento come pensato appartenente al superelemento. Anche i dati sezionali rilevanti in termini di verifica a stabilità vengono sovrascritti con quelli del superelemento.

Se un superelemento è fatto da elementi aventi sezioni diverse, verrà usata la sezione di area minima, a favore di sicurezza.

## **Il tabulato**

Il tabulato è composto da quattro sezioni, ciascuna delle quali relativa ad un insieme particolare di dati. La prima sezione, riguarda i dati sezionali. Qui vengono elencate le proprietà della sezione necessarie per eseguire le verifiche. Tutti i dati elencati sono necessari a ricostruire i calcoli fatti dal programma.

La seconda sezione elenca, elemento per elemento, i valori limite delle sollecitazioni elementari, così come valutati dal programma. Questi dati sono poi impiegati per valutare i coefficienti di sfruttamento. La terza sezione dà i risultati delle verifiche in forma sintetica, riportando il massimo coefficiente di sfruttamento a resistenza ed a stabilità al variare delle combinazioni. La quarta ed ultima sezione riporta i valori dei coefficienti di sfruttamento per ogni combinazione di verifica.

Nel seguito vengono riportate le legende che consentono di interpretare i dati:

```
#####
#                               SHAPE DATA                               #
#####
#                               #
#                               LEGEND                                   #
#                               #
#####
#                               #
# U.....User: =1 properties are user defined,=0 program defined#
# tmax.....Maximum thickness                                         #
# Av2.....Shear area, shear T2 ($ 4.2.3.)                            #
# Av3.....Shear area, shear T3 ($ 4.2.3.)                            #
# Sv2.....Av2 plastic modulus. Used with bending M3 ($ 4.2.6.)#
# Sv3.....Av3 plastic modulus. Used with bending M2 ($ 4.2.6.)#
# dot2.....Web depth to thickness ratio. Used to compute limit      #
#                               shear T2 ($ 4.4.5.3.)                  #
#                               If = 0 not applicable or not necessary. #
# dot3.....Web depth to thickness ratio. Used to compute limit      #
#                               shear T3 ($ 4.4.5.3.)                  #
#                               Se = 0 not applicable or not necessary. #
# dtm2.....Product d*t to be used to compute limit shear value     #
#                               T2 ($ 4.4.5.3.)                        #
#                               If = 0 not applicable or not necessary. #
# dtm2.....Product d*t to be used to compute limit shear value     #
#                               T3 ($ 4.4.5.3.)                        #
#                               If = 0 not applicable ot not necessary. #
# u2.....u factor, buckling resistance moment M2($ B.2.5.(b))#
#                               if < 0 = -Fib, see. par. B.2.6.1.      #
# u3 .....u factor, buckling resistance moment M3($ B.2.5.(b))#
#                               if < 0 = -Fib, see. par. B.2.6.1.      #
# x2.....x factor, buckling resistance moment M2($ B.2.5.(b))#
# x3 .....x factor, buckling resistance moment M3($ B.2.5.(b))#
# N2p.....N factor, positive M2 ($ B.2.5.(d))                      #
# N3p.....N factor, positive M3 ($ B.2.5.(d))                      #
# N2m.....N factor, negative M2 ($ B.2.5.(d))                      #
# N3m.....N factor, negative M3 ($ B.2.5.(d))                      #
```

```
# nbc2.....Buckling curve number, buckling around axis 2      #
#              (a=1, b=2, c=3, d=4)                               #
# nbc3.....Buckling curve number, buckling around axis 3      #
#              (a=1, b=2, c=3, d=4)                               #
# lam2.....Adjoint slenderness axis 2      ($ 4.7.9.)          #
# lam3.....Adjoint slenderness axis 3      ($ 4.7.9.)          #
# ecN1.....Limit material eps value so that compressed section is #
#              plastic.                                          #
# ecN2.....Limit material eps value so that compressed section is #
#              compact.                                          #
# ecN3.....Limit material eps value so that compressed section is #
#              semi-compact.                                     #
# ecM2p1.....Limit material eps value so that positive M2 bent  #
#              section is plastic.                               #
# ecM2p2.....Limit material eps value so that positive M2 bent  #
#              section is compact.                               #
# ecM2p3.....Limit material eps value so that positive M2 bent  #
#              section is semi-compact.                          #
# ecM2m1.....Limit material eps value so that negative M2 bent  #
#              section is plastic.                               #
# ecM2m2.....Limit material eps value so that negative M2 bent  #
#              section is compact.                               #
# ecM2m3.....Limit material eps value so that negative M2 bent  #
#              section is semi-compact.                          #
# ecM3p1.....Limit material eps value so that positive M3 bent  #
#              section is plastic.                               #
# ecM3p2.....Limit material eps value so that positive M3 bent  #
#              section is compact.                               #
# ecM3p3.....Limit material eps value so that positive M3 bent  #
#              section is semi-compact.                          #
# ecM3m1.....Limit material eps value so that negative M3 bent  #
#              section is plastic.                               #
# ecM3m2.....Limit material eps value so that negative M3 bent  #
#              section is compact.                               #
# ecM3m3.....Limit material eps value so that negative M3 bent  #
#              section is semi-compact.                          #
#
#####

#####
#              BEAM AND TRUSS DATA                               #
#####
#
#              LEGEND                                             #
#
#####
#
```

```

# py.....Steel design strngth                                     #
# Pv2.....Shear capacity (T2) par. 4.2.3.                         #
# Pv3.....Shear capacity (T3) par. 4.2.3.                         #
# Mc2m.....Moment capacity (M2 negative)                         #
# Mc2p.....Moment capacity (M2 positive)                         #
# Mc3m.....Moment capacity (M3 negative)                         #
# Mc3p.....Moment capacity (M3 positive)                         #
# lam1.....Total lateral sway slenderness                       #
# lam2.....Total axis 2 buckling slenderness                     #
# lam3.....Total axis 3 buckling slenderness                     #
# Pc2.....Compression capacity (axis 2)                         #
# Pc3.....Compression capacity (axis 3)                         #
# Pc.....Compression capacity                                    #
# Mb2p.....Buckling resistance moment (M2 positive)             #
# Mb2m.....Buckling resistance moment (M2 negative)             #
# Mb3p.....Buckling resistance moment (M3 positive)             #
# Mb3m.....Buckling resistance moment (M3 negative)             #
# lamLT2p.....Lateral sway slenderness positive M2 bending      #
# lamLT3p.....Lateral sway slenderness positive M3 bending      #
# lamLT2m.....Lateral sway slenderness negative M2 bending      #
# lamLT3m.....Lateral sway slenderness negative M3 bending      #
# clN.....Compression class      (1-4)      1 : plastica        #
# clM2m.....Negative M2 class      2 : compatta                #
# clM2p.....Positive M2 class      3 : semi-compatta           #
# clM3m.....Negative M3 class      4 : snella                  #
# clM3p.....Positive M3 class                                     #
# clMax.....Maximum class                                       #
#                                                                 #
#                                                                 #
#####

#####

#                               RESULTS                             #
#####

#                               LEGEND                             #
#                               #                                   #
#####

# Beam.....Beam element number                                   #
# Truss.....Truss element number                                 #
# KR.....Maximum resistance exploitation factor                  #
# CbR.....Combination in which KR (or KRi) has been computed   #
# ChkR.....Number of the check leading to KR (or KRi).         #
#                               Check numbers have the following meaning: #
#                               #                                   #
#                               1           Axial load excess      ($ 4.6.1. or § 4.7.4 using py) #

```

#	2	Shear T2 eccess	(\$ 4.2.3.)	#
#	3	Shear T3 eccess	(\$ 4.2.3.)	#
#	4	Moment M2 eccess, low shear, class 1 or 2	(\$ 4.2.5.)	#
#	5	Moment M3 eccess, low shear, class 1 or 2	(\$ 4.2.5.)	#
#	6	Moment M2 eccess, low shear, class 3	(\$ 4.2.5.)	#
#	7	Moment M3 eccess, low shear, class 4	(\$ 4.2.5.)	#
#	8	Moment M2 eccess, high shear, classes 1 or 2	(\$ 4.2.6.)	#
#	9	Moment M3 eccess, high shear, classes 1 or 2	(\$ 4.2.6.)	#
#	10	Moment M2 eccess, high shear, class 3	(\$ 4.2.6.)	#
#	11	Moment M3 eccess, high shear, class 3	(\$ 4.2.6.)	#
#	12	Invalid or unknown shape properties		#
#	13	Traction and bending, simplified approach	(\$ 4.8.2)	#
#	14	Traction and bending, complete approach	(\$ 4.8.2)	#
#	15	Compression and bending, simplified approach	(\$ 4.8.3.2)	#
#	16	Compression and bending, complete approach	(\$ 4.8.3.2)	#
#	17	Moment M2 eccess	class 4 (\$ 4.2.5/6)	#
#	18	Moment M3 eccess	class 4 (\$ 4.2.5/6)	#
#	99	class 4		#
#				#
#	CsiR.....	Non dimensional abscissa (0-1) of the KR(KRi) computed point		#
#	KS.....	Maximum buckling exploitation factor		#
#	CbS.....	Combination in which KS (or KSi) has been computed		#
#	ChkS.....	Number of the check leading to KS (or KSi)		#
#		Check numbers have the following meaning:		#
#				#
#	21	Compression	(\$ 4.7.4)	#
#	22	Shear T2	(\$ 4.4.5.3)	#
#	23	Shear T3	(\$ 4.4.5.3.)	#
#	24	Bending M2	(\$ 4.3.7.1.)	#
#	25	Bending M3	(\$ 4.3.7.1.)	#
#	26	Overall buckling, simplified method	(\$ 4.8.3.3.1)	#
#	27	Overall buckling, exact approach	(\$ 4.8.3.3.2)	#
#	12	Invalid or unknown shape properties		#
#	99	Class 4		#
#				#
#	CsiS.....	Non dimensional abscissa (0-1) of the KS computed point		#
#	KM.....	Maximum exploitation between resistance and stability		#
#	CbM.....	Combination in which KM has been computed		#
#	ChkM.....	Number of the check leading to KM		#
#	CsiM.....	Non dimensional abscissa (0-1) of the KM computed point		#
#	Combi.....	Combination number		#
#	KRi.....	Resistance exploitation factor in combination Combi		#
#	KSi.....	Buckling exploitation factor in combination Combi		#
#	KMi.....	Maximum exploitation factor in combination Combi		#
#	mf2.....	m factor of M2 distribution	(\$ 4.3.7.6.)	#
#	mf3.....	m factor of M3 distribution	(\$ 4.3.7.6.)	#
#	nf2.....	n factor of M2 distribution	(\$ 4.3.7.6.)	#
#	nf3.....	n factor of M3 distribution	(\$ 4.3.7.6.)	#

```
#
#####
#
```

## Le sezioni utente

### Generalità

Sargon consente di eseguire le verifiche secondo dati stabilite dall'utente. Ciò è destinato a risolvere due problemi distinti:

- 1) La necessità di poter eseguire le verifiche anche su sezioni non coperte dal verificatore automatico;
- 1) La opportunità di scegliere gli algoritmi di verifica in modo più aderente alla situazione specifica o alle necessità peculiari o alle personali convinzioni del progettista.

Il programma che esegue le verifiche si comporta in modo diverso a seconda che l'elemento da verificare sia dotato di una *sezione standard* o di una *sezione utente*.

Se l'elemento ha una sezione standard esso verrà verificato secondo le regole implementate all'interno del programma, se invece esso ha una sezione non standard allora verrà verificato in accordo alle regole stabilite dall'utente. Per poter decidere se una sezione è standard o no il programma confronta il nome della sezione (spazi e maiuscole-minuscole incluse) con l'elenco delle sezioni utente contenuto nel file **bsdata.txt**. Se la sezione compare tra quelle utente allora verrà verificata secondo le regole dell'utente, in caso contrario verrà verificata dal programma. **Alcuni tipi sezionali non vengono verificati se non come profili utente**. Questi tipi sono: sezioni generiche, sezioni composte generiche, sezioni formate a freddo generiche o dei tipi previsti (a Z, a C, a omega, ad L).

Le sezioni non esplicitamente implementate nel verificatore non possono essere verificate se non spiegando al programma come fare, o, per meglio dire, specificando in modo esplicito nel file **bsdata.txt**, i valori di calcolo da adottarsi per ogni profilo di interesse. I valori di calcolo rilevanti sono sostanzialmente quelli che nel tabulato sono listati sotto la sezione "Shape Data" o "Dati Sezionali", con il significato colà previsto. Qui di seguito si riporta il file **bsdata.txt** accluso al programma. In questo file è elencato, a titolo di esempio, un solo profilo, il profilo "xHE 300 B", il quale altro non è che il profilo "HE300B". Il nome è stato modificato per la ragione seguente.

Come prima cosa il programma controlla se i profili assegnati agli elementi di un dato modello sono stati descritti nel file **bsdata.txt**. Se questo è vero, il programma utilizza i dati contenuti nel file **bsdata.txt**, indipendentemente dal fatto che questo sia un profilo standard. Se invece il profilo non è



I dati del profilo HE300B sono stati messi sotto il nome "xHE300B" per evitare che il programma li legga da file.

Sargon - 1991-2026 - Copyright Castalia srl - Milan - Italy - [www.castaliaweb.com](http://www.castaliaweb.com)

[illegible]

```

19. 10260. 3300. 855000. 247500. 0. 27.27 0. 3300.;tmax Av2 Av3 Sv2 Sv3 dot2 dot3 dtm2 dtm3
0.8516 0. 14.26 0. 0.5 0. 0.5 0. ;u2 u3 x2 x3 N2p N3p N2m N3m
1 2 3 0. 0. ; kind Nbc2 Nbc3 lam2 lam3
0.9288 0.8310 0.5263 ; ecN1 ecN2 ecN3
0.9288 0.8310 0.5263 0.9288 0.8310 0.5263 ; ecM2p1 ecM2p2 ecM2p3 ecM2m1 ecM2m2 ecM2m3
0.9288 0.8310 0.5263 0.9288 0.8310 0.5263 ; ecM3p1 ecM3p2 ecM3p3 ecM3m1 ecM3m2 ecM3m3
_ENDSHAPE

```

Il file è composto da righe che possono assumere significati differenti.

**\_UNITS**

unità

dove unità può assumere i valori seguenti: mm, m, cm, in, ft, yd

Ogni riga successiva verrà interpretata sulla base dell'ultima riga **\_UNITS** letta.

Il default è mm.

**\_SHAPE**

inizio del blocco relativo a una sezione utente da verificarsi con

il verificatore BS

**\_ENDSHAPE**

fine del blocco relativo a una sezione

Ogni altra riga diversa da queste e non compresa tra le righe **\_SHAPE** o **\_ENDSHAPE** deve essere considerata come un commento. Le righe comprese tra **\_SHAPE** ed **\_ENDSHAPE** fanno parte del blocco **\_SHAPE**. Tutto ciò che viene dopo un “;” su una certa riga è considerato commento.

## 4.8 EC5

### Eurocodice 5 Guida Tecnica

#### Situazione Normativa

Al momento in cui si scrive (Aprile 2006) la situazione delle normative non è ancora chiara. Ci sono una serie di documenti che possono fungere da riferimento, questi sono:

L'Eurocodice 5, che nella sua versione finale prEN è stato votato (cfr [3]) nel dicembre 2003. Tale documento costituisce il principale riferimento, a nostro giudizio, benché non ne esista ancora la versione in italiano.

La normativa cosiddetta N.I.CO.LE. (Norme Italiane Costruzioni in Legno, [2]), che si avvicina di molto all'Eurocodice pur differendo da esso in una serie di punti (si pensa in specie alle regole per la verifica di instabilità a pressoflessione e svergolamento, ma non solo). Questo

documento è in italiano. Come il precedente non può essere considerato come norma in vigore. E' però un documento importante, poiché lungamente meditato e poiché di fatto costituisce una specie (pur con le differenze del caso) di traduzione dell'Eurocodice 5.

Le NTC 2005 ([1], par. 5.3), che sono di fatto inservibili *in sé* poiché non specificano cose fondamentali come le curve o le formule di stabilità, e adottano, in alcune parti cogenti, valori diversi sia da EC5 sia da NICOLE (cfr. ad esempio i valori dei coefficienti  $\gamma_M$ , eguali a 1.35 anziché variabili tra 1.30 e 1.20). Poiché le NTC non sono sufficienti per le verifiche (mancando indicazioni su aspetti fondamentali) ci si chiede a che scopo emanarle con la prescrizione di alcuni fattori aventi valori diversi da quelli delle norme esistenti. Le NTC possono essere applicate solo interpretandole come una serie di correzioni da dare all'Eurocodice 5 o al documento NICOLE, ed in questo ultimo modo sono state interpretate al fine di scrivere il software di verifica.

Addendum 2008:

Sono ora disponibili le norme NTC2008.

Addendum 2018:

Sono ora disponibili le norme NTC2018.

Le norme NTC 2008 e 2018 sono sostanzialmente allineate con l'Eurocodice 5.

A questa lista occorre aggiungere la versione 1993 dell'EC5 (la cosiddetta versione ENV), che è peraltro l'unica versione dell'eurocodice presentemente tradotta in italiano. Tale versione è superata e non dovrebbe essere usata come riferimento.

Stabilito che per le strutture in legno le NTC sono inservibili in sé ed in contrasto con le altre (anche se sono le uniche norme formalmente emanate!), la scelta sembra essere limitata tra documento NICOLE ed Eurocodice, peraltro molto simili.

Le due norme differiscono almeno per quanto è indicato nella tabella seguente, integralmente tratta dal documento [3], che illustra la proposta di applicazione nazionale dell'Eurocodice 5, tuttora in fase di inchiesta pubblica.

Pag. Final draft PrEN 1995- 1-1	Riferimento	Oggetto	Proposta EN	Proposta ENV	Proposta NICOLE	Proposta UNI/CIS/SC5	Proposta Gruppo di lavoro
22	2.3.1.2(2)P tavola 2.2 Assegnazione di carichi alle classi di durata del carico	neve	medium term – short term	Medio termine – breve termine	Breve termine – (medio termine)	Medio termine per $q_{sk} \leq 2,0$ kN/m <sup>2</sup> Breve termine per la parte di carico che eccede 2,0 kN/m <sup>2</sup>	Medio termine per $q_{sk} \leq 2,0$ kN/m <sup>2</sup> Breve termine per la parte di carico che eccede 2,0 kN/ m <sup>2</sup>
		vento	Short term - instantaneous	Breve termine - istantaneo	Istantaneo	Istantaneo	Istantaneo
22	2.3.1.3(1)P Assegnazione delle strutture alle classi di servizio	classi di servizio	Formare esempi in aggiunta alla sola definizione	Solo definizione	Solo definizione	Solo definizione	Solo definizione
24	2.4.1(1)P Coefficienti parziali per le proprietà del materiale – tav 2.3	$\gamma_M$	Solid timber 1,3 Glulam 1,25 LVL, plywood 1,2 Connections 1,3	1,3	Massiccio 1,3 Lamellare 1,25 Microlamellare; compensato 1,2 Unioni 1,3	Massiccio 1,3 Lamellare 1,25 Microlamellare; compensato 1,2 Unioni 1,3	Massiccio 1,3 Lamellare 1,25 Microlamellare; compensato 1,2 Unioni 1,3
50	6.4.3(7) Travi a doppia pendenza – travi curve con vertice curvo o a cuspid	Tensione trasversale alle fibre nella zona di vertice $\sigma_{t,90,d}$	Scelta tra due formule alternative 6.54 – 6.55	6.54	6.54	6.54	6.54
56	7.2(2) Valori limiti per la freccia massima	$w_{lim}$ (freccia istantanea) $w_{lim,fin}$ (freccia finale depurata della monta iniziale) $w_{fin}$ ( $w_{lim} - w_{lim,fin}$ )	$l/300 - l/500$ $l/250 - l/350$ $l/150 - l/300$	na na $l/200$	na na $l/200$	$l/300$ $l/250$ $l/200$	$l/300$ $l/250$ $l/200$
57	7.3.3(2) Limitazione delle vibrazioni per i piani residenziali	Parametri a, b	$0 < a < 4$ $50 < b < 150$	$a = 1,5$ mm/kN $b = 100$	na	$a = 1,0$ mm/kN $b = 120$	$a = 1,0$ mm/kN $b = 120$
67	8.3.1.2(4) Connessioni chiodate legno-legno. Regole per i chiodi infissi nelle teste.	Resistenza alle forze laterali	Proposta di considerare anche il contributo dei chiodi infissi “di testa” riducendone la resistenza ad 1/3 8.3.1.2(4)	Proposta del paragrafo 8.3.1.2(4) accettata	Proposta del paragrafo 8.3.1.2(4) accettata	Proposta del paragrafo 8.3.1.2(4) accettata	Proposta del paragrafo 8.3.1.2(4) accettata
68 69	Connessioni chiodate legno-legno. Specie sensibili allo splitting.	Indicazione delle specie particolarmente sensibili allo splitting per le quali applicare le formule 8.18 o 8.19	Abete bianco Douglasia	na	na	Abete bianco Douglasia	Abete bianco Douglasia
96	9.2.4.1(7) Metodi per il calcolo delle pareti-diaframma.	Pareti-diaframma. Metodi semplificati per il calcolo. Metodo A (9.2.4.2) Metodo B (9.2.4.3)	Raccomandato: metodo A	Metodo A	Metodo A	Metodo A	Metodo A
104	9.2.5.3(1) Controventamento di sistemi di travi e reticolari.	Fattori di modificazione $k_c$ per la resistenza $k_{c,2}$ e la rigidità dei sistemi controventanti $k_{c,1}$	4-1 50-80 80-100 30-80	na 50 80 30	na 80 100 30	4 80 100 30	4 60 80 30
109	10.9.2(3) Regole speciali per reticolari con collegamenti a mezzo di piastre dentate.	Limitazione delle deformazioni nella struttura assemblata prima del montaggio $\sigma_{lim,perm}$ (massima distorsione permanente per singolo componente)	10-50 mm	na	na	20 mm	20 mm
109	10.9.2(4) Regole speciali per reticolari con collegamenti a mezzo di piastre dentate.	Limitazione delle deformazioni nella struttura assemblata prima del montaggio $\sigma_{lim,perm}$ (massima deviazione della reticolare dal piano verticale)	10-50 mm	na	na	20 mm	30 mm

Tabella 0-1 Comparazione tra i documenti normativi emessi e relativi alle strutture in legno. Tratta da  
[3].

In questo lavoro si è scelto di riferirsi principalmente al testo dell'Eurocodice 5, poiché tale testo è un documento europeo sul quale vi è stato un ampio accordo.

Citiamo infatti da [3]:

L'Eurocodice 5 nella versione EN si presenta con un format molto diverso da quello della versione ENV - in effetti nessuno dei componenti del PT originale ha fatto parte del PT di conversione. Il documento che ne è uscito raccoglie i commenti fatti durante il periodo di inchiesta pubblica più altri commenti avanzati in itinere dai vari Paesi durante i lavori della SC5.

I vari *background documents* sono stati sistematicamente vagliati a livello internazionale, secondo una tradizione ormai consolidata nel "mondo" delle Strutture di Legno durante i meeting annuali della Commissione W18 del CIB.

I Nationally Determined Parameters (NDPs) sono comunque solo 12, a testimonianza del fatto che c'è stato una notevole comunità di vedute fra gli esperti dei vari Paesi.

Data la sostanziale somiglianza tra l'approccio proposto da Eurocodice 5 e dal documento Nicole, il programma di verifica è stato approntato per entrambe le normative. Per quanto riguarda le NTC 2005, anche queste sono state approntate, intendendole come un insieme di correzioni al metodo generale di EC5 (vedremo dove) che però resta sostanzialmente invariato.

## Modalità di calcolo

### Premessa

L'Eurocodice 5 è una norma basata sul metodo degli stati limite. Invero, per lunga tradizione, il metodo delle tensioni ammissibili continua a mantenere la sua importanza, e gli stessi normatori dichiarano che (cfr. [3])

Il coefficiente di sicurezza  $\gamma_M$  è stato calibrato in modo da avere mediamente gli stessi dimensionamenti che si hanno attualmente con il metodo delle tensioni ammissibili.

Nel caso delle norme per il legno, in verità, l'esistenza di metodi tradizionalmente consolidati basati sul calcolo delle tensioni ha lasciato più che altrove tracce visibili. Quando parleremo dei domini di resistenza, sarà messa in luce una certa anomalia delle formule di verifica, anomalia dovuta, secondo chi scrive, al non completo distacco dall'antico metodo delle tensioni ammissibili. Il cuore del problema è che le formule di verifica dovrebbero essere formule riferite a domini limite sulla sezione, e non al calcolo di tensioni (o indici di cimento) nel singolo punto. Poiché però questi domini limite sono ancora espressi mediante tensioni, può sorgere il ragionevole dubbio di dover usare tensioni nel punto piuttosto che azioni interne globalmente agenti sulla sezione della membratura.

Il metodo degli stati limite è dettagliatamente codificato, e comporta da un lato l'amplificazione dei carichi attesi, dall'altro la riduzione delle resistenze.

Per prima cosa occorrerà mettere a punto un certo numero di combinazioni di verifica adottando le regole di combinazione degli Eurocodici. L'argomento si presta ad una certa confusione, spesso favorita da formule scritte in maniera scorretta sia nelle norme che sui libri. Si ritiene pertanto utile dedicare a questo problema una successiva sezione in modo da fare un po' di chiarezza su alcuni aspetti fondamentali.

Il modello di calcolo da adottare è nella maggioranza dei casi un modello doppiamente lineare: lineare come modello costitutivo per il materiale e lineare per l'ipotesi di piccoli spostamenti che consente di non avere la cosiddetta "non linearità geometrica". In altre parole normalmente non è necessario tenere in conto il fatto che la vera configurazione di equilibrio non è quella "iniziale" ma solo quella raggiunta dopo aver applicato il carico. Le forze applicate, infatti, possono provocare effetti non correttamente valutati usando la configurazione iniziale come riferimento. Un classico esempio è quello della colonna pressoinflessa: il braccio acquisito dalla forza assiale dopo la flessione può portare a flessioni ulteriori (effetto P- $\Delta$ , "pi-delta") con incremento dei momenti flettenti rispetto a quelli valutati nella configurazione indeformata.

L'EC5 non dà precise indicazioni quantitative per decidere se usare un approccio totalmente lineare (calcoli del primo ordine privi di non linearità geometrica) o se usare calcoli del secondo ordine (ovvero calcoli che considerino la non linearità geometrica). Occorrerà quindi valutare se usare un approccio del secondo ordine sulla base dei risultati di deformabilità ottenuti mediante una analisi "normale", e mediante regole di buona pratica ingegneristica come il controllo di spostamento e la stima degli effetti "del second'ordine".

## Stati limite

### Inquadramento

Il metodo di calcolo proposto dall'Eurocodice 5 è come si è detto un metodo di calcolo basato sugli stati limite.

Non è questa la sede per una dettagliata esposizione del metodo semiprobabilistico agli stati limite, qui basti riepilogare le idee fondamentali, rimandando ad altri testi i necessari approfondimenti.

La struttura deve essere verificata sia per gli stati limite di servizio che per gli stati limite ultimi.

Negli stati limite di servizio si verifica che gli spostamenti attesi sulla struttura siano compatibili con certe prefissate soglie di spostamento massimo. Nel calcolare questi spostamenti si deve tenere in conto sia l'effetto dello scorrimento delle unioni, sia l'effetto della viscosità, che aumenta con l'aumentare della umidità media dell'ambiente ove si trova la struttura (classe di servizio). Devono altresì essere verificati i livelli delle vibrazioni attesi sulla struttura.

Negli stati limite ultimi occorre verificare la struttura, in tutte le sue parti, all'equilibrio globale e parziale, alla resistenza ed alla stabilità, mettendo in conto tutte le possibili azioni interne e tutte le possibili modalità di instabilità. Una particolare cura va adoperata nel sincerarsi che la struttura possa essere calcolata con metodi del primo ordine, in caso contrario occorrerà risolvere un problema di tipo nonlineare.

Nella verifica agli stati limite ultimi le azioni vengono opportunamente amplificate e le resistenze opportunamente ridotte.

Le azioni aventi una origine fisica comune e statisticamente pienamente correlate sono raggruppate in casi di carico. Il valore delle azioni di riferimento è ottenuto in vario modo a seconda della origine fisica delle azioni. Per le azioni naturali esistono studi di tipo statistico, per quelle permanenti si usano spesso valori nominali. In tutti i casi il metodo richiede, in linea di principio, di impiegare valori cosiddetti *caratteristici*, ovvero valori che hanno una certa prefissata piccola probabilità di essere superati. In genere si usano valori caratteristici corrispondenti alla probabilità del 5% di essere superati. I carichi caratteristici sono indicati da un pedice “k”, ad esempio  $G_k$ .

Nelle combinazioni di carico le azioni vengono considerate concomitanti e amplificate da fattori che tengono in conto possibili errori o imprevisti. Alle creazione delle combinazioni, un argomento non semplice, è dedicata la prossima sezione 2.3.

Vediamo ora cosa succede sul lato delle resistenze. Anche sul lato delle resistenze si definiscono dei valori caratteristici, indicati col pedice k, ad esempio  $R_k$ . In questo caso si tratta di valori che hanno una ridotta probabilità di essere maggiori dei valori effettivi, mentre hanno il grosso della probabilità (generalmente il 95%) di essere *minori* dei valori effettivi. Nel metodo degli stati limite, generalmente le resistenze caratteristiche vengono divise per opportuni coefficienti di sicurezza  $\gamma_M$ , atti a tenere in conto tutte le possibili circostanze sfavorevoli, in modo da pervenire a resistenze di progetto – indicate dal pedice “d”, design –  $R_d$ :

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M} \quad \text{ý0-1}$$

Nel caso delle strutture in legno questa relazione generale viene ulteriormente corretta per aggiungere un nuovo fattore minore di 1, che prende il nome di  $K_{mod}$ , il quale riduce ulteriormente le resistenze per tener conto dell'ambiente nel quale si trova ad operare la struttura, ambiente che può portare a ben differenti prestazioni il medesimo materiale. La regola che fa passare dai valori caratteristici a quelli di progetto è pertanto la seguente:

$$R_d = K_{mod} \frac{R_k}{\gamma_M} \quad \text{ý0-2}$$



La regola, sebbene meno nota, è un caso generale previsto esplicitamente nell'Eurocodice 0, [9], nella seguente forma

$$X_d = \eta \frac{X_k}{\gamma_M}$$

Per il coefficiente  $\eta$  viene detto:

“ $\eta$  è il valor medio del fattore di conversione che tiene in conto effetti di volume e di scala, effetti dell'umidità e della temperatura e ogni altro parametro rilevante.”

Nel successivo paragrafo 2.4.5 verrà chiarito che valori assumere per il coefficiente  $K_{mod}$ .

## Eurocodice 5

Il valore del coefficiente  $\gamma_M$  è evidentemente molto importante, poiché è una misura del grado di confidenza che il normatore ha nei riguardi del materiale, e penalizza direttamente le sue caratteristiche resistenti.

L'Eurocodice 5 fissa i seguenti valori per  $\gamma_M$ :

Tipo di legno	Massiccio	Lamellare	LVL, compensato
Valore di $\gamma_M$	1,30	1,25	1,2

Tabella 0-2 Valori di  $\gamma_M$  secondo EC5 e N.I.CO.LE.

Nelle combinazioni accidentali (ad esempio le combinazioni sismiche) il valore di  $\gamma_M$  viene posto eguale ad 1. Al momento non esiste ancora un documento nazionale approvato a recepimento dell'Eurocodice 5, quindi questi valori sono solo indicativi. Il documento NICOLE propone valori identici.

## NTC

Relativamente alle NTC 2005 [1] va detto che per esse il coefficiente  $\gamma_M$  vale sempre e comunque 1.35.

Norma	Tipo di legno	Massiccio	Lamellare	LVL, compensato
NTC 2005	Valore di $\gamma_M$	1,35	1,35	1,35

NTC 2008	"	1,50	1,45	1,40
NTC2018	"	1,50	1,45	1,40

Tabella 0-3 Valori di  $\gamma_M$  secondo NTC

Tali norme non seguono però l'approccio formale dell'Eurocodice 5 e modificano la relazione classica degli Eurocodici, si immagina all'unico fine di creare confusione, nel seguente modo:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_{R,D} \gamma_M} \quad \gamma_{0-3}$$

Ovvero

$$K_{mod} = \frac{1}{\gamma_{R,D}} \quad \gamma_{0-4}$$

I valori di  $\gamma_{R,D}$  sono forniti insieme a quelli per  $K_{mod}$ , nel par. 2.4.5, infatti, per comprendere come assegnare il valore di  $K_{mod}$  (e di  $\gamma_{R,D}$ ) occorre prima introdurre le classi di servizio e la durata dei carichi, cosa che sarà fatta nella sezione relativa al materiale legno 2.4.

Come si può ben comprendere il diverso formalismo introdotto dalle NTC non modifica l'impianto sostanziale fornito dall'Eurocodice 5, ma si limita a confondere un po' le acque. Di fatto è possibile fare dei calcoli in aderenza alle NTC semplicemente usando l'impianto generale dell'EC5, ma ridefinendo i valori di  $\gamma_M$  e di  $K_{mod}$  in modo che questi sposino le richieste delle NTC in termini di resistenze di progetto. Tale è il metodo seguito dal software allegato nel CD.

## Introduzione alla modellazione del materiale legno

### Alcune peculiarità del materiale legno

Il legno non è un materiale isotropo, né elastico, né omogeneo. Il comportamento del legno dipende da una moltitudine di fattori, tra i quali enumeriamo brevemente, ai nostri fini, principalmente i seguenti:

- La presenza di difetti
- L'umidità dell'ambiente ove il legno si trova
- La durata del carico che deve sopportare
- La direzione dello sforzo rispetto a quella della fibratura
- La tipologia del materiale (legno massiccio, legno lamellare, legno microlamellare, ecc.).

## Sensibilità ai difetti

Il materiale legno è un materiale biologico e pertanto intrinsecamente dotato di irregolarità di varia specie. Tali irregolarità (mancanza di rettilineità, presenza di nodosità, fessurazioni, inclusioni, legni di reazione ecc., cfr [6]) contribuiscono certamente a modificare anche le proprietà meccaniche. A questi difetti di natura endogena si sommano difetti causati da agenti esterni al legno (e quindi di natura esogena), tipicamente attacchi da parte di insetti, batteri funghi e microrganismi in genere (attacchi *biotici*) e attacchi dovuti ad agenti chimici o chimico-fisici presenti nell'ambiente (attacchi *abiotici*).

Nonostante ciò il legno è un materiale da costruzione che presenta numerosi indiscutibili vantaggi, come un favorevolissimo rapporto tra resistenza e peso, e valori di resistenza anche molto significativi. Può forse risultare sorprendente che, nonostante tutte le cause che rendono il legno così poco omogeneo, e comunque di così complesso studio, il Normatore abbia scelto di assegnare al fattore  $\gamma_M$ , vero e proprio termometro della fiducia attribuita al materiale da parte della collettività, valori comunque ben più bassi (1.25-1.35), e quindi più favorevoli, di quelli attribuiti al calcestruzzo (1.5-1.6). A tale riguardo è utile la seguente osservazione, tratta da [3]:

Il coefficiente di sicurezza  $\gamma_M$  è stato calibrato in modo da avere mediamente gli stessi dimensionamenti che si hanno attualmente con il metodo delle tensioni ammissibili. In relazione al confronto col coefficiente di sicurezza, più alto, adottato per il calcestruzzo, si ritiene di esporre quanto segue:

1. Ogni pezzo strutturale ligneo prima della messa in opera, per rientrare nel campo di applicazione dell'Eurocodice, deve essere sottoposto a "prova" ed assegnato ad una precisa classe di qualità che ne identifica le prestazioni di resistenza alle varie sollecitazioni (classificazione secondo la resistenza). Conseguenza: viene meno l'incertezza sulla corrispondenza tra la resistenza dei provini sottoposti a prova e quella del materiale posto in opera, i.e. differenza fra la resistenza del calcestruzzo dei cubetti e quella del calcestruzzo del getto in opera.
2. Le resistenze del legno alle varie sollecitazioni meccaniche vengono ricavate dai risultati di prove sperimentali interpretati sulla base di formule modello che sono le stesse che poi, all'inverso, vengono usate per il calcolo dei valori di progetto delle resistenze in questione. Ad esempio: la resistenza a flessione  $f_{m,k}$  di un "tipo di legno" strutturale (identificato da specie, provenienza e categoria) la si ricava sulla base dei risultati di migliaia di prove a flessione per ognuna delle quali il momento di rottura sperimentale viene diviso per il  $W$  della sezione. A ritroso, la capacità portante a flessione della sezione di una trave realizzata con un certo tipo di legno, la si ricava moltiplicando la resistenza a flessione  $f_{m,k}$  prima trovata, per il  $W$  della sezione. Conseguenza: viene meno l'incertezza sul modello di calcolo, e.g. la capacità resistente a flessione di una sezione in c.a. si calcola sulla base della resistenza a compressione del calcestruzzo ricavata da prove su cubetti e su una ipotesi di distribuzione delle tensioni di compressione al di sopra dell'asse neutro.
3. La coda inferiore della distribuzione delle resistenze nel legno strutturale di più corrente utilizzo tende ad essere tronca: infatti meno di tanto un legno classificato secondo la resistenza – e non scartato come troppo difettoso da essere inadatto all'uso strutturale – non può resistere. Conclusione: per un certo "tipo di legno" l'incertezza sui valori minori delle resistenze è ridotta rispetto al calcestruzzo, dove la distribuzione delle resistenze è normale.

Si vede quindi che il fatto di adoperare legni identificati non già semplicemente dalla loro specie botanica (abete, castagno, ecc.) ma soprattutto e fondamentalmente da sigle normate aventi il significato di "classe di resistenza" valutata a priori mediante prove ben specifiche (C30, C24, GL28h, ecc.) ha la fondamentale funzione di scartare a priori tutta una rilevante parte di incertezze, pervenendo quindi a dettagliare materiali che sono già stati assoggettati a sostanziali controlli di qualità.

Nonostante ciò, la presenza di difetti resta un elemento importante nella valutazione quantitativa convenzionale delle resistenze di un legno.

Sulla base di risultati sperimentali e studi condotti a partire dagli anni '40, si è compreso che la presenza di microdifetti o piccoli intagli all'interno della matrice di un qualsiasi materiale, dà luogo a concentrazioni degli sforzi che possono innescare fratture che tendono poi a propagarsi. Poiché la presenza di tali difetti è tanto più probabile quanto più elevato è il volume del materiale allo studio, risulta qualitativamente comprensibile penalizzare i volumi maggiori, o, in alternativa, premiare i volumi minori

mediante correzioni delle resistenze caratteristiche valutate, nel primo caso con provini di piccolo volume, nel secondo caso con provini di volume maggiore.

Ad esempio nel caso dell'acciaio, le norme prevedono una diminuzione delle tensioni limite di riferimento nel caso in cui gli spessori superino certe soglie (tipicamente 40 mm). Normalmente le prove sono eseguite con spessori minori di 40 mm.

Nel caso del legno avviene il viceversa: l'Eurocodice 5 premia, mediante un incremento della resistenza caratteristica, i volumi di legno inferiori a una certa soglia, individuata dalla dimensione trasversale.

In particolare risulta per il legno massiccio la seguente regola di modifica della tensione caratteristica a flessione  $f_{mk}$ :

$$f_{mkmod} = k_h f_m$$

Il fattore  $k_h$  dipende dal tipo di legno e dalla dimensione della sezione. Per sezioni in legno massiccio, con densità caratteristica inferiore a 700 Kg/mc, ove l'altezza della sezione inflessa sia minore di 150 mm, la tensione caratteristica a trazione può essere amplificata del fattore

$$k_h = \min \left\{ \left( \frac{150}{d} \right)^{0.2} ; 1.3 \right\}$$

Per sezioni di legno lamellare, ove l'altezza sia minore di 600 mm, la tensione caratteristica a trazione può essere amplificata del fattore

$$k_h = \min \left\{ \left( \frac{600}{d} \right)^{0.2} ; 1.15 \right\}$$

#### Sensibilità alla umidità dell'ambiente

Il livello di umidità dell'ambiente dove la struttura in legno si trova a funzionare incide direttamente sulla sua capacità portante. Ciò accade perché le fibre del legno sono in grado di includere acqua o di espellerla, modificando in questo modo le prestazioni meccaniche.

Un ambiente maggiormente umido comporta una minore resistenza meccanica ed una maggiore deformabilità.

Al fine di tenere in conto l'effetto dell'ambiente sulla resistenza meccanica, l'Eurocodice 5 e la norma Nicole, prevedono un coefficiente denominato  $k_{mod}$ , che modifica le normali formule atte a calcolare le resistenze di progetto a partire da quelle caratteristiche. La formula proposta è:

$$R_d = k_{mod} \frac{R_k}{\gamma_M}$$

Il coefficiente  $K_{mod}$  dipende dal tipo di ambiente nel quale la struttura si trova a funzionare e dalla durata del carico applicato.

L'Eurocodice 5 distingue tre distinte *classi di servizio* in funzione dell'ambiente (e quindi della umidità) nella quale la struttura si trova a lavorare.

#### **Classe di servizio 1**

L'umidità relativa dell'ambiente non supera il 65% se non per poche settimane all'anno, l'umidità del legno è in equilibrio con quella dell'aria avente la temperatura media di 20°C. Nella maggior parte dei legni di conifera ciò implica una umidità media inferiore al 12%.

#### **Classe di servizio 2**

L'umidità relativa dell'ambiente non supera l' 85% se non per poche settimane all'anno, l'umidità del legno è in equilibrio con quella dell'aria avente la temperatura media di 20°C. Nella maggior parte dei legni di conifera ciò implica una umidità media inferiore al 20%.

#### **Classe di servizio 3**

L'umidità relativa dell'ambiente supera quella della classe 2.

Relativamente alle classi di servizio vi è piena identità di definizione tra Eurocodice 5 e documento Nicole.

Il documento italiano di applicazione dell'Eurocodice 5 (NAD), ancora non approvato ma in fase di studio, reperibile in [www.cordinatore.it](http://www.cordinatore.it), propone di assegnare le classi di servizio anche in base ai seguenti possibili esempi:

- Classe 1: strutture al chiuso in zone asciutte e riscaldate
- Classe 2: strutture al chiuso in zone non riscaldate senza particolari fonti di umidità, strutture all'esterno protette dall'acqua
- Classe 3: strutture al chiuso in presenza di forti concentrazioni di umidità; strutture all'esterno esposte a precipitazioni atmosferiche, o comunque all'acqua.

Le NTC 2005 non definiscono tre classi di servizio, ma solo 2. La prima coincide di fatto con la prima classe di servizio dell'Eurocodice 5 e delle norme Nicole, la seconda necessariamente con le altre due. Non è chiara a chi scrive la ragione per cui si è modificato quanto così cristallinamente previsto dall'Eurocodice 5 e dalle norme N.I.CO.LE..

Classe di servizio secondo EC5, NTC2008 NTC 2018 e  
Nicole

Classe di servizio secondo NTC2005

1

2

1

2

3

2

**Tabella 0-4 Corrispondenza tra classi di servizio norme EC5 e NTC**

Sensibilità alla durata del carico

La durata del carico ha una notevole importanza nelle verifiche sulle strutture in legno, sia sulle verifiche di resistenza e stabilità, sia sulle verifiche di deformabilità.

La sostanza del problema è che il legno tende ad avere un comportamento mutevole nel tempo anche a parità di carico, e quindi le prestazioni che si possono attendere dipendono dalla durata del tempo di applicazione del carico.

L'Eurocodice 5 e le norme italiane Nicole, prevedono alcune “classi di durata” per le azioni applicate, in base ad una classificazione che è indipendente dalla origine fisica delle azioni (neve, carichi variabili o carichi “permanentì”).

Le classi di durata previste da queste norme sono descritte nella tabella successiva:

Classe (EC5, Nicole, NTC2008/2018)	Sigla	Lasso di tempo
Carichi permanenti	PE	Più di dieci anni
Carichi di lunga durata	LT	Da sei mesi a dieci anni
Carichi di media durata	MT	Da una settimana a sei mesi
Carichi di breve durata	ST	Meno di una settimana
Carichi istantanei	IN	Istantanei

**Tabella 0-5 Classificazione della durata dei carichi secondo EC5**

La “sigla” della tabella precedente allude alla terminologia inglese (PE “permanent”, LT “long term”, MT “medium term”, ST “short term”, IN “instantaneous”), ed è impiegata dal programma che esegue le verifiche: ogni caso di carico deve avere un nome che termina con “(XX)”, dove XX sono le due lettere della classe di durata assegnata al caso di carico in questione. E' tassativo aggiungere tale codifica in coda al nome altrimenti il programma non può riconoscere la classe di durata del caso di carico. Il lasso di tempo indica il periodo di tempo durante il quale la azione agisce.

E' ben evidente che non è possibile catalogare in modo assoluto la durata sulla base del tipo: un carico da neve in Sicilia sarà probabilmente ST, mentre in Finlandia sarà verosimilmente MT. Per questo

motivo l'EC5 lascia liberi gli Stati membri di specificare, per mezzo dei National Application Document (NAD), come incasellare le singole azioni.

In Italia esiste una proposta di NAD (cfr [www.coordinatore.it](http://www.coordinatore.it)) ma tale documento non è ancora stato approvato ufficialmente.

Stando a questo documento si possono “tradurre” le classi di durata per mezzo delle seguenti assunzioni:

- Il vento è considerato un carico istantaneo (IN).
- La neve Q è considerata di media durata (MT) per la parte 2Q, di breve durata (ST) per la parte (1-2)Q. Siccome però per la neve è di solito proposto  $2=0$ , ciò viene a dire che la neve sarebbe di breve durata (ST).

L'Eurocodice 5 fornisce, nella tabella 2.2, le seguenti esemplificazioni:

- Permanenti: peso proprio
- Lungo termine: magazzini
- Medio termine: carico applicato sui piani, neve
- Breve termine: neve, vento
- Istantanei: vento, carichi imprevisi (“accidentali” nella terminologia europea).

Poiché le verifiche non sono condotte sui casi di carico elementari, ma sulle combinazioni, è evidente che potranno figurare contemporaneamente carichi appartenenti a differenti classi di durata. In questo caso le norme (tutte le norme) suggeriscono di considerare la combinazione come appartenente alla classe di durata del carico avente la durata minore, tra quelli effettivamente presenti nella combinazione. Quindi se in una combinazione è presente ad esempio un carico di breve durata ed un carico permanente, la combinazione sarà assimilata alla classe di breve durata, ovvero, come vedremo, a quella più favorevole. Poiché esistono comunque sempre combinazioni che includono i soli permanenti, la struttura verrà saggiata in un ampio insieme di condizioni e con differenti parametri di calcolo.

La regola anzidetta fa sì che sia sempre necessario indagare tutte le combinazioni effettivamente sensate per la struttura in oggetto, e quindi – se possibile – aumenta l'importanza e la validità delle osservazioni già fatte nel paragrafo dedicato alle combinazioni di carico.

Le NTC 2005 indicano anziché cinque classi solo tre classi, riepilogate nella tabella seguente.

Classe (NTC)	Durata
Permanente	Non specificata



Variabili di lunga durata

Non specificata

Variabili di breve durata

Non specificata

**Tabella 0-6 Classificazione della durata dei carichi secondo NTC**

Come si vede le NTC 2005 non specificano una durata, ma invece danno direttamente degli esempi di classi di appartenenza. Risulta in particolare:

- Permanenti: peso proprio e carichi non rimuovibili durante il normale esercizio della struttura.
- Variabili di lunga durata: carichi permanenti suscettibili di cambiamenti durante il normale esercizio della struttura e carichi variabili in generale.
- Variabili di breve durata: azioni del vento, della neve, del sisma, azioni termiche ed azioni accidentali.

L'analisi dei valori numerici per i fattori di calcolo proposti da NTC lascia intendere, come vedremo in par. 2.4.5, che la classe di durata "istantanea" sia di fatto sparita, e così la classe di durata media. Pertanto, dopo l'analisi dei coefficienti (che sarà fatta in par. 2.4.5) si può ritenere che valga non solo in termini lessicali la seguente corrispondenza tra le classi di durata previste da Eurocodice 5 e Nicole, da una parte, ed NTC dall'altra.

EC5, NTC 2008, NTC 2018 e Nicole

NTC 2005

Permanenti

Permanenti

Lunga durata

Lunga durata

Media durata

Lunga durata

Breve durata

Breve durata

Istantanei

Breve Durata

**Tabella 0-7 Corrispondenza tra la durata dei carichi secondo EC5 e quella secondo NTC**

Poiché la classe di durata istantanea è sparita da NTC si sarà costretti ad adottare la classe di breve durata, che è la minima possibile, e perciò ad aumentare i coefficienti di sicurezza. Tale è la sorte delle azioni accidentali e del vento, reputati "istantanei" da EC5 e norme Nicole, ma solo "di breve durata" da NTC.

Risulta evidente l'impoverimento (qualcuno direbbe la "semplificazione", noi preferiamo dire impoverimento) introdotto dalle NTC, peraltro del tutto ingiustificato visto che una norma italiana, la Nicole, aveva già recepito l'impianto di Eurocodice 5.

Dato che quanto previsto da NTC scompagina l'assunto di norme ben più articolate, senza costituire un corpus normativo altrettanto esteso e coerente, ci pare che queste dovrebbero essere messe da parte, eventualmente recependo – a favore di sicurezza – i maggiori fattori  $\gamma_M$  da questa introdotti.

#### Effetti legati alla direzione dello sforzo

In questo lavoro si farà l'ipotesi che le travi rettilinee siano fatte in modo tale che la direzione degli sforzi normali principali coincida con quella della fibratura. Tale ipotesi è coerente con analoghi ipotesi fatta in Eurocodice 5 relativamente al calcolo di elementi monodimensionali tipici, e dipende essenzialmente dal fatto che per loro natura le travi necessitano di una direzione prevalente che non può che coincidere con la direzione delle fibre del legno: del resto in natura un tronco d'albero è appunto un elemento presso inflesso e la direzione delle fibre coincide con l'asse dell'elemento con buona approssimazione. La direzione allineata con le fibre è individuata nelle norme mediante il pedice "0" (zero).

Una evidente eccezione è costituita dalle travi curve, dalle travi rastremate a semplice e doppia pendenza. Queste necessitano di opportune correzioni che tengano in conto il fatto che le tensioni di flessione non sono ovunque allineate con la fibratura. Tali travi sono al di fuori del campo di applicazione del software sul CD e non sono pertanto descritte in questo lavoro.

Il comportamento del materiale legno in direzione ortogonale rispetto alle fibre è ben diverso da quello in direzione delle fibre. Verifiche locali a trazione o compressione in direzione normale alle fibre possono essere dimensionanti, in certi casi. La direzione ortogonale alle fibre è individuata dal pedice "90" (90 gradi). Le verifiche locali riguardano in specie le zone degli appoggi, nelle quali le reazioni dei vincoli possono indurre localmente tensioni ortogonali alle fibre, oppure dettagli di unione che trasferiscono le azioni per mezzo di tensioni agenti in direzione inclinata rispetto alle fibre, o le zone di applicazione di rilevanti carichi concentrati.

In questo lavoro ci riferiremo essenzialmente agli effetti delle tensioni normali agenti parallelamente alle fibre.

#### Tipologia del materiale

La tipologia del materiale di cui è costituito l'elemento influisce sui coefficienti di sicurezza da adottare nel calcolo. In generale possiamo distinguere le seguenti tipologie di materiale di base:

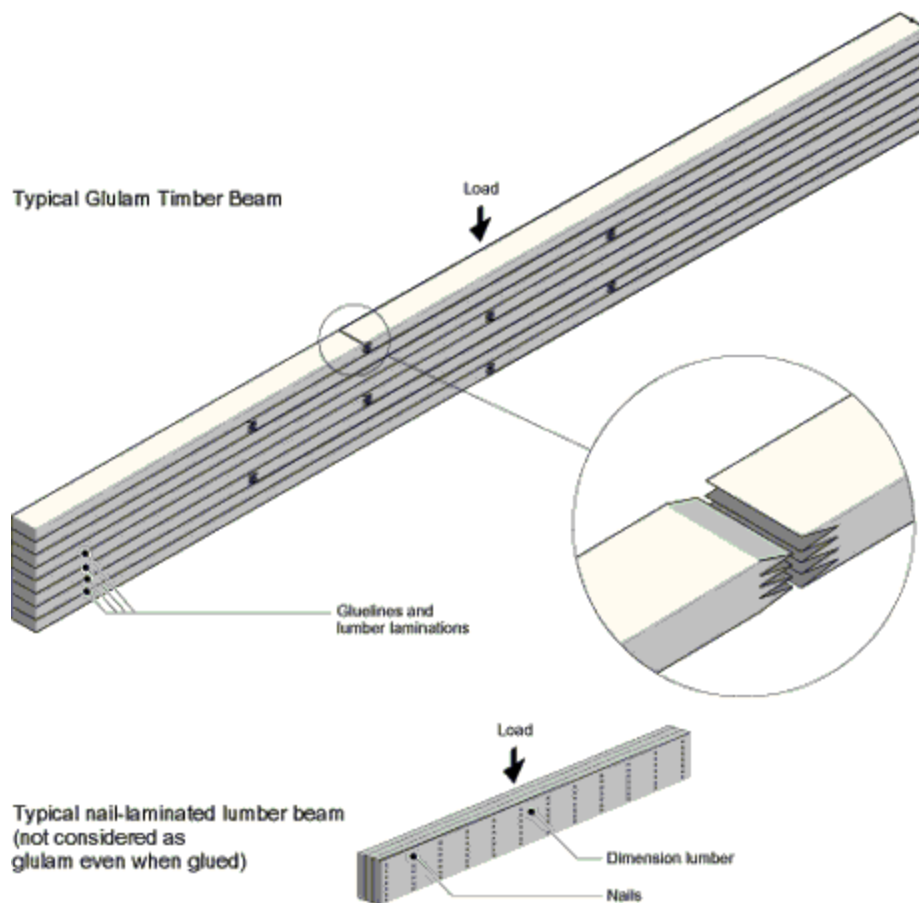
- legno massiccio (*solid timber*);
- legno lamellare incollato (*glued laminated timber, glulam*);

- legno microlamellare (LVL, *laminated veneer lumber*);
- legno compensato (*plywood*);
- OSB (*oriented strand board*);
- Pannelli di particelle (*particleboard*);
- pannelli di fibre “duri” (*fibrebord hard*);
- pannelli di fibre “semiduri” (*fibrebord medium*);
- pannelli di fibre “teneri” (*fibrebord*).

Poiché questo lavoro si occupa di elementi monodimensionali, di fatto le tipologie possibili sono limitate alle seguenti:

- legno massiccio (*solid timber*);
- legno lamellare incollato (*glued laminated timber, glulam*);
- legno microlamellare (LVL, *laminated veneer lumber*).

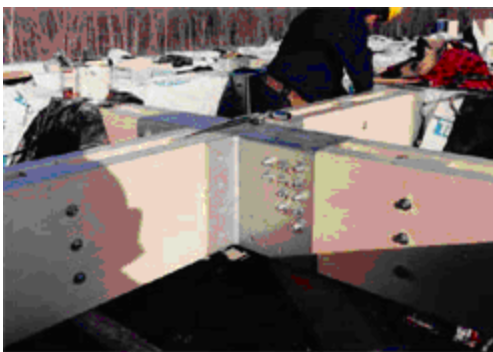
Il legno lamellare incollato è ottenuto dalla riunione di lamine di legno incollate tra loro ed unite mediante giunti di varia specie. La possibilità di scartare le lamine difettate e disporre con cura la orditura delle fibre consente di realizzare un materiale con elevate caratteristiche di resistenza, impregiudicate dalla presenza di collanti sintetici ad alta resistenza.



**Figura 1 Struttura del legno lamellare incollato (dal sito [www.cwc.ca](http://www.cwc.ca), Canadian Wood Council)**

In genere le lamelle hanno uno spessore inferiore ai 40 mm (spesso ha il valore di 33 mm) ed una larghezza inferiore a 220 mm. La riunione di lamelle attentamente controllate consente di ottenere prestazioni meccaniche superiori a quelle del legno di partenza: vengono infatti eliminati i difetti (e questo spiega il fatto che il  $\gamma_M$  previsto dall'Eurocodice 5 per il legno lamellare, 1.25, sia inferiore a quello previsto per il legno massiccio, 1.30. Le NTC, invece, trattano tutti i tipi allo stesso modo con un valore di 1.35).

Inoltre, la possibilità di riunire pezzi piccoli consente di ottenere sezioni maggiori a quelle ottenibili con il legno naturale, e di forma non rettilinea ma arcuata nel modo desiderato. E' poi possibile realizzare legni lamellari combinati mediante riunione di lamelle provenienti da legnami aventi caratteristiche meccaniche differenti: tale ulteriore possibilità consente di disporre il materiale di miglior qualità dove effettivamente serve e quindi di sfruttare al meglio il materiale.



**Figura 2** Legno Microlamellare in opera (dal sito [www.cwc.ca](http://www.cwc.ca), Canadian Wood Council)

Il legno microlamellare è ottenuto da lamine di spessore considerevolmente minore del lamellare normale (2.5-4.8 mm) e presenta una elevata omogeneità di comportamento, tanto che il suo valore di  $\gamma_M$  è ancor minore di quello del legno lamellare (1.20 anziché 1.25 secondo Eurocodice 5, mentre il solito 1.35 secondo le NTC).

Le lamine vengono vagliate ed ordinate in base alla loro qualità (con gli scarti del caso), poi vengono tagliate ed infine unite mediante collanti speciali. Il fatto che l'elemento tipico abbia spessore circa 10 volte minore di quello del legno lamellare fa comprendere la ragione per cui questo materiale presenta una omogeneità particolarmente elevata. In questo modo il difetto tipico è di dimensioni minori e viene maggiormente disseminato nel volume finale.

### **Dati identificativi del materiale legno**

Ai fini del calcolo di dimensionamento ogni tipo di legno viene classificato mediante la valutazione di un certo numero di proprietà meccaniche, l'insieme delle quali identifica il materiale per il suo utilizzo in ambito strutturale.

Queste proprietà meccaniche sono indicate nella tabella successiva. Ai fini della comprensione della nomenclatura si ricordi il significato dei seguenti pedici, ampiamente usati nella simbologia:

f	tensione
$\rho$	densità di peso
E	modulo di elasticità di Young
G	modulo di elasticità tangenziale
k	caratteristico
mean	medio
m	medio
m	flessione

c	compressione
t	trazione
v	taglio
0	direzione parallela alle fibre
05	valore caratteristico con frattile del 5%
90	direzione perpendicolare alle fibre

Quantità	Descrizione
$f_{m,0,k}$	Resistenza caratteristica a flessione parallela alle fibre
$f_{t,0,k}$	Resistenza caratteristica a trazione parallela alle fibre
$f_{t,90,k}$	Resistenza caratteristica a trazione perpendicolare alle fibre
$f_{c,0,k}$	Resistenza caratteristica a compressione parallela alle fibre
$f_{c,90,k}$	Resistenza caratteristica a compressione perpendicolare alle fibre
$f_v,k$	Resistenza caratteristica a taglio
$E_{0,mean}$	Modulo di elasticità medio per tensioni parallele alle fibre
$E_{0,05}$	Modulo di elasticità caratteristico (frattile 5%) per tensione parallela alle fibre
$E_{90,mean}$	Modulo di elasticità medio per tensione perpendicolare alle fibre
$G_{mean}$	Modulo di elasticità tangenziale medio
$\rho_k$	Densità di peso caratteristica
$\rho_m$	Densità di peso media

**Tabella 0-8 Elenco dei parametri indispensabili a definire un tipo di legno**

Il valore  $G_{k,05}$  può essere ottenuto da  $G_{mean}$  mediante la seguente formula:

$$G_{k,05} = G_{mean} \frac{E_{0,05}}{E_{0,mean}} \quad \gamma_{0-5}$$

### Materiali codificati

Nelle seguenti tabelle si riportano alcuni dei materiali codificati, con i loro valori meccanici (norma prEN338:2002 “C” e “D” [11] e norma EN1194:1999 per i lamellari incollati, “GL” [12]). Tutti questi materiali sono presenti nell’archivio del programma.

**Tabella 0-9 Materiali normati secondo le EN**

Vale inoltre la seguente attribuzione:

Legni tipo C	Conifere, pioppo
Legni tipo D	Latifoglie escluso pioppo
Legni tipo GL	Lamellari incollati

Nella tabella seguente si riportano i valori di legnami italiani secondo UNI 11035 [13] (*il campo “Nome” è invece stato aggiunto da chi scrive come sigla sintetica*).

Nome	Tipo	f <sub>m0k</sub>	f <sub>t0k</sub>	f <sub>t90k</sub>	f <sub>c0k</sub>	f <sub>c90k</sub>	f <sub>vk</sub>	E <sub>0mean</sub>	E <sub>005</sub>	E <sub>90mean</sub>	G <sub>mean</sub>	ρ <sub>k</sub>	ρ <sub>m</sub>
		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	Kg/mc	Kg/mc
ANS1	Abete nord S1	29.	17.	0.4	23.	2.9	3.0	12000.	8000.	400.	750.	380.	415.
ANS2	Abete nord S2	23.	14.	0.4	20.	2.9	2.5	10500.	7000.	350.	660.	380.	415.
ANS3	Abete nord S3	17.	10.	0.4	18.	2.9	1.9	9500.	6400.	320.	590.	380.	415.
ACSS1	Abete centro sud S1	32.	19.	0.3	24.	2.1	3.2	11000.	7400.	370.	690.	280.	305.
ACSS2	Abete centro sud S2	28.	17.	0.3	22.	2.1	2.9	10000.	6700.	330.	630.	280.	305.
ACSS3	Abete centro sud S3	21.	13.	0.3	20.	2.1	2.3	9500.	6400.	320.	590.	280.	305.
LNS1	Larice nord S1	42.	25.	0.6	27.	4.0	4.0	13000.	8700.	430.	810.	550.	600.
LNS2	Larice nord S2	32.	19.	0.6	24.	4.0	3.2	12000.	8000.	400.	750.	550.	600.

LNS3      Larice      26.      16.      0.6      22.      4.0      2.7      11500.      7700.      380.      720.      550.      600.  
nord S3

**Tabella 0-10 Materiali normati secondo UNI**

Anche questi materiali sono presenti in archivio e verificabili automaticamente.

E' possibile introdurre anche nuovi materiali oltre a quelli codificati. In tal caso occorrerà aggiungere questi materiali al file WoodData.txt presente nella cartella di installazione del programma.

### **Resistenze di calcolo del materiale legno: i coefficienti Kmod e $\gamma_{R,D}$**

Eurocodice 5 e documento NICOLE

Come abbiamo visto le tensioni di progetto  $R_d$  si ricavano da quelle caratteristiche  $R_k$  per mezzo dei due fattori  $\gamma_M$  e Kmod.

$$R_d = K_{mod} \frac{R_k}{\gamma_M}$$

I valori di  $\gamma_M$  sono già stati introdotti al par. 2.2.2 e 2.2.3 mentre i valori del coefficiente Kmod verranno chiariti qui.

Kmod tiene contemporaneamente in conto il tipo di materiale, l'ambiente ove si trova la struttura (classe di servizio) e la durata del carico. I valori presenti sia in Eurocodice 5 sia nelle norme NICOLE sono quelli della tabella successiva.

<b>Materiale</b>	<b>Norma</b>	<b>Classe di servizio</b>	<b>Azioni permanenti</b>	<b>Azioni a lungo termine (LT)</b>	<b>Azioni a medio termine (MT)</b>	<b>Azioni a breve termine (ST)</b>	<b>Azioni istantanee (IN)</b>
<b>Legno massiccio</b>	<b>EN 14081-1</b>	<b>1</b>	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		<b>2</b>	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		<b>3</b>	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
<b>Legno lamellare</b>	<b>EN 14080</b>	<b>1</b>	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		<b>2</b>	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		<b>3</b>	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90



<b>LVL</b>	<b>EN</b>	<b>1</b>	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	<b>14374,</b>	<b>2</b>	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	<b>EN 14279</b>	<b>3</b>	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

Tabella 0-11 Valori di  $K_{mod}$  in accordo ad Eurocodice 5 e NTC 2008/2018 (cfr. Tab. 4.4.IV NTC 2018)

Dato un certo valore di resistenza caratteristica, la resistenza di progetto si ottiene moltiplicando per  $K_{mod}$  e dividendo per  $\gamma_M$ . Poiché i valori di  $K_{mod}$  ed i valori di  $\gamma_M$  dipendono dalla durata del carico *in generale le resistenze di progetto variano a seconda della combinazione di carico in esame*. Per questo motivo non è spesso possibile sapere a priori quale combinazione risulterà maggiormente gravosa.

#### Norme NTC

In questo caso viene definito un fattore  $\gamma_{RD}$ , che agisce a denominatore della tensione caratteristica, insieme al  $\gamma_M$ .

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_{R,D} \gamma_M}$$

I valori tabellati nella norma NTC 2005 [1] sono i seguenti, in cui però occorre osservare che la classe di servizio e le classi di durata del carico non hanno un significato coincidente con quelle dell'Eurocodice.

<b>Materiale</b>	<b>Norma</b>	<b>Classe di servizio</b>	<b>Azioni permanenti</b>	<b>Azioni a lungo termine (LT)</b>	<b>Azioni a breve termine (ST)</b>
<b>Qualsiasi</b>	<b>NTC</b>	<b>1</b>	1.70	1,40	1,10
	<b>2005 [1]</b>	<b>2</b>	2	1,80	1,40

Tabella 0-12 Valori di  $\gamma_{RD}$  secondo le norme [1].

Nell'uso con il programma, si potranno adottare le classi di servizio e le tipologie di durata del carico definite secondo Eurocodice 5 anche se si sceglie di usare le norme NTC, poiché è poi il programma a modificare i coefficienti in accordo a quanto richiesto dalle NTC. In altre parole, se un carico viene etichettato “istantaneo”, nell'uso con le NTC questo sarà considerato di breve durata. Se è

stata definita una classe 3 o 2, questa sarà comunque trattata, usando le NTC, come una classe di servizio 2.

#### Verifiche di deformabilità (SLE)

Le verifiche agli stati limite di esercizio sono di fatto verifiche di spostamento. In generale occorre tenere in conto anche l'effetto sullo spostamento provocato dallo scorrimento delle unioni, ma questo argomento non entra nella presente disamina.

In accordo all'Eurocodice 5 occorre verificare che sia lo spostamento istantaneo, sia quello “finale” risultino inferiori a certi limiti prefissati. Vedremo in dettaglio cosa questo implichi.

Prima è però necessario osservare che lo spostamento delle strutture lignee risente in modo piuttosto cospicuo della deformabilità per taglio, e ciò a causa dei bassi valori del modulo di elasticità tangenziale  $G$ . Secondo l'Eurocodice 5 è possibile eseguire il calcolo degli spostamenti istantanei mediante i moduli di elasticità medi (normale e tangenziale). Per tale motivo nella definizione dei dati del materiale necessari per il calcolo (vedi anche gli archivi) si è scelto di usare tali valori medi.

Nel programma la deformabilità per taglio è correttamente tenuta in conto allorché vengano correttamente specificati il modulo  $G$  per il materiale ed il fattore di taglio per la sezione.

Lo scopo per cui viene chiesto un coefficiente di Poisson, nella definizione di un materiale, è appunto quello di consentire il calcolo (mediante una formula convenzionale, essendo relativa a materiali omogenei ed isotropi) del modulo  $G$ .

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

Nel caso di sezioni rettangolari e circolari piene il fattore di taglio viene calcolato dal programma. Negli altri casi occorrerà fornirlo esplicitamente. Se non si vuole tenere in conto il contributo alla deformazione del taglio, occorrerà fissare pari a 0 il valore del fattore di taglio.

Abbiamo detto che occorre verificare sia gli spostamenti istantanei sia quelli finali. In effetti una volta applicato un carico, la struttura si deforma all'istante di una certa quantità  $u_{ist}$ . Se il carico viene mantenuto, comunque, lo spostamento tende ad aumentare ulteriormente nel tempo in ragione progressivamente crescente con il grado di umidità dell'ambiente ove si trova la struttura. Lo spostamento “finale” è dunque la somma dello spostamento istantaneo  $u_{ist}$  e dello spostamento dovuto alla viscosità (fluage in francese, creep in inglese)  $u_{creep}$ .

Identificato lo spostamento istantaneo di un carico permanente con  $u_{ist}$ , lo spostamento dovuto al creep è pari a

$$u_{creep} = K_{def} u_{ist}$$

dove  $K_{def}$  è un coefficiente che dipende dalla classe di servizio della struttura (ovvero dalla umidità dell'ambiente) e dal tipo di legno.

Nel seguito si riportano i valori di  $K_{def}$  proposti dall'EC5 per le tipologie di legno più comuni.

Materiale	Norma	Classe di servizio	Classe di servizio	Classe di servizio
		1	2	3
Legno massiccio	EN 14081-1 [13]	0.60	0.80	2.0
Legno lamellare	EN 14080 [15]	0.60	0.80	2.0
LVL	EN 14374 [16], EN 14279 [17]	0.60	0.80	2.00
Compensato	EN 636 [18]			
	Parte 1	0.80	-	-
	Parte 2	0.80	1.00	-
	Parte 3	0.80	1.00	2.50

**Tabella 0-13 Valori di  $K_{def}$  secondo EC5 e NTC 2008/2018**

Le norme tecniche NTC 2005 [1] usano, come abbiamo spiegato, differenti classi di servizio (due e non tre e con diverse delimitazioni) e introducono differenti valori per i coefficienti  $K_{def}$ . Nella seguente tabella si danno i valori di  $K_{def}$  secondo le norme [1]. Il documento NICOLE è in accordo all'Eurocodice 5.

Materiale	Classe di servizio	Classe di servizio
	1	2
Legno massiccio	0.60	2.0
Legno lamellare, incollato, LVL	0.60	2.0
Compensato	0.80	2.5

**Tabella 0-14 Valori di  $K_{def}$  secondo NTC [1].**

Nel caso ad esempio di un carico permanente in classe di servizio 3 (secondo EC5), un legno massiccio passerebbe dalla deformazione istantanea calcolata 1 ad una deformazione finale tripla

$$u_{ist} + 2 u_{ist} = 3 u_{ist}.$$

Il caso dei carichi variabili è diverso. Per essi occorre tenere in conto il fatto che se la deformazione istantanea dovuta ad un certo carico  $Q_k$  è  $u_{ist}$ , solo la quota parte  $\phi_2$  di  $Q_k$  agirà in modo “quasi permanente” e sarà quindi capace di sviluppare deformazioni lente per viscosità. Pertanto in questo caso abbiamo le seguenti possibilità, riepilogate nella seguente tabella.

Carico	Deformazione istantanea	Deformazione per viscosità	Deformazione finale
$Q_k$	$u_{ist}$	$u_{ist} \phi_2 K_{def}$	$(1 + \phi_2 K_{def}) u_{ist}$
$\phi_0 Q_k$	$\phi_0 u_{ist}$	$u_{ist} \phi_2 K_{def}$	$(\phi_0 + \phi_2 K_{def}) u_{ist}$
$\phi_1 Q_k$	$\phi_1 u_{ist}$	$u_{ist} \phi_2 K_{def}$	$(\phi_1 + \phi_2 K_{def}) u_{ist}$
$\phi_2 Q_k$	$\phi_2 u_{ist}$	$u_{ist} \phi_2 K_{def}$	$(1 + K_{def} \phi_2) \phi_2 u_{ist}$

**Tabella 0-15 deformazioni istantanee, per viscosità e finali per vari valori del carico  $Q_k$**

Da quanto precede consegue che per ottenere le deformazioni finali (valutate convenzionalmente) si possono adottare le seguenti formule di combinazione, modificate per includere anche gli effetti della viscosità.

Combinazioni rare:

$$(1 + K_{def}) \left( \sum_{i=1}^{ng} G_{ki} \right) + (1 + \psi_{21} K_{def}) Q_{1k} + \left( \sum_{i=2}^{nq} \gamma_{qi} (\psi_{0i} + \psi_{2i} K_{def}) Q_{ik} \right)$$

Combinazioni frequenti:

$$(1 + K_{def}) \left( \sum_{i=1}^{ng} G_{ki} \right) + \psi_{1i} Q_{ik} + \psi_{2i} K_{def} Q_{1k} + (1 + K_{def}) \left( \sum_{i=2}^{nq} \gamma_{qi} \psi_{2i} Q_{ik} \right)$$

Combinazioni quasi permanenti:

$$(1 + K_{def}) \left( \sum_{i=1}^{ng} G_{ki} + \sum_{i=1}^{nq} \gamma_{qi} \psi_{2i} Q_{ik} \right)$$

Sargon - 1991-2026 - Copyright Castalia srl - Milan - Italy - [www.castaliaweb.com](http://www.castaliaweb.com)

In caso di mensole le limitazioni possono essere rese meno stringenti, raddoppiando i limiti.

I valori qui elencati sono quelli presenti in EC5 e non derivano dal documento di applicazione nazionale (NAD), ancora in fase di preparazione.

### Verifiche di resistenza (SLU)

Le verifiche di resistenza devono essere condotte, in generale, in tutte le sezioni del prisma costituente la membratura.

Si farà l'ipotesi di considerare solo gli effetti delle tensioni agenti parallelamente alle fibre.

### Azione assiale

#### Trazione

Detta  $\sigma_{t,0,d}$  la tensione di progetto a trazione, la verifica si esegue (cfr. EC5 6.1) mediante la seguente semplice formula di confronto:

$$\sigma_t = \sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

dove  $f_{t,0,d}$  è la tensione di progetto resistente. I pedici indicano:

t        trazione

0        direzione allineata con le fibre (angolo 0)

d        “design” e quindi “progetto”

Se definiamo “coefficiente di sfruttamento a trazione”, la quantità  $E_t$  così definita ( $E$ =exploitation):

$$E_t \equiv \frac{\sigma_t}{f_{t,0,d}}$$

la equazione precedente ci dice banalmente che lo sfruttamento deve essere inferiore a 1:

$$E_t \leq 1$$

La tensione caratteristica per il materiale ( $f_{t,0,k}$ ), dalla quale si calcola la tensione di progetto mediante la formula 2.2 può variare a causa del fatto che la massima dimensione della sezione,  $d$ , sia piccola: la tensione caratteristica infatti può essere incrementata di un fattore  $k_h$  (cfr EC5 par. 3.2(3) e 3.3(3)).

Il fattore  $k_h$  dipende dal tipo di legno e dalla dimensione della sezione. Per sezioni in legno massiccio, con densità caratteristica inferiore a 700Kg/mc, ove la larghezza  $d$  sia minore di 150 mm, la tensione caratteristica a trazione può essere amplificata di un fattore

$$k_h = \min \left\{ \left( \frac{150}{d} \right)^{0,2} ; 1.3 \right\}$$

Per sezioni di legno lamellare, ove la larghezza  $d$  sia minore di 600 mm, la tensione caratteristica a trazione può essere amplificata di un fattore

$$k_{\alpha} = \min \left\{ \left( \frac{600}{d} \right)^{0.2} ; 1.15 \right\}$$

Nelle formule che precedono  $d$  è in mm.

### Compressione

In questo caso, parlando ovviamente per ora solo di verifica di resistenza, la verifica è simile a quella per la trazione, ma bisogna usare la tensione di progetto resistente a compressione,  $f_{c,0,d}$ .

$$\sigma_c = \sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

I pedici indicano:

- c compressione
- 0 direzione allineata con le fibre (angolo 0)
- d “design” e quindi “progetto”

Anche in questo caso è possibile definire un coefficiente di sfruttamento, definito come segue

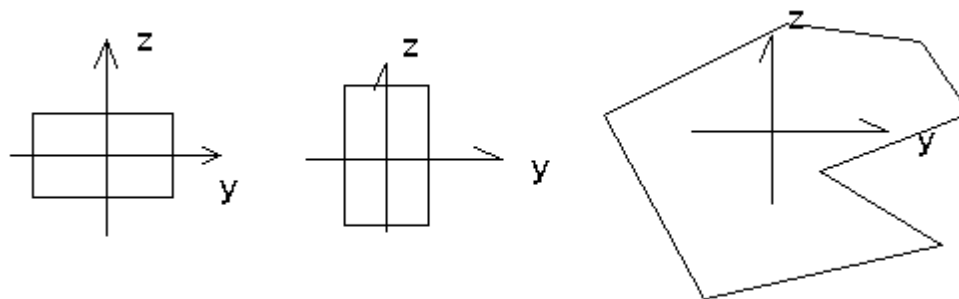
$$E_c \equiv \frac{\sigma_c}{f_{c,0,d}}$$

Poiché di solito la tensione di compressione ha segno negativo, è chiaro che la relazione presente nell'Eurocodice 5 va interpretata in senso piuttosto convenzionale che strettamente algebrico. Infatti la relazione

$$\sigma_c = \sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

non avrebbe alcun senso nel caso in cui si assumesse che la tensione di calcolo fosse negativa.

### Flessione semplice o deviata



**Figura 3** rappresentazione assi principali

Questa volta usiamo come pedice le seguenti lettere:

m	flessione
0	direzione allineata con le fibre (angolo 0)
d	“design” e quindi “progetto”
y	asse principale della sezione, anche indicato con “2”
z	asse principale della sezione anche indicato con “3”

La verifica si ottiene sommando i contributi della flessione attorno ai due assi principali, e riducendo l'effetto su uno dei due assi (quando contemporaneamente presenti entrambe le flessioni) mediante il coefficiente riduttivo  $k_m$ , che in pratica si applica solo alle sezioni rettangolari.

Il coefficiente riduttivo  $k_m$  può valere 0,7 oppure 1. Esso vale 0,7 per sezioni rettangolari di legno massiccio, lamellare, ed LVL, vale 1,0 in tutti gli altri casi. Tale coefficiente tiene in conto le redistribuzioni di tensione e le disomogeneità di materiale su una sezione.

Le condizioni da verificare, secondo EC5 (ed anche secondo il documento Nicole), sono:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Possiamo definire un coefficiente di sfruttamento a flessione semplice nel seguente modo (tale coefficiente è quello da impiegare nel caso in cui vi sia flessione attorno a uno solo dei due assi):

$$E_{m,y} = \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}}$$

$$E_{m,z} = \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}}$$

ed il coefficiente di sfruttamento per flessione composta come segue:

$$E_m = \max(E_{m,y} + k_m E_{m,z}; k_m E_{m,y} + E_{m,z})$$

Si può facilmente vedere che la formula dà luogo al massimo sull'asse che, separatamente, dà luogo al massimo. Infatti, risolvendo la disequazione

$$E_{m,y} + k_m E_{m,z} > k_m E_{m,y} + E_{m,z}$$

si ottiene:

$$E_{m,y} - k_m E_{m,y} > E_{m,z} - k_m E_{m,z}$$



$$E_{m,y}(1-k_m) > E_{m,z}(1-k_m)$$

$$E_{m,y} > E_{m,z}$$

Dunque la prima formula è dimensionante quando lo sfruttamento dovuto al momento sull'asse y, pensato agente da solo, è maggiore dello sfruttamento dovuto al momento sull'asse z, pensato agente da solo.

Nelle formule che precedono è da notare il fatto che la tensione di riferimento per il materiale (fm) non è in generale eguale nelle due direzioni, ma può variare a causa del fatto che la tensione caratteristica di flessione dipende dal coefficiente kh (cfr EC5 par. 3.2(3) e 3.3(3)).

Il fattore kh dipende dal tipo di legno e dalla altezza della sezione nella direzione di flessione rilevante. Per sezioni in legno massiccio, con densità caratteristica inferiore a 700Kg/mc, ove l'altezza h sia minore di 150 mm, la tensione caratteristica a flessione può essere amplificata di un fattore

$$k_h = \min \left\{ \left( \frac{150}{h} \right)^{0.2} ; 1.3 \right\}$$

Per sezioni di legno lamellare, ove l'altezza h sia minore di 600 mm, la tensione caratteristica a flessione può essere amplificata di un fattore

$$k_h = \min \left\{ \left( \frac{600}{h} \right)^{0.2} ; 1.15 \right\}$$

Nelle formule che precedono h è espresso in millimetri.

Tutte queste formule sono impiegate dal programma di verifica.

### Osservazioni sulle formule di verifica con effetti combinati

Come nel caso relativo alla compressione, facciamo notare che la scrittura delle equazioni prevista da Eurocodice 5 e dal documento NICOLE è a stretto rigore priva di significato algebrico in quanto se si assume che la tensione abbia segno le disuguaglianze dovrebbero essere due e non una per ciascuna equazione. Ad esempio:

$$-1 \leq \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

In realtà benchè figurino tensioni il metodo di verifica è un metodo agli stati limite, e quindi un metodo basato su domini limite validi a livello sezionale. Non a caso la fmk è *definita* impegnando proprio il modulo di resistenza elastico W come elemento normalizzatore del momento limite.

Le tensioni di riferimento devono quindi essere prese in valore assoluto, e le formule di verifica, più che rappresentare il calcolo di una tensione in un punto, *rappresentano un dominio limite per la sezione, rettificato a favore di sicurezza*.

Per tutte queste ragioni a parere di chi scrive sarebbe molto più corretto scrivere le formule in questione nel seguente modo

$$\left| \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right| \leq 1$$

$$k_m \left| \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \right| + \left| \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \right| \leq 1$$

o meglio ancora passare ad una notazione sezionale che espliciti l'uso di numeri indice adimensionali quali gli addendi in realtà sono, e di caratteristiche resistenti non puntuali ma sezionali:

$$\left| \frac{M_{y,d}}{W_y f_{m,y,d}} + k_m \frac{M_{z,d}}{W_z f_{m,z,d}} \right| \leq 1$$

$$k_m \left| \frac{M_{y,d}}{W_y f_{m,y,d}} \right| + \left| \frac{M_{z,d}}{W_z f_{m,z,d}} \right| \leq 1$$

ovvero in definitiva

$$\left| \frac{M_{y,d}}{M_{y,u}} + k_m \frac{M_{z,d}}{M_{z,u}} \right| \leq 1$$

$$k_m \left| \frac{M_{y,d}}{M_{y,u}} \right| + \left| \frac{M_{z,d}}{M_{z,u}} \right| \leq 1$$

dove il pedice “u” indica il momento “ultimo” o limite.

E' da notare che i moduli di resistenza introdotti sono quelli elastici e non quelli plastici: una reale redistribuzione di tensione sulla sezione non è infatti possibile stante la presenza di difetti che rendono il comportamento delle fibre dal lato teso di tipo elasto-fragile. Sotto queste condizioni di fatto la condizione limite sulla sezione si identifica con la condizione limite di un punto.

Analoga modifica dovrebbe essere applicata a parere di chi scrive anche a tutte le formule che seguiranno, sostituendo sistematicamente alle tensioni le azioni interne corrispondenti (ovvero in sostanza agli *sforzi* gli *sforzi generalizzati* secondo la teoria della trave).

A tale riguardo viene invece detto, peraltro autorevolmente, in [6]:

“Le conoscenze attuali del legno come materiale da costruzione non sono sufficienti a fornire la base per criteri di rottura più complessi delle combinazioni lineari [...]. Per sollecitazioni di trazione, di compressione, e di flessione semplici, per una sezione rettangolare, l'uso di teorie più sofisticate è inutile. E' infatti la stessa cosa esprimere un criterio di rottura attraverso un confronto tra tensioni anziché un confronto tra sollecitazioni quando si abbia a che fare una sezione rettangolare e con stati tensionali semplici di trazione o compressione o flessione (una volta definita la  $f_m$ )”.

A nostro parere, invece, l'uso delle tensioni in un metodo agli stati limite è fuorviante e dovrebbe essere abbandonato. In ogni modo va segnalato che il programma di verifica è stato approntato

interpretando ciascun addendo come un numero certamente positivo e come numero indice del cemento sulla sollecitazione elementare, quindi senza eseguire calcoli che sommino algebricamente tensioni di flessione con tensioni di trazione o compressione, calcoli che sommerebbero, ci pare, patate con carote, essendo le tensioni limite diverse per le varie sollecitazioni elementari.

### Tensoflessione semplice o deviata

Le formule da verificare, secondo EC5 par. 6.2.3 (ed anche secondo il documento Nicole), sono, nel caso di tensoflessione deviata:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

In pratica questo vuol dire che il coefficiente di sfruttamento per tensoflessione  $E\sigma$  è la somma dei coefficienti di sfruttamento per trazione e per flessione:

$$E\sigma = E_t + E_m$$

E' da notare che i tre addendi sono da considerarsi sempre positivi, infatti, più che una somma algebrica di tensioni secondo il metodo classico delle tensioni ammissibili, la formula va riguardata come un dominio limite con frontiera lineare nello spazio delle sollecitazioni.

Queste formule sono impiegate dal programma di verifica.

### Pressoflessione semplice o deviata

In questo caso occorre invece verificare che risulti (cfr. EC5 par. 6.2.4)

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Si può quindi definire un coefficiente di sfruttamento dato da

$$E\sigma = (E_c)^2 + E_m$$

La formula è nonlineare e tende a premiare la presenza di azione assiale di compressione rispetto a quella di trazione. Infatti nel caso di trazione, immaginando di avere  $E_t = 0.5$  ed  $E_m = 0.6$  la

verifica non sarebbe soddisfatta ( $0.5+0.6 > 1$ ), mentre nel caso di compressione, con  $E_c = 0.5$  ed  $E_m = 0.6$  risulterebbe  $(0.5)^2 + 0.6 = 0.85 < 1$ .

Queste formule sono impiegate dal programma di verifica.

### Stato limite per tensioni normali parallele alle fibre

L'esame di quanto sopra illustrato porta a dire che si può in generale definire un coefficiente di sfruttamento per tensione normale, dato in generale da  $E\sigma$ . Tale coefficiente di sfruttamento si specializza poi, nel caso di sollecitazioni elementari, in quello per azione assiale semplice (trazione o compressione) o flessione (semplice o composta) a seconda dei casi.

Come vedremo le sollecitazioni tagliante e torcente producono effetti che non si combinano con quelli dovuti alla azione assiale ed ai momenti. Pertanto sembra corretto parlare, nei riguardi delle verifiche di resistenza, di uno stato limite per tensioni normali e di uno stato limite per tensioni tangenziali, intendendo poi lo sfruttamento di resistenza come il massimo tra i due sfruttamenti.

### Taglio

In questo caso si usano i seguenti simboli come pedici:

v        taglio

d        progetto

La formula di verifica si esplicita nella relazione

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

ed è possibile definire il coefficiente di sfruttamento a taglio  $E_v$  come

$$E_v \equiv \frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1$$

La tensione resistente di progetto  $f_{v,d}$  si ottiene direttamente dalla tensione caratteristica  $f_{v,k}$  mediante la formula generale, mentre la tensione di calcolo deve essere calcolata in modo diverso a seconda della forma sezionale.

Immaginando *convenzionalmente* una distribuzione di tensione tangenziale puramente elastica alla Jouravskij, per la sezione rettangolare si può porre, essendone  $A$  l'area

$$\tau_d = \frac{V_d}{W_v} = \frac{V_d S^*}{bJ} = 1.5 \frac{V_d}{A}$$

dove  $V_d$  è il taglio di progetto agente o in direzione  $y$  o in direzione  $z$ . Nel caso di sezione circolare, si ha invece la formula seguente

$$\tau_d = \frac{V_d}{W_v} = \frac{4V_d}{3A}$$

Negli altri casi sarà comunque possibile definire un modulo di resistenza a taglio  $W_v$ , e scrivere:

$$\tau_d = \frac{V_d}{W_v}$$

Nel caso in cui siano contemporaneamente presenti sia il taglio agente secondo uno degli assi principali, sia il taglio agente secondo l'altro asse principale (ovvero  $V_{yd}$  e  $V_{zd}$ ), si potrà eseguire la verifica mediante la formula combinata seguente:

$$\tau_{yd} = \frac{V_{yd}}{W_{Iy}}$$

$$\tau_{zd} = \frac{V_{zd}}{W_{Iz}}$$

$$\tau_d = \sqrt{\tau_y^2 + \tau_z^2}$$

che implicitamente presume che le massime tensioni agiscano nello stesso punto.

Un altro modo di vedere la verifica combinata è il seguente. Definito il coefficiente di sfruttamento per taglio in una direzione o nell'altra

$$E_{vy} = \frac{\tau_{yd}}{f_{v,d}}$$

$$E_{vz} = \frac{\tau_{zd}}{f_{v,d}}$$

il coefficiente di sfruttamento finale è pari a

$$E_v = \sqrt{E_{vy}^2 + E_{vz}^2}$$

e quindi risulta un cerchio di raggio unitario nello piano delle sollecitazioni normalizzate alle sollecitazioni limite.

Queste formule sono impiegate dal programma di verifica.

## Torsione

Nel caso della torsione la formula proposta da EC5 è la seguente:

$$\tau_{tor,d} \leq k_{sh} f_{v,d}$$

Dove

$\tau_{tor,d}$  è la tensione di progetto a torsione.

$k_{sh}$  è un coefficiente amplificativo che dipende dalla forma della sezione.

$f_{v,d}$  è La tensione di progetto resistente a taglio.

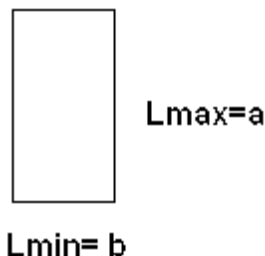
Il coefficiente amplificativo ksh vale:

1,2

per sezioni circolari

$1+0.15L_{min}/L_{max}$

nel caso di sezioni rettangolari.



**Figura 4**

La tensione di progetto a torsione  $\tau_{tor,d}$  deve essere calcolata mediante formule che dipendono dalla forma sezionale, e che sono in sostanza quelle ottenibili dalla Scienza delle Costruzioni. Per le sezioni circolari di raggio  $r$ , la formula è:

$$\tau_{tor,d} = \frac{M_1}{W_1} = \frac{M_1}{0,5\pi R^3}$$

mentre per le sezioni rettangolari si può usare la formula di Hansen seguente, essendo  $b$  il lato minore e  $a$  quello maggiore:

$$\tau_{tor,d} = \frac{M_1}{W_1} = \frac{M_1}{J_t} b = \frac{M_1}{hb^3} b = \frac{M_1}{hb^2} \frac{1}{3\left(1 + \frac{0,6b}{h}\right)} = \frac{M_1}{hb^2} \frac{1}{3\left(1 + \frac{0,6b}{h}\right)}$$

Nelle formule che precedono si è definito il modulo di resistenza a torsione  $W_1$ , ovvero il numero che diviso per il momento torcente dà la tensione di progetto a torsione. Per forme sezionali diverse da quelle indicate è sempre possibile calcolarne il valore.

Stabilito come calcolare la tensione di progetto, possiamo definire un coefficiente di sfruttamento a torsione  $E_T$  nel seguente modo:

$$E_T = \frac{\tau_{tor,d}}{k_{sh} f_{v,d}} \leq 1$$

Queste formule sono presenti ma non impiegate dal programma di verifica, in quanto le strutture allo studio sono sempre piane.

**Taglio-torsione (stato limite per tensioni tangenziali)**

Né l'Eurocodice 5 né il documento Nicole danno indicazioni esplicite nel caso di contemporanea presenza di taglio e torsione. Sul recente testo di Piazza e altri [7] è riportata la seguente formula di interazione, che definisce, altresì, un coefficiente di sfruttamento per tensioni tangenziali:

$$E_z \equiv E_T + E_V^2 \leq 1$$

Tale formula di interazione indica un dominio parabolico nel piano (V,M1).

Poiché il programma accluso è un programma relativo a travi rettilinee piane, la torsione non figura tra le sollecitazioni di calcolo ed è quindi esclusa, in quanto assente, dalle verifiche.

Questa formula è presente ma non impiegata dal programma di verifica in quanto la torsione non c'è.

## Verifiche di stabilità (SLU)

### Introduzione

Le verifiche di stabilità devono essere eseguite per cautelarsi da due possibili fenomeni, entrambi possibili e potenzialmente rovinosi: l'instabilità per compressione e l'instabilità per flessione. Il primo tipo di instabilità è quella euleriana classica, con tutte le correzioni del caso, mentre il secondo prende il nome di "svergolamento". I due fenomeni sono ben noti a chi si sia occupato di strutture in acciaio, e presentano qualitativamente problematiche analoghe.

Nella instabilità euleriana l'asta compressa si dispone secondo una configurazione non rettilinea a partire da certi livelli di carico che sono detti "critici". In sostanza per certi livelli di azione assiale di compressione, le forze di richiamo elastico che vorrebbero far ritornare l'asta alla sua configurazione rettilinea, dopo che questa configurazione sia stata persa a causa delle imperfezioni o a causa di piccole perturbazioni esterne, sono equilibrate dalle forze insorte proprio a causa della mancanza di rettilinearità dell'asta, e dovute al braccio acquisito dalla forza di compressione. In queste condizioni, raggiunti certi livelli di carico, sono possibili configurazioni di equilibrio non rettilinee, alle quali corrispondono stati limite generalmente non accettabili per la struttura. Nelle aste reali il comportamento instabile tende a non essere "biforcativo", ovvero tende a non manifestarsi all'improvviso, ma è preceduto da un progressivo allontanamento dalla configurazione iniziale. Ciò dipende essenzialmente dal fatto che il modello di asta rettilinea e priva di imperfezioni non esiste in natura.

Lo svergolamento è invece un fenomeno di instabilità strettamente legato alla flessione. Si può vedere lo svergolamento come la tendenza a sbandare lateralmente della parte compressa della sezione. Poiché lo sbandamento laterale della parte compressa non può avvenire in modo libero, essendo questa solidale con la parte tesa, la sezione realizza l'instabilità torcendosi in modo che la parte compressa vada da una parte e la parte tesa dall'altra. Lo svergolamento è facilitato dalla presenza di travi lunghe, con

scarsi ritegni torsionali, aventi sezioni alte e strette. Nelle strutture in acciaio è classico lo svergolamento di travi a I nelle quali la piattabanda compressa sbanda lateralmente al raggiungimento di determinati livelli di momento flettente, e dunque di compressione sulla parte compressa della sezione. Per le travi in legno è classico lo svergolamento di sezioni rettangolari con elevato rapporto altezza/base.

Il modo in cui l'Eurocodice 5 e il documento Nicole trattano il problema delle verifiche a stabilità non è identico. Mentre l'Eurocodice 5 prevede due distinti insiemi di verifiche, l'una per le colonne e l'altra per le travi, il documento Nicole, in modo che ci pare più convincente, ed in analogia a quanto ad esempio si può trovare nelle istruzioni CNR10011 per le strutture in acciaio, prevede una verifica unica per il fenomeno, modificando le formule valide per la pressoflessione al fine di pervenire a formule valide anche per lo svergolamento.

Va infatti detto che non è sempre chiaro se un elemento sia “una colonna” o “una trave”. Gli elementi strutturali possono presentare sia azione assiale che momento flettente pur essendo “travi” o “colonne”. Sembra quindi più generale e più convincente l'approccio proposto dal documento Nicole, anche se la verifica in accordo ad Eurocodice non pone, come vedremo, particolari problemi.

La verifica di stabilità è una verifica di membratura e non di sezione. Questo vuol dire che, a differenza di quanto avviene per le verifiche di resistenza, non è necessario ripetere le verifiche in ogni sezione lungo lo sviluppo dell'asta. Anzi: non si deve fare. Al contrario, data ogni componente di azione interna, occorrerà trovare un valore “di progetto” per la membratura di questa azione interna, ed adottare questo valore.

In altre norme, come ad esempio le citate CNR10011 [19], ma anche nell'Eurocodice 3 [20], sono dati coefficienti di distribuzione atti a calcolare quantità “equivalenti” da utilizzare ai fini delle verifiche. Non è questo il caso dell'Eurocodice 5 e del documento Nicole per quanto riguarda la instabilità euleriana. Per lo svergolamento l'EC5 dà una serie di prescrizioni sul coefficiente di libera inflessione, facendolo anche dipendere dalla distribuzione di momento (e quindi anziché usare un “momento equivalente” si usa una “lunghezza di libera inflessione equivalente”). I valori della sollecitazione di riferimento da assumere sono quelli che provocano la massima tensione. Nel caso di membratura prismatica ciò vuol dire assumere i valori massimi in modulo della compressione e della flessione, rispettivamente secondo l'asse y e secondo l'asse z.

Analogamente, a differenza di quanto previsto altrove, la norma non distingue un segno legato alla flessione, ovvero in pratica assume un comportamento simmetrico, che, mentre è perfettamente comprensibile nel caso di sezioni rettangolari, può non essere verificato in pratica nel caso di sezioni di forma “strana” o magari ottenute per composizione. In questo caso è ben possibile, ci pare, che il comportamento ad instabilità dipenda dal segno del momento flettente, essendo per esempio diverse le piattabande al lembo superiore od inferiore.



Nel prosieguo ci si riferirà quindi sempre al caso di sezioni rettangolari o circolari (per le quali però lo svergolamento non esiste), e si farà sempre riferimento a membrature prismatiche.

Il programma consente, tuttavia, di trattare anche sezioni di tipo generico, pur di fornire i dati necessari alla esecuzione delle verifiche qui descritte. Si rimanda alla guida operativa per ulteriori informazioni.

### **Dati di calcolo comuni alle due norme Eurocodice e Nicole.**

#### Instabilità Euleriana

Della membratura vengono dapprima calcolate le snellezze nei due piani secondo gli ordinari metodi della scienza delle costruzioni. Pertanto si definisce una snellezza relativa all'asse y ed una snellezza relativa all'asse z (simbolo:  $\lambda$ ).

$$\lambda_y = \frac{\beta_y L}{\sqrt{\frac{J_y}{A}}}$$
$$\lambda_z = \frac{\beta_z L}{\sqrt{\frac{J_z}{A}}}$$

I coefficienti  $\beta_y$  e  $\beta_z$ , sono detti, come è noto, coefficienti di libera inflessione, e dipendono dal tipo di schema di vincolo in ciascun piano. Essi valgono 1 nel caso di vincolo cerniera-cerniera o cerniera-carrello, valgono 2 nel caso di mensola (incastro-estremo libero), 0.5 nel caso di incastro-manicotto, e così via. A è l'area della sezione e J sono i suoi due momenti di inerzia, rispettivamente attorno all'asse y ed all'asse z.

Nella terminologia del programma l'asse y è l'asse 2, l'asse z è l'asse 3. A volte, nei tabulati, si trova il pedice “P” (=in piano) per l'asse 2, e “F” (=fuori piano) per l'asse 3. In altre parole:

- **l'asse perpendicolare allo schermo (Fuori piano) è l'asse 3 (F, z).**
- **l'asse perpendicolare all'asse dell'elemento e giacente nel Piano dello schermo è l'asse 2 (P, y).**

Definita la snellezza assoluta nei due piani, viene definita la snellezza relativa alla critica, nei due piani, aggiungendo il prefisso “rel” al pedice e normalizzando la snellezza rispetto a quella al limite tra aste snelle ed aste tozze.

Come modulo di elasticità si adotta il modulo caratteristico  $E_{0,05}$ . Questa procedura è naturalmente convenzionale e del tutto simile a quella che si adotta per le strutture in acciaio. Le due snellezze relative sono così definite:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

Nel caso in cui queste snellezze relative siano inferiori a una certa soglia  $s$  (che dipende dalla normativa) la verifica alla instabilità per compressione o per presso flessione può essere omessa in quanto non significativa.

L'Eurocodice 5 dà il valore soglia di  $s=0,3$ , la norma Nicole il valore di  $s=0,5$ .

In funzione delle snellezze relative appena introdotte, è possibile definire dei fattori  $k_c$ , minori o al limite eguali ad 1, che decrementano il valore della tensione di compressione resistente di progetto,  $f_{c,0,d}$ . Di questi coefficienti ve n'è uno per ogni asse principale. Le formule che definiscono i due  $k_c$  sono le seguenti:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}$$

Come si vede essi dipendono dai due fattori  $k_y$  e  $k_z$ , definiti a loro volta come segue:

$$k_y = 0,5 \left( 1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - s) + \lambda_{rel,y}^2 \right)$$

$$k_z = 0,5 \left( 1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - s) + \lambda_{rel,z}^2 \right)$$

Il coefficiente  $\beta_c$  vale:

$\beta_c$       0,2                      per legno massiccio

$\beta_c$       0,1                      per legno lamellare

Come si vede il legno lamellare è trattato meglio rispetto al legno massiccio, ciò dipende dal fatto che per l'applicabilità di queste formule devono essere soddisfatti ben precisi requisiti di rettilineità degli elementi, che devono essere qualificati prima di essere impiegati. Tali limiti sono, detta  $e$  la freccia iniziale ed  $L$  la lunghezza dell'elemento compresso:

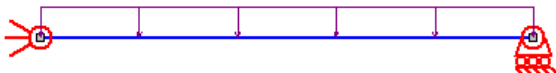

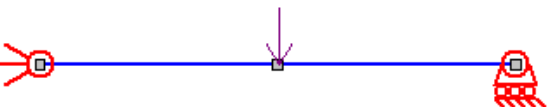
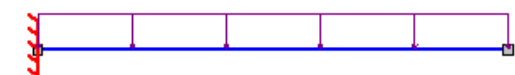

$e < L/300$                                       per legno massiccio

$e < L/500$                                       per legno lamellare e microlamellare



La lunghezza efficace (o per estensione “lunghezza di libera inflessione”) tiene in conto tre diversi fattori.

Il primo fattore è la presenza di ritegni torsionali che limitano la lunghezza libera della membratura. Di questo effetto l'Eurocodice esplicitamente non parla, limitandosi a chiarire che i valori di  $l_{ef}$  sono dati per membrature torsionalmente vincolate agli estremi. Se sono presenti ulteriori ritegni torsionali intermedi è lecito assumere, comunque, una lunghezza di riferimento di partenza diversa da quella della membratura, intendendo per tale lunghezza di riferimento la distanza tra due ritegni torsionali successivi.

Schema	$L_{ef}$
	$L_{ef}=0.9L$
	$L_{ef}=L$
	$L_{ef}=0.8L$
	$L_{ef}=0.5L$
	$L_{ef}=0.8L$

Il secondo fattore è la distribuzione di momento flettente lungo la membratura. Nella tabella che precede si ha un quadro di alcune delle situazioni elementari possibili, secondo Eurocodice 5, nell'ipotesi di vincoli con ritegno torsionale e laterale.

Il terzo fattore è la posizione del carico, se al di sopra del baricentro (effetto instabilizzante) o al di sotto (effetto stabilizzante). Secondo l'Eurocodice i valori della tabella precedente, validi per carichi applicati nel baricentro, possono essere modificati come segue nel caso in cui il carico sia applicato all'estradosso o all'intradosso.

Se il carico è applicato al bordo compresso la lunghezza efficace deve essere aumentata di  $2H$ , ove  $H$  è l'altezza dell'elemento. Se il carico è applicato al bordo teso la lunghezza di libera inflessione  $L_{ef}$  deve essere ridotta di  $0.5H$ .

*Tale prescrizione non sembra corretta* poiché nel caso di una mensola l'effetto instabilizzante maggiore si ha quando il carico è in alto, dove è presente il lato teso. Infatti la modifica rispetto al caso di carico applicato nel baricentro è dovuta al fatto che nel caso in cui il carico sia più in alto (ammettendo un carico verticale verso il basso) tale carico è instabilizzante, mentre nel caso in cui sia in basso il carico stesso è stabilizzante.

Non a caso, ci pare, in [6] viene riportata una tabella dove si parla di carico “all’estradosso” “a metà altezza” e “all’intradosso”.

Pertanto diremmo che la prescrizione dell'Eurocodice debba essere modificata così: se il carico è stabilizzante (intradosso per carichi verticali verso il basso) allora la lunghezza efficace *può* essere ridotta di  $0.5H$ ; se il carico è instabilizzante (estradosso per carichi verticali agenti verso il basso) allora la lunghezza di libera inflessione *deve* essere *aumentata* di  $2H$ .

Per maggior completezza riportiamo anche la tabella proposta in [6].

Schema	All’estradosso	A metà altezza	All’intradosso
Cerniera –carrello Momento costante Coppie agli estremi	1	1	1
Cerniera-carrello Carico distribuito costante	0.95	0.9	0.85
Cerniera-carrello Carico concentrato a $\xi = x/L$ dal primo appoggio ( $\xi$ adimensionale)	$0.8/\alpha$ $\alpha = 1.35 - 1.4\xi(1-\xi)$	$0.75/\alpha$	$0.7/\alpha$
Mensola Momento costante Coppia all’estremo	2	2	2

Mensola	1.2	1.2	1.2
Carico uniformemente distribuito			
Mensola	1.7	1.7	1.7
Carico concentrato all'estremo			
Cerniera-carrello	0.4	0.4	0.35
Carico uniformemente distribuito			
Ritegno torsionale a metà			
Cerniera-carrello	0.25	0.25	0.25
Carico concentrato			
Ritegno torsionale a metà			

**Tabella 0-17 Coefficienti  $L_{ef}/L$  per varie configurazioni di carico e vincolo. Si suppone impedito lo spostamento laterale e la rotazione torsionale agli estremi. Tabella tratta da[6].**

In questa tabella non è però comprensibile perché nel caso della mensola il coefficiente non dipenda dalla posizione del carico.

Bisogna dire a riguardo di queste tabelle, che, oltre a lasciare non pochi dubbi, queste non coprono assolutamente la maggioranza dei casi possibili, poiché nell'analizzare le combinazioni i diagrammi di momento non saranno mai quelli tabellati, ma saranno molto più complessi e generici. Queste tabelle sono utili in casi elementari o resi tali da significative semplificazioni che potrebbero rendere la maggior precisione illusoria. Allora sarebbe molto più utile pervenire, dopo attenti studi e calibrazioni, a formule chiuse che impieghino genericamente il momento massimo, il momento medio e così via, come ad esempio molto efficacemente fatto nelle norme CNR 10011 [19]. In alternativa si dovrebbe, a parere di chi scrive, pervenire a formule a favore di sicurezza da usare indiscriminatamente senza distinguere le varie situazioni se non per il vincolo. Ad oggi questo stesso problema si trova in Eurocodice 3 [20], dove anzi, per le strutture in acciaio, il problema è ancor più sentito.

Una volta calcolata la snellezza relativa si può calcolare il fattore  $K_{crit}$  che riduce la resistenza di progetto a flessione:

$$\begin{aligned}
 K_{crit} &= 1 & \text{se } \lambda_{rel} \leq 0.75 \\
 K_{crit} &= 1.56 - 0.75\lambda_{rel} & \text{se } 0.75 < \lambda_{rel} \leq 1.4 \\
 K_{crit} &= \frac{1}{\lambda_{rel}^2} & \text{se } \lambda_{rel} > 1.4
 \end{aligned}$$

## Eurocodice 5

### Compressione o presso-flessione

Queste verifiche tengono in conto lo sbandamento per pressoflessione (instabilità euleriana). Le formule sono in sé simmetriche e quindi non è necessaria alcuna correzione o generalizzazione. Sono le formule presenti nel par 6.3.2 e numerate 6.23 e 6.24 nell'Eurocodice.

$$\begin{aligned}
 \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &\leq 1 \\
 \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} &\leq 1
 \end{aligned}$$

### Flessione o presso-flessione

Questa formula tiene in conto sia il caso di presso flessione. La formula si riferisce allo sbandamento flessionale (svergolamento) ed ipotizza implicitamente che questo avvenga necessariamente per flessione attorno all'asse y (asse 2 in CESCOPLUS). Poiché in generale ciò non è vero (data la possibilità di orientare l'asta come si vuole), la formula originaria deve essere sostituita da due formule nelle quali il possibile svergolamento avvenga sia secondo l'asse y (2) sia secondo l'asse z (3). Pertanto la formula originaria (par. 6.3.3 equazione 6.35)

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + \left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} f_{m,y,d}} \right)^2 \leq 1$$

Deve essere sostituita dalle due seguenti, in cui si è aggiunto un pedice a Kcrit per far capire che questo si può in generale riferire a due flessioni diverse:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + \left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} f_{m,y,d}} \right)^2 \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \left( \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit,z} f_{m,z,d}} \right)^2 \leq 1$$

Nelle formule che precedono si ipotizza implicitamente che lo svergolamento debba avvenire impegnando la sezione sull'asse di maggior resistenza flessionale, come avviene nelle sezioni rettangolari, in modo che *l'altro asse* sia utilizzato per lo sbandamento euleriano in quanto di minor inerzia. Poiché in generale non sembra che ciò possa sempre considerarsi verificato le formule da verificare dovrebbero essere a parere di chi scrive le seguenti:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{\min(k_{c,z}, k_{c,y}) f_{c,0,d}} + \left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} f_{m,y,d}} \right)^2 \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{\min(k_{c,z}, k_{c,y}) f_{c,0,d}} + \left( \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit,z} f_{m,z,d}} \right)^2 \leq 1$$

Tali formule sono state implementate nel programma di verifica. E' da notare che nel caso di sezione rettangolare esse equivalgono a quelle formalmente presenti in Eurocodice 5.

Lo sfruttamento finale sarà dato dal maggiore dei due sfruttamenti. In caso di presenza di trazione una interpretazione letterale della norma potrebbe far credere che non sia necessario alcun controllo di svergolamento. Chi scrive non ritiene che questo sia corretto, poiché deboli trazioni possono egualmente consentire il fenomeno dello svergolamento. Pertanto, a favore di sicurezza, in caso di trazione verrà controllato dal programma il solo termine flessionale, secondo le formule:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit,z} f_{m,z,d}} \leq 1$$

Ove si voglia rendere influente tale verifica basterà azzerare il coefficiente di libera inflessione per lo svergolamento. In questo modo è stato realizzato il programma di verifica allegato.

### **Documento Nicole (e per estensione, NTC)**

Nel documento NICOLE si verifica lo sbandamento euleriano e quello flessionale mediante una unica formulazione, con termini accoppiati. Il documento NICOLE non è mai stato ufficialmente approvato, e purtroppo girano varie versioni non sempre identiche tra loro. Chi scrive ha chiesto e



prontamente ottenuto dal Centro di Documentazione dell'IVALSA-CNR il documento NICOLE (in una versione che sembra essere del 2001). Tale documento però riporta formule di stabilità differenti da quelle indicate, sempre per la norma NICOLE nella recente pubblicazione [7]. Poiché si ritiene attendibile la fonte [7], si riportano nel seguito le formule là indicate come “NICOLE e DIN 1052”.

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,z} f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Queste formule, palesemente, ipotizzano che lo svergolamento possa avvenire solo attorno all'asse y (asse 2, asse “forte”). In realtà, in generale non si sa quale sia l'asse più pericoloso per il fenomeno dello svergolamento (in certe sezioni composte deve essere verificato secondo entrambi gli assi), e quindi le formule precedenti si devono sdoppiare, dando luogo alle formule seguenti, materialmente implementate all'interno del programma:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit,y} f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit,z} f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_{crit,z} f_{m,z,d}} \leq 1$$

Le norme [1] NTC non dicono nulla a riguardo delle formule di verifica a stabilità. Si è scelto di farle funzionare nel programma di verifica in accordo a quanto previsto dalle norme NICOLE e DIN1052:2004, così come descritte nel testo [7].

## Le verifiche

### Generalità

La esecuzione delle verifiche richiede la conoscenza di alcuni concetti indispensabili al fine di evitare *qui pro quo* od omissioni che potrebbero portare a risultati significativamente sbagliati.

Premesso che nessun programma può sostituirsi al progettista, è pur vero che, quando correttamente impiegati, i programmi possono sgravare il progettista da una mole notevole di operazioni matematiche, consentendogli di mettere meglio a fuoco certe problematiche magari inizialmente incerte (ad esempio se sia più severa una verifica agli SLE od agli SLU).

Le principali avvertenze riguardano le verifiche di stabilità, ed a queste è dedicato il paragrafo successivo.

Per quanto riguarda le verifiche di resistenza, occorre comprendere a fondo le formule che sono state illustrate nel cap. 2, e soprattutto comprendere l'interpretazione che di queste formule ha dato l'autore del software di verifica e di questo testo. In particolare, si tenga presente che le verifiche sono verifiche con domini limite semplificati e non verifiche alle tensioni.

La definizione delle combinazioni di verifica è ovviamente molto importante. E' compito dell'analista definire correttamente sia le combinazioni per gli stati limite ultimi che le combinazioni per gli stati limite di servizio.

Normalmente le verifiche vengono eseguite per sezioni standard (che per il legno sono sezioni circolari piene o sezioni rettangolari) e con materiali standard (ovvero i materiali codificati reperibili nell'archivio). Esistono però casi in cui si desidera eseguire verifiche su sezioni non standard o con materiali non standard. A questi due problemi sono dedicati i paragrafi 3.9.3 e 3.9.4..

Relativamente alle verifiche di deformabilità si ricorda che è conveniente spezzare gli elementi inflessi in più sotto elementi, al fine di calcolare correttamente gli effetti della deformabilità per taglio. La suddivisione di elementi esistenti non comporta la perdita delle informazioni relativamente alle membrature.

Per la esecuzione delle verifiche è indispensabile che ogni caso di carico riceva una classe di durata, ad eccezione dei casi di carico etichettati "GRAVITA". **Pertanto i nomi dei casi di carico devono sempre terminare con la appropriata classe di carico (cfr. tab. 2.6).** Esperimenti numerici diversi, fatti variando le classi di durata dei carichi, possono essere semplicemente ottenuti modificando il nome dei casi di carico stessi. In alternativa si possono salvare più modelli (file .sdc) per ogni esperimento numerico necessario.

Oltre alla determinazione della classe di durata di ciascun caso di carico, è necessario scegliere la classe di servizio (ovvero la umidità dell'ambiente nel quale la struttura si troverà ad operare). Ciò si fa, come già chiarito, con il comando Post-Verifiche-Imposta.

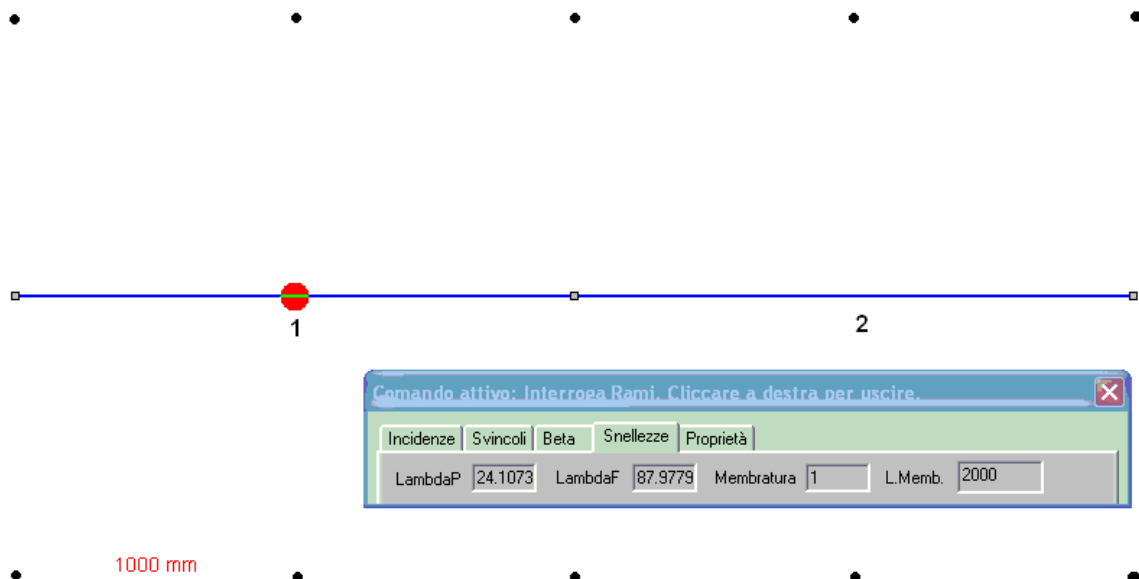
Come abbiamo visto, il programma può eseguire le verifiche sia in accordo all'EC5, sia in accordo alle norme NICOLE, sia in accordo alle NTC (con tutti i chiarimenti del caso). Il tabulato .wit cambierà a seconda della norma che si è scelto di adottare. Come chiarito nel testo, non vi sono modifiche sostanziali agli algoritmi, ma vi sono modifiche di nomenclatura e nei valori di certi coefficienti. Nella definizione delle classi di servizio e di carico si dovrà usare la terminologia

dell'Eurocodice 5, sarà poi il programma a fare le conversioni del caso. Peraltro l'uso di una terminologia coerente con quella delle NTC (applicando le modifiche a priori) non porta ad avere errori.

### Le verifiche a stabilità

Le verifiche a stabilità richiedono la determinazione, da parte del progettista, delle membrature che sbandano o svergolano, e la determinazione dei coefficienti di libera inflessione, che di default sono eguali a 1.

La determinazione delle membrature si sviluppa in fase di descrizione della mesh. Ogni ramo aggiunto con i comandi di aggiunta comporta una nuova membratura. Viceversa la suddivisione di un ramo esistente non comporta l'aggiunta di membrature. Pertanto se si deve definire ad esempio una trave inflessa (e perciò soggetta allo svergolamento) con un carico concentrato in mezzera, sarà necessario dapprima aggiungere la membratura intera, poi suddividerla mediante il comando Edit-Rami-Dividi o Edit-Rami-Spezza. Se viceversa si aggiungono due rami, ciascuno di lunghezza pari alla metà della lunghezza della membratura complessiva, allora si avranno due membrature, ciascuna di lunghezza pari alla semi lunghezza della membratura desiderata.

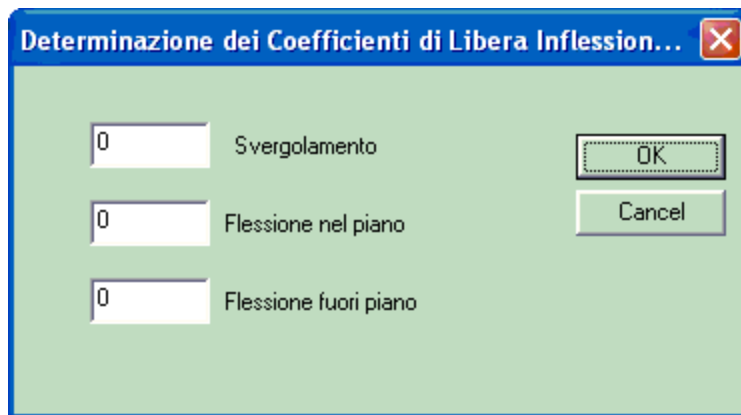


**Figura 5 Interrogazione dei rami con stampa del numero e della lunghezza della membratura a cui appartiene il ramo corrente.**

Il numero totale di membrature presente nel modello è reperibile dal comando Interroga-Dati Generali. Per conoscere il numero di ciascuna membratura si può richiedere al programma la numerazione delle membrature (Mostra-Numerazione Membrature) oppure interrogare i rami. Nella finestra "Snellezze" è dato per il ramo corrente il numero della membratura di appartenenza e la sua lunghezza (fig. 45). In questa figura è anche visibile la numerazione delle membrature e quindi il fatto che

la trave è stata definita aggiungendo due rami. Analoga mesh si sarebbe potuta ottenere dividendo in due un ramo esistente, ma in tal caso ci sarebbe stata una unica membratura lunga 4000 mm e non due lunghe ciascuna 2000 mm).

La definizione dei coefficienti di libera inflessione è fondamentale ai fini delle verifiche. Benché il programma sia un programma piano (e quindi non esista né la torsione né la flessione fuori piano), è necessario definire sia il comportamento a svergolamento, sia il comportamento a instabilità fuori piano.



**Figura 6 Dialogo coefficienti di libera inflessione**

Ciò si fa definendo i tre coefficienti di libera inflessione seguenti:

$\beta_1 = \text{betaSV}$	per lo svergolamento
$\beta_2 = \text{betaP}$	per lo sbandamento nel piano
$\beta_3 = \text{betaF}$	per lo sbandamento fuori piano

Se il coefficiente  $\beta$  viene posto eguale a zero il corrispondente meccanismo instabile è considerato impedito. Nella definizione dei valori dei coefficienti di libera inflessione occorre tener conto non solo dello schema di vincolo, ma anche della distribuzione delle azioni interne e del posizionamento del carico sull'elemento.

### Verifiche di sezioni generiche

Una sezione di tipo non standard richiede informazioni aggiuntive per essere verificata in modo automatico.

Ai fini del solving (calcolo delle azioni interne e delle deformazioni) è sufficiente fornire i momenti di inerzia, le aree e poco più (i moduli di resistenza possono fornire i valori delle tensioni di flessione). Ciò si fa con il comando Edit-Applica Sezione, scegliendo le sezioni generiche (cfr. fig. 20).

Queste informazioni non sono tuttavia sufficienti per eseguire le verifiche. Per tale ragione, esiste un file di testo, contenuto nella cartella di installazione del programma, denominato "Wooddata.txt".

Questo file contiene, tra le altre cose, una serie di blocchi di dati atti a descrivere il modo in cui verificare le sezioni non standard. In generale, se nel modello compare una sezione il cui nome compare anche nel file “WoodData.txt”, allora le verifiche su quella sezione saranno eseguite mediante i parametri descritti nel file, anche se si tratta di una sezione standard. Se invece il nome della sezione non compare nel file e la sezione è una sezione standard, allora essa sarà verificata automaticamente dal programma. Se invece il nome della sezione non compare e la sezione non è una sezione standard, allora questa sezione non sarà sottoposta a verifica e così tutti gli elementi che la impiegano.

Il blocco di istruzioni da dare nel file è il seguente:

_SHAPE													
Trapezio													
42000.	1.	28662.	1.	1698666.875	1.	;	A	WV2	WV3	W1	W2	W3	
280.	200.	200.	299760000.	264237072.	87500000.		;	H2	H3	Width	Jt	J2	J3
_ENDSHAPE													

ed è quindi compreso tra \_SHAPE ed \_ENDSHAPE.

Nella prima riga dopo \_SHAPE si dà il nome del profilo;

Nella seconda riga si dà:

- A area del profilo
- WV2 modulo di resistenza per il taglio fuori piano
- WV3 modulo di resistenza per il taglio nel piano
- W1 modulo di resistenza per la torsione
- W2 modulo di resistenza per la flessione nel piano
- W3 modulo di resistenza per la flessione fuori piano.

Questi dati servono ad eseguire le verifiche, e sono in parte ripetuti rispetto a quelli usati per il calcolo per consentire di “pilotare” le verifiche nel modo desiderato.

Nell'ambito d'uso del programma dei dati precedenti serve solo A, WV3 e W2 (il programma verificatore è più generale e serve anche contesti tridimensionali).

Nella terza riga si dà:

- H2 altezza del profilo per flessioni attorno all'asse 2  
(flessioni nel piano)

- $H_3$  altezza del profilo per flessioni attorno all'asse 3  
(flessioni fuori piano)
- Width larghezza del profilo
- $J_t$  momento di inerzia torsionale
- $J_2$  momento di inerzia per flessioni nel piano
- $J_3$  momento di inerzia per flessioni fuori piano

I valori H2, H3 e Width, servono per valutare se modificare le tensioni caratteristiche con l'effetto volume.

I dati devono essere forniti nella unità attiva, di solito mm ed unità derivate. In alternativa è possibile cambiare l'unità di misura con la stringa `_UNIT` come chiarito nel file stesso.

## Verifiche di materiali non presenti in archivio

E' possibile verificare elementi aventi un materiale non standard ma questo deve essere aggiunto alla lista dei materiali presenti nel file "WoodData.txt". Perché un elemento possa essere verificato è indispensabile che il materiale di cui è costituito, individuato univocamente dal suo nome, sia presente nel file "WoodData.txt".

La stringa di dati da aggiungere è la seguente:

HK27	1	27.	16.	0.5	22.	3.3	
	2.7	11500.	7900.	460.	800.	430.	490.

Nel quale sono inseriti nell'ordine, come spiegato nella legenda presente nel file stesso, i seguenti dati, nelle unità di misura attive:

- nome del profilo
- tipologia (0 legno massiccio, 1 legno lamellare)
- $f_{m0k}$  tensione caratteristica di rottura per flessione
- $f_{t0k}$  tensione caratteristica di rottura per trazione
- $f_{t90k}$  tensione caratteristica di rottura per trazione a  $90^\circ$  rispetto alle fibre
- $f_{c0k}$  tensione caratteristica di rottura a compressione
- $f_{c90k}$  tensione caratteristica di rottura a compressione a  $90^\circ$  rispetto alle fibre
- $f_{vk}$  tensione caratteristica di rottura a taglio
- $E_{0mean}$  modulo di elasticità medio

- E005 modulo di elasticità caratteristico frattile 5%
- E90mean modulo di elasticità a 90° medio
- Gmean modulo di elasticità tangenziale medio
- $\rho_k$  densità di peso caratteristica
- $\rho_m$  densità di peso media

Dopo aver aggiunto un materiale occorre incrementare il numero totale di materiali modificando la seguente zona del file:

_MATERIALS	
27	; the total number of materials to be read

*Si raccomanda di evitare caratteri di controllo speciali.*

```
_MATERIALS
27.....; the total number of materials to be read
woodC14→0→ 14.→ 8.→0.4→ 16.→ 2.0→ 1.7→ 7000.→4700.→230.→ 440.→ 290.→ 350.
woodC16→0→ 16.→ 10.→ 0.5→ 17.→ 2.2→ 1.8→ 8000.→5400.→270.→ 500.→ 310.→ 370.
woodC18→0→ 18.→ 11.→ 0.5→ 18.→ 2.2→ 2.0→ 9000.→6000.→300.→ 560.→ 320.→ 380.
woodC20→0→ 20.→ 12.→ 0.5→ 19.→ 2.3→ 2.2→ 9500.→6400.→320.→ 590.→ 330.→ 390.
woodC22→0→ 22.→ 13.→ 0.5→ 20.→ 2.4→ 2.4→ 10000.→ 6700.→330.→ 630.→ 340.→ 410.
woodC24→0→ 24.→ 14.→ 0.5→ 21.→ 2.5→ 2.5→ 11000.→ 7400.→370.→ 690.→ 350.→ 420.
woodC27→0→ 27.→ 16.→ 0.6→ 22.→ 2.6→ 2.8→ 11500.→ 7700.→380.→ 720.→ 370.→ 450.
```

Figura 7 Estratto di “Wooddata.txt”

*Come si vede dalla figura precedente, i vari campi devono essere separati da tabulazioni.* Si consiglia di duplicare una riga e di sovrascrivere i dati di interesse.

Il nome del materiale presente nel file deve essere rigorosamente lo stesso definito mediante il dialogo di figura 16. La definizione dei dati del materiale nel dialogo 16 è indipendente dalla definizione dei dati nel file “WoodData.txt”. Mentre quest’ultima serve solo alla esecuzione delle verifiche, la prima viene usata per eseguire il solving, in sostanza individua gli elementi finiti necessari ad eseguire il calcolo prima delle verifiche.

Il tabulato

Se è attiva la norma “Legno” verrà creato un tabulato con estensione “.WIT” (italiano) o “.WEN” (inglese) . Nel seguito supporremo che l'estensione sia “wit”.

Nel file .wit sono contenuti sia i risultati delle verifiche, sia una serie di risultati intermedi, sia una serie di dati di partenza (ad esempio quelli sui materiali) tipici del verificatore.

Scelta la norma viene scelta la estensione del tabulato, che è quindi unico. Il file .wit include anche tutte le parti generali create da wprint.exe e, in coda, ciò che in CESCOPLUS è il solo file .wit.

Di seguito un esempio completo di un tabulato per la parte specifica del legno, limitato ad una struttura di una sola asta.

#####							
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#			#				
#							



-----		SHAPE DATA PART A				-----	
Num	Name	Kind			Sizes		
1	RECT350x400	Rectangular: (B, H) = 3.500E+02 4.000E+02					
-----		SHAPE DATA PART B				-----	
Num	Name	A	WV2	WV3	W1	W2	W3
1	RECT350x400	1.400E+05	9.333E+04	9.333E+04	1.071E+07	9.333E+06	8.167E+06
-----		SHAPE DATA PART C				-----	
Num	Name	Width	Depth M2	Depth M3	Jt	J2	J3
1	RECT350x400	4.000E+02	4.000E+02	3.500E+02	2.719E+09	1.867E+09	1.429E+09
-----		EULER BUCKLING DATA				-----	
Beam	Section	Lam2rel	Lam3rel	Kc2	Kc3		
1	RECT350x400	9.650E-01	0.000E+00	7.152E-01	1.000E+00		
-----		FLEXURAL BUCKLING DATA				-----	
Beam	Section	Lam12rel	Lam13rel	Kcrit2	Kcrit3		
1	RECT350x400	3.025E-01	2.647E-01	1.000E+00	1.000E+00		
----- RISULTATI DELLE VERIFICHE: INVILUPPO SULLE CONDIZIONI DI CARICO -----							

-----									
	LEGEND								
	Beam .....	Beam number							
	Truss .....	Truss number							
	K_Res .....	Maximum resistance exploitation factor: ok if < 1.000							
	CB_Res .....	Combination associated to K_Res							
	N_Sec .....	Section inside beam where K_Res was computed							
	Nv_Res .....	Check number for resistance							
		1	compression						
		2	tension						
		3	bending						
		4	shear						
		5	torsion						
		6	axial force plus bending						
		7	shear force plus torsion						
	K_St .....	Maximum stability exploitation factor: ok if < 1.000							
	CB_St .....	Combination associated to K_Stab.							
	Nv_St .....	Check number for stability with the following meaning:							
		1	Ec5: compression		6.23				
		2	Ec5: compression plus bending		6.23				
		3	Ec5: bending		6.33				
		4	Ec5: bending plus compression		6.35				
	K_Max .....	Maximum of K_Res and K_St							
-----									
Trave	K_Res	CB_Res	N_Sez	Nv_Res	K_St	CB_St	Nv_St	K_Max	
1	2.273	7	1	6	2.152	8	2	2.273	

----- RISULTATI DELLE VERIFICHE: INFORMAZIONI ANALITICHE -----		
-----		
	LEGEND	
	Beam ..... Beam number	
	Truss ..... Truss number	
	CB ..... Combination number	
	Kr ..... Resistance exploitation factor	
	Ns ..... Section number in which Kr was computed	
	Nr ..... Resistance check code:	
	1    compression	
	2    tension	
	3    bending	
	4    shear	
	5    torsion	
	6    axial force plus bending	
	7    shear force plus torsion	
	Kst ..... Stability exploitation factor	
	Nst ..... Stability check code:	
	1    Ec5: compression                      6.23	
	2    Ec5: compression plus bending      6.23	
	3    Ec5: bending                          6.33	
	4    Ec5: bending plus compression      6.35	
	GM ..... Gamma M for this element & combination	
	kmod ..... kmod for this element & combination	
	ft0d ..... Design maximum tensile stress                      (0 degrees)	
	fc0d ..... Design maximum compressive stress                      (0 degrees)	
	fmd2 ..... Design maximum bending (axis 2) stress                      (0 degrees)	
	fmd3 ..... Design maximum bending (axis 3) stress                      (0 degrees)	
	fvd ..... Design maximum shear stress	
-----		

Beam	CB	Kr	Ns	Nr	Kst	Nst	GM	kmod	ft0d	fc0d	fmd2	fmd3	fvd
1	1	0.18	1	3	0.18	3	1.30	0.50	3.077E+00	6.154E+00	5.385E+00	5.385E+00	6.538E-01
1	2	0.89	1	1	1.25	2	1.30	0.65	4.000E+00	8.000E+00	7.000E+00	7.000E+00	8.500E-01
1	3	2.11	1	2	0.00	2	1.30	0.55	3.385E+00	6.769E+00	5.923E+00	5.923E+00	7.192E-01
1	4	0.77	1	3	0.77	3	1.30	0.65	4.000E+00	8.000E+00	7.000E+00	7.000E+00	8.500E-01
1	5	1.56	1	6	2.01	2	1.30	0.65	4.000E+00	8.000E+00	7.000E+00	7.000E+00	8.500E-01
1	6	0.93	1	6	1.39	2	1.30	0.65	4.000E+00	8.000E+00	7.000E+00	7.000E+00	8.500E-01
1	7	2.27	1	6	0.16	3	1.30	0.55	3.385E+00	6.769E+00	5.923E+00	5.923E+00	7.192E-01
1	8	1.70	1	6	2.15	2	1.30	0.65	4.000E+00	8.000E+00	7.000E+00	7.000E+00	8.500E-01

Figura 8 Tabulato .wit

Dopo la definizione della classe di servizio (dalla quale dipendono i risultati delle verifiche) il tabulato dà una serie di informazioni relative alle caratteristiche del materiale. Il programma reperisce queste informazioni nel file “wooddata.txt”.

In seguito vengono chiariti per ogni forma sezionale i dati di calcolo impiegati per la esecuzione delle verifiche. Tali dati di calcolo possono essere calcolati in automatico (forme sezionali tipo rettangolare o circolare piena) o possono essere forniti manualmente al programma per qualsiasi tipologia sezionale, insegnando così al programma come fare ad eseguire le verifiche. In particolare vengono forniti i moduli di resistenza per ciascuna delle componenti di sollecitazione ed i momenti di inerzia necessari al calcolo del comportamento a instabilità. E' da notare che la formulazione del  $J_t$  della sezione rettangolare è diversa tra verificatore e solutore. E' sempre possibile adoperare i dati desiderati pur di fornirli al programma.

La sezione successiva si riferisce all'instabilità euleriana (compressione, pressoflessione). Vengono fornite le snellezze adimensionali ed i fattori riduttivi per le tensioni di compressione, in ciascuno dei due possibili piani di sbandamento. Si noti a questo riguardo, che l'asse locale “2” giace nel piano dello schermo, mentre l'asse locale “3” è ad esso perpendicolare.

Nella sezione ancora successiva si danno delle informazioni relative alla instabilità flessionale (lo svergolamento). In particolare viene fornito il valore di  $K_{crit}$ .

La sezione successiva dà i valori dei coefficienti di sfruttamento di involucro, ovvero il peggio al variare delle combinazioni, sia per la resistenza che per la stabilità.

Infine, l'ultima sezione fornisce i risultati “analitici”, ovvero elemento per elemento e combinazione per combinazione. In questa ultima sezione viene anche riepilogato il coefficiente  $\gamma_M$  ed il coefficiente  $K_{mod}$ , che, come è noto, dipende dalla combinazione.

## 4.9 AISC-LRFD

### AISC-LRFD 14ed Guida Tecnica

#### 1 Premessa

La normativa in questione è la AISC LRFD (Load and Resistance Factor Design, in pratica la norma agli stati limite) nella sua 14<sup>a</sup> edizione.

Sono stati implementati i seguenti paragrafi della normativa, in tutto o in parte:

B.3.1, B.3.2, B.3.3, B.3.5, B.4.1, B.4.3 (via fattore di riduzione dell'area).

C.1.2

D1.1, D.2, D.3 (via fattore di riduzione dell'area)

E.1, E.2, E.3, E.4, E.5 (l'utente deve modificare il coefficiente di libera inflessione), E.6 (snellezza aggiuntiva pari a 50 o libera nelle sezioni utente), E.7

F.1, F.2, F.3, F.4, F.5, F.6, F.7, F.8, F.9, F.10, F.11, F.12 (via sezioni utente)

G.1, G.2.1, G.4, G.5, G.6, G.7

H1, H3

Appendice 8: 8.2.1

Nel seguito saranno date dettagliate spiegazioni sulle ipotesi ed assunzioni fatte.

#### 2 La trattazione delle verifiche a stabilità

Nella versione 14 delle AISC, il metodo considerato *normale* per la soluzione dei problemi di stabilità è quello indicato come "diretto". In pratica le formule di verifica danno per scontato che sia stata eseguita una analisi del second'ordine, capace di tenere conto sia dell'effetto  $P-\Delta$  che dell'effetto  $P-\delta$ .

Dato che non sembra potersi ancora dire che un tale approccio debba essere considerato, almeno qui in Europa, quello "normale", il verificatore utilizza invece come metodo normale il tradizionale metodo della lunghezza di libera inflessione, che assume che le sollecitazioni non tengano conto degli effetti anzi detti.

La norma distingue, come anche la teoria, tra effetti  $P-\Delta$  ed effetti  $P-\delta$ .

### Effetto P-Δ

I primi effetti del second'ordine (globali, P-Δ) possono essere tenuti in conto per mezzo del coefficiente B<sub>2</sub>, che viene determinato ad ogni diverso piano (si suppone vi siano edifici), in ogni direzione di sbandamento (secondo gli assi principali delle colonne), ed applicato alle azioni applicate al piano corrispondenti in modo da amplificare i momenti di calcolo. B<sub>2</sub> è definito alla formula A-8-6 nel modo che segue:

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{\alpha P_{story}}{P_{e,story}}}$$

dove α vale 1 agli stati limite, P<sub>story</sub> è il carico agente al piano, e P<sub>e,story</sub> è il carico critico relativo al piano.

L'utente dovrà sincerarsi che valgano le delimitazioni specificate in Appendice 8.1 per la applicabilità di tale metodo. Se tali condizioni sono soddisfatte, potrà incrementare i carichi laterali di piano mediante tale fattore B<sub>2</sub>, *che non viene considerato dal verificatore. E' compito dell'utente garantire che le azioni interne tengano già conto dell'effetto P-Δ.*

In alternativa al metodo che usa il coefficiente B<sub>2</sub>, sarà sufficiente eseguire l'analisi per mezzo di Soclever, che già tiene in conto l'effetto P-Δ.

### Effetto P-δ

I secondi effetti del second'ordine (locali, P-δ), possono essere valutati in modo semplificato mediante il coefficiente B<sub>1</sub>, così definito dalla norma al punto A8.1 (formula A-8-3):

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \frac{\alpha P_r}{P_{crit}}}$$

dove C<sub>m</sub> è un coefficiente di distribuzione del momento (≤1 tranne in rari casi dove può essere di poco maggiore di 1), α vale 1 agli stati limite, P<sub>r</sub> è l'azione assiale applicata all'elemento e P<sub>crit</sub> il carico critico euleriano nella direzione di sbandamento considerata.

Se il momento varia linearmente il coefficiente C<sub>m</sub> viene valutato con la formula (eguale a quella anche usata nelle CNR 10011):

$$C_m = 0.6 + 0.4 \frac{M_1}{M_2}$$

dove M<sub>1</sub> ed M<sub>2</sub> sono il momento minore e maggiore in modulo ed hanno segno eguale se sollecitano a flessione la trave producendo analoga curvatura. Se il momento è costante, C<sub>m</sub> = 1.

Se il momento varia non linearmente, allora il programma usa la seguente formula:

$$C_m = 1 + \Psi \left( \frac{\alpha P_r}{P_{e1}} \right)$$

dove

$$\Psi = \frac{\pi^2 \delta_0 EI}{M_0 L^2} - 1$$

e dove  $\delta_0$  è la freccia nella direzione considerata, E il modulo di Young, I il momento di inerzia nella direzione considerata,  $M_0$  il momento flettente massimo ed L la luce. Si noti che tale formula è identica a quella utilizzata dal [Metodo 1](#) <sup>[375]</sup> di Eurocodice 3. Il programma valuta  $\delta_0$  mediante integrazione della linea elastica ( $v'' = M/EI$ ) e supponendo spostamenti nodali nulli agli estremi (freccia locale). Una volta calcolato B1 per ogni elemento compresso (per quelli tesi  $B1 = 1$ ), in ogni diversa combinazione di carico, il programma ne tiene conto moltiplicando per tale valore B1 i momenti flettenti M2 ed M3 nelle verifiche di stabilità. Se M2 ed M3 sono i momenti del primo ordine applicati in una certa combinazione di carico in una certa sezione, il verificatore usa di fatto invece i momenti amplificati:

$$M2' = B21 \times M2$$

$$M3' = B31 \times M3$$

Con le modifiche introdotte, la verifica a presso flessione diviene molto simile a quella ben nota a chi si è occupato di acciaio sin dai tempi delle CNR 10011. Non vi sono limitazioni per l'applicazione di tale metodo semplificato che, storicamente, è quello che si è sempre seguito.

### 3 Tipologie sezionali verificate

Il programma verifica automaticamente le seguenti tipologie sezionali:

1. - Lamine a I o H ad ali eguali
2. - Lamine ad I o H ad ali diseguali
3. - IPN
4. - Saldate ad I o ad H
5. - Tubi circolari (CHS)

- 6. - RHS
- 7. - Sezioni a cassone rettangolari o quadrate (HSS) a spigoli vivi
- 8. - Piatti
- 9. - Sezioni circolari piene
- 10.- Sezioni a T ottenute per taglio di profili laminati ad I o H
- 11.- Sezioni a T saldate o a spigoli vivi
- 12. Sezioni a T laminate (con smussi)
- 13.- UPN
- 14.- U con flange a lati non rastremati (UPFC)
- 15.- U saldate o a spigoli vivi
- 16.- Doppie UPN []
- 17.- Doppie UPN ]]
- 18.- Angolari
- 19.- Sezioni ad L saldate o a spigoli vivi
- 20.- Doppi angolari \_||\_
- 21.- Doppi angolari ><
- 22.- Quattro angolari a croce (+)

Per le altre tipologie sezionali (sezioni formate a freddo, sezioni composte da poligonali, sezioni composte generiche), è possibile e necessario istruire il programma sulle modalità di verifica compilando il file AISCDATA.TXT presente nella cartella di installazione del programma. Se un profilo ha il nome coincidente con uno dei nomi delle sezioni presenti nel file AISCDATA.TXT le sue verifiche verranno in ogni caso eseguite mediante le regole delle *sezioni utente*. In una successiva sezione verrà chiarito come scrivere questo file e che verifiche vengono eseguite.

## 4 Classificazione

La classificazione dei profili viene fatta in accordo alla Tabella B.4.1. Per rendere la classificazione di un profilo svincolata dalla sua esatta conformazione, viene definito il valore limite del parametro  $\varepsilon$ , *del materiale* tale per cui se il materiale supera il valore di soglia il profilo passa di classe.

Per tutti i profili ad eccezione dei profili circolari cavi,



$$\varepsilon = \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

dove E è il modulo di Young del materiale ed  $f_y$  la sua tensione di snervamento.

Per i profili circolari cavi invece:

$$\varepsilon = \frac{E}{f_y}$$

Supponiamo ad esempio che debba risultare, per un certo profilo

$$b/t < 0.56\varepsilon$$

affinchè quel profilo sia compatto. Si può definire un valore limite del parametro  $\varepsilon_{lim}$  tale per cui se

$$\varepsilon > \varepsilon_{lim} = \frac{b}{t} \cdot \frac{1}{0.56}$$

la sezione è compatta, altrimenti è non compatta.

Se per un certo profilo  $b/t = 15$ , allora  $\varepsilon_{lim} = 15/0.56 = 26.78$ . Se consideriamo un acciaio S235 abbiamo

$\varepsilon = \sqrt{(210000/235)} = 29.89$ , e dato che  $29.89 > 26.78$  la sezione è compatta. Con un acciaio S355

avremmo invece avuto  $\varepsilon = \sqrt{(210000/355)} = 24.32 < 26.78$ , ed la sezione sarebbe stata non compatta.

Se una sezione ha più di un  $\varepsilon_{lim}$  (ad esempio perchè ha una classificazione per le flange ed una per

l'anima) occorre considerare come riferimento il maggiore ai fini della classificazione complessiva.

Ad esempio, per profili ad I laminati semplicemente compressi, il valore di  $\varepsilon_{lim}$  per considerare per il

limite tra sezione snella e non snella è:

$$\varepsilon_{lim} = \max \left\{ \frac{b_f / t_f}{0.56}; \frac{b_w / t_w}{1.49} \right\}$$

Esistono 5 distinte classificazioni: a compressione, a momento M2 positivo o negativo, a momento M3 positivo o negativo. Inoltre, la norma distingue casi in cui la classificazione della flangia compressa è diversa da quella dell'anima.

La classificazione viene fatta considerando le azioni interne applicate una ad una. Ogni classificazione porta con sé formule di verifica in generale differenti. Per classificare un profilo generico (sezioni utente) basta fornire i valori limite di  $\varepsilon$  del materiale (indicati con  $ecN$ ,  $ecM2p$ ,  $ecM2m$ ,  $ecM3p$ ,  $ecM3m$ ) per la soglia non snella/snella in compressione, e per la soglia compatta/non compatta e non compatta/snella in flessione. I numeri da fornire sono precisamente questi

$ecN_{nss}$                       non snella / snella

$ecM2_{pcnc}$                     compatta / non compatta

ecM2mcnc	compatta /non compatta
ecM2pncs	non compatta/snella
ecM2mnsc	non compatta/snella
ecM3pcnc	compatta /non compatta
ecM3mcnc	compatta /non compatta
ecM3pncs	non compatta/snella
ecM3mnsc	non compatta/snella

## 5 Sezioni slender

Le sezioni *slender* (snelle) vengono trattate in modo differente dalle altre sezioni.

Per quanto riguarda la verifica a compressione semplice è necessario determinare il fattore Q in accordo a quanto sub E 7. Tale calcolo viene svolto automaticamente per le seguenti tipologie sezionali:

1. - Lamine a I o H ad ali eguali
2. - Lamine a I o H ad ali diseguali
3. - IPN
4. - Saldate a I o a H
5. - UPN
6. - U con flange a lati non rastremati (UPFC)
7. - U saldate o a spigoli vivi
8. - Angolari
9. - Sezioni a L saldate o a spigoli vivi
- 10.- Sezioni a T ottenute per taglio di profili laminati a I o H
- 11.- Sezioni a T saldate o a spigoli vivi
12. Sezioni a T laminate (con smussi)
- 13.- Tubi circolari (CHS)
- 14.- RHS
- 15.- Sezioni a cassone rettangolari o quadrate (HSS) a spigoli vivi
- 16.- Piatti (Q=1 sempre)
- 17.- Sezioni circolari piene (Q=1, sempre)

Per le altre sezioni il Q viene posto eguale a 0 e, se la sezione è snella, non viene calcolata (lo sfruttamento viene convenzionalmente posto eguale a 99). In tal caso, è sempre possibile calcolare a parte il Q ed eseguire la verifica trattando la sezione come sezione utente.

Per quanto riguarda la verifica a flessione, il momento limite per sezioni aventi elementi snelli viene calcolato per le seguenti tipologie sezionali:

1. - Lamine a I o H ad ali eguali
2. - Lamine ad I o H ad ali diseguali
3. - IPN
4. - Saldate ad I o ad H
5. - UPN
6. - U con flange a lati non rastremati (UPFC)
7. - U saldate o a spigoli vivi
8. - Angolari
9. - Sezioni ad L saldate o a spigoli vivi
- 10.- Sezioni a T ottenute per taglio di profili laminati ad I o H
- 11.- Sezioni a T saldate o a spigoli vivi
12. Sezioni a T laminate (con smussi)
- 13.- Tubi circolari (CHS)
- 14.- Piatti (momenti sezioni snelle posti eguali a momenti limite elastici)
- 15.- Sezioni circolari piene
- 16.- Doppie UPN []
- 17.- Doppie UPN ]]
- 18.- Doppi angolari \_||\_
- 19.- Doppi angolari ><
- 20.- Quattro angolari a croce (+)

Per le altre forme sezionali, i momenti limite per sezioni snelle vengono posti eguali a 0 e la sezione, se snella, non potrà essere verificata a flessione (sfruttamento 99). In questi casi è sempre possibile istruire il verificatore mediante le "sezioni utente" descritte nel file AISCDATA.TXT.

## 6 Funzionamento del verificatore (resistenza, stabilità)

Il verificatore distingue tra verifiche a resistenza e verifiche a stabilità.

Le verifiche a resistenza sono:

- verifica a trazione
- verifica a compressione assumendo snellezza nulla (no TB, FB, TFB), ma tenendo conto della instabilità locale (coefficiente Q)
- verifica a taglio senza tener conto della instabilità per taglio (fattore  $C_v = 1$ )
- verifica a torsione senza tener conto della instabilità
- verifica a flessione senza tener conto dello svergolamento (lateral torsional buckling) ma tenendo conto dello snervamento e della instabilità locale (local buckling).
- verifiche di resistenza combinate senza tener conto della amplificazione dei momenti dovuta all'effetto P- $\delta$ .

Le verifiche a stabilità sono:

- verifiche a compressione semplice tenendo conto della instabilità torsionale (TB, torsional buckling), flesso torsionale (TFB, torsional flexural buckling), e flessionale (FB, flexural buckling);
- verifiche a taglio tenendo conto della instabilità per taglio ( $C_v < 1$ )
- verifiche a torsione tenendo conto della instabilità torsionale
- verifiche a flessione tenendo conto dello svergolamento (lateral torsional buckling)
- verifiche combinate tenendo conto della amplificazione dei momenti dovuta all'effetto P- $\delta$ .

Il funzionamento di massima del verificatore è il seguente:

1. Viene dapprima eseguito un ciclo di verifiche a resistenza sulle bielle e sulle travi.
2. Poi viene eseguito un ciclo di verifiche a stabilità su bielle e travi.
3. Infine viene eseguito un ciclo di verifiche a stabilità sui superelementi.

Le verifiche a resistenza o a stabilità vengono eseguite nel seguente modo:

1. Si fanno le verifiche su ogni singola componente di sollecitazione, in questo ordine: N, T2, T3, M1, M2, M3. Se viene trovato uno sfruttamento elementare maggiore di 1 la verifica si arresta e si passa oltre memorizzando il valore ottenuto.
2. Poi si eseguono le verifiche combinate.
3. Infine viene memorizzato il valore massimo tra tutte le verifiche, elementari e combinate.

Le verifiche a stabilità vengono eseguite in ogni singola sezione dell'asta, per tutte le  $n_{sez\_ver}$  sezioni richieste.

Le verifiche combinate vengono ottenute nel caso della resistenza prendendo il massimo sfruttamento a resistenza (snervamento, local buckling) su ogni singola componente. Nel caso della stabilità le verifiche combinate considerano il massimo sfruttamento, su ogni componente, tra resistenza e stabilità.

### 6.1 Resistenza: Trazione

Viene eseguita una verifica sulla sezione lorda usando  $f_y$  e su quella netta usando  $f_t$ . La sezione netta è calcolata impiegando il fattore di riduzione dell'area  $ared$ , definito in Sargon.

Per quanto riguarda il fenomeno dello shear lag, questo dipende dalle modalità di collegamento e può essere tenuto in conto con un opportuno fattore di riduzione dell'area lorda  $ared$  da definirsi a cura dell'utente.

### 6.2 Resistenza: Compressione

A compressione viene verificato se la sezione sia snella o no. Se è snella viene calcolato  $Q$  (nei casi in cui è previsto). Grazie a  $Q$  si calcola una tensione di riferimento ridotta e con questa si esegue la verifica senza considerare l'instabilità flessionale e torsionale (snellezze nulle).

### 6.3 Resistenza: Taglio

Definito il modulo di resistenza a taglio per il taglio T2 e per il taglio T3,  $Aw2$  ed  $Aw3$ , si raffronta la tensione di calcolo con quella limite di progetto ( $\phi 0.6f_y$ ). Se il modulo di resistenza a taglio è nullo la verifica viene saltata.

La verifica a taglio viene eseguita per le seguenti forme sezionali:

1. - Lamine a I o H ad ali eguali
2. - Lamine ad I o H ad ali diseguali
3. - IPN
4. - Saldate ad I o ad H
5. - Tubi circolari (CHS)
6. - RHS
7. - Sezioni a cassone rettangolari o quadrate (HSS) a spigoli vivi
8. - Piatti
9. - Sezioni circolari piene
- 10.- Sezioni a T ottenute per taglio di profili laminati ad I o H
- 11.- Sezioni a T saldate o a spigoli vivi

- 12. Sezioni a T laminate (con smussi)
- 13.- UPN
- 14.- U con flange a lati non rastremati (UPFC)
- 15.- U saldate o a spigoli vivi
- 16.- Doppie UPN []
- 17.- Doppie UPN ][
- 18.- Angolari
- 19.- Sezioni ad L saldate o a spigoli vivi
- 20.- Doppi angolari \_||\_
- 21.- Doppi angolari ><
- 22.- Quattro angolari a croce (+)

#### **6.4 Resistenza: Torsione**

Definito il modulo di resistenza a torsione, si raffronta la tensione di calcolo con quella limite di progetto ( $\phi 0.6f_y$ ). Se il modulo di resistenza a torsione è nullo la verifica viene saltata.

#### **6.5 Resistenza: Flessione**

Non è prevista interazione tra flessione e taglio. Il momento applicato nella sezione in esame della membratura viene confrontato con il momento limite, che è stato calcolato in precedenza in funzione della classe del profilo, e della sua tipologia. Il momento limite di progetto dipende anche dal segno del momento applicato. Nella verifica di resistenza si considerano tutti gli stati limite del capitolo F ad eccezione dello svergolamento (lateral torsional buckling) che viene esaminato nel successivo ciclo di verifica a stabilità.

Per quanto riguarda i profili a C essi non sono apparentemente trattati per la flessione secondo l'asse forte se non quando sono compatti (sezione F2). Il programma estende la loro verifica anche ai casi non compatto e snello mediante analogia con i profili a I (sezioni F4 ed F5).

Per quanto riguarda i profili angolari laminati o saldati, la verifica a flessione viene fatta attorno agli assi principali e non attorno agli assi geometrici.

#### **6.6 Interazione a resistenza**

Si usano per tutti i profili le formule H1-1a e H1-1b, ma senza amplificare i momenti con i coefficienti B1 della appendice 8. Per i profili cavi, se e solo se lo sfruttamento a torsione supera 0.2 viene anche impiegata la formula H3.6.

### 6.7 Instabilità per azione assiale di compressione

Vengono eseguite le verifiche per torsional buckling (TB), flexural torsional buckling (FTB), e flexural buckling (FB).

Per gli elementi composti ( $\square$ ,  $\text{J}$ ,  $\times$ ,  $\text{—|—}$ ,  $+$ ) viene considerata come snellezza aggiuntiva 50 (si intende quanto sub E6 viene indicato con  $a/r_i$ ). Quindi la snellezza di calcolo è sempre maggiorata di tale valore. Ciò perché il dettaglio sul passo dei calastrelli o delle abbottonature non è noto al verificatore. La snellezza aggiuntiva è applicata sul solo asse 3 per i profili:  $\square$ ,  $\text{J}$ ,  $\text{—|—}$ . E' invece applicata a entrambi gli assi principali per i profili  $\times$  e  $+$  (due e quattro angolari a croce).

Per quanto riguarda il FB questo viene verificato con le snellezze totali (per i profili composti sommando 50 alla snellezza teorica) mediante le formule E3 o, se la sezione è snella, E7.

Per quanto riguarda il TB ed il FTB, questo viene verificato per tutte le forme sezionali previste ad eccezione dei tubi circolari e gli angolari a lati diseguali. Le formule adottate sono quelle sub E4, limitatamente ai casi di sezioni semplicemente o doppiamente simmetriche.

Per quanto riguarda gli angolari (E5) le prescrizioni relative al calcolo di una snellezza modificata in funzione dei sistemi di attacco, non possono essere implementate dato che il programma non conosce questi sistemi di attacco. Il problema viene risolto modificando il coefficiente di libera inflessione per ritrovare la snellezza indicata in E5. Tale modifica del coefficiente di libera inflessione deve essere a cura dell'utente e precedere le verifiche, in quanto eseguita in Sargon.

E' possibile non eseguire le verifiche a stabilità per TB o TFB ponendo eguale a 0 il coefficiente di libera inflessione  $\beta_1$ .

E' possibile non eseguire le verifiche a stabilità per FB ponendo eguale a 0 il coefficiente di libera inflessione  $\beta_2$  o  $\beta_3$ .

### 6.8 Instabilità per taglio

Le verifiche vengono eseguite nel caso in cui non ci siano irrigidimenti (G2). La verifica viene eseguita per le seguenti forme sezionali:

- profili a I o ad H in semplice o doppia simmetria, saldati o laminati;
- profili a C laminati o saldati;
- profili a T laminati o saldati;
- sezioni cave RHS e a cassone OSH (spigoli vivi)
- sezioni circolari cave.

### 6.9 Instabilità per torsione

Questa verifica viene eseguita per questi profili (sezione H3):

- sezioni RHS e a cassone a spigoli vivi (OSH);
- sezioni circolari cave.

### 6.10 Svergolamento (instabilità per flessione)

La verifica viene eseguita per queste forme sezionali (sezione F, vari sotto capitoli):

- sezioni ad I o ad H laminate o saldate;
- sezioni a T laminate o saldate;
- sezioni a C laminate o saldate;
- angolari laminati o saldati
- piatti semplici
- sezioni composte a  $\square$  e a  $\square$
- sezioni composte a  $\square$

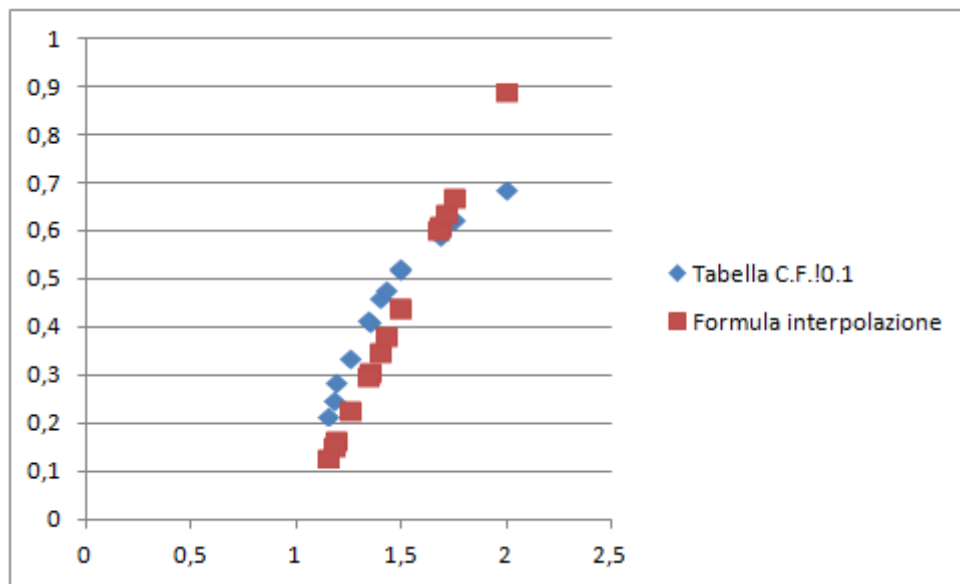
La norma non prevede le verifiche a svergolamento per i profili cavi e per i profili composti da angolari a da UPN, che si suppongono agire solo come puntoni o tiranti. Tuttavia, il verificatore estende la verifica a svergolamento anche a tre di tali tipologie di profili raddoppiando il momento limite valido per profili singoli.

Per quanto riguarda i profili angolari laminati o saldati, a lati diseguali, il parametro  $\beta_w$  nella verifica a svergolamento viene fissato mediante la seguente formula:

$$\beta_w = h(0.9 h/b - 0.9)$$

avendo ipotizzato  $h > b$ . Se invece  $b > h$ , allora  $h$  e  $b$  vanno scambiati. La formula di interpolazione è stata ottenuta utilizzando come riferimento i dati della tabella C-F.10.1. In figura la curva ottenuta (in ascissa  $h/b$ , in ordinata  $\beta_w$ ):





E' possibile non eseguire le verifiche a stabilità per svergolamento ponendo eguale a 0 il coefficiente di libera inflessione  $\beta_1$ .

E' sempre possibile eseguire una verifica mediante "sezioni utente".

### 6.11 Interazione a stabilità

Le formule adottate sono le medesime delle verifiche a resistenza, ma ci sono due differenze:

- la prima è che agli sfruttamenti sul momento M2 ed M3 viene applicato il fattore amplificativo B1, ma solo nel caso in cui si abbia compressione;
- la seconda è che gli sfruttamenti elementari che vengono sommati tengono conto sia delle verifiche di resistenza che di quelle a stabilità, considerando il massimo.

## 7 Sezioni e verifiche utente

Qualsiasi elemento può essere verificato mediante delle regole stabilite dall'utente, indipendentemente dalla sua forma sezionale. Nella cartella di installazione esiste un file, ASCII, denominato AISC DATA.TXT che elenca i dati di un certo numero di sezioni, dette "sezioni utente". Se l'elemento che si sta verificando ha la sezione che compare in questo file, le regole usate per verificarlo sono quelle delle sezioni utente e non quelle standard. Ciò anche nel caso in cui il profilo sia un profilo standard. La identificazione di un profilo avviene per mezzo del nome ad esso attribuito: se il nome del

profilo nel modello Sargon è eguale al nome del profilo nel file AISCDATA.TXT allora quel profilo sarà verificato con le regole dell'utente.

### 7.1 Generalità

Sargon consente di eseguire le verifiche secondo dati stabilite dall'utente. Ciò è destinato a risolvere due problemi distinti:

- 1) La necessità di poter eseguire le verifiche anche su sezioni non coperte dal verificatore automatico;
- 1) La opportunità di scegliere gli algoritmi di verifica in modo più aderente alla situazione specifica o alle necessità peculiari o alle personali convinzioni del progettista.

Il programma che esegue le verifiche si comporta in modo diverso a seconda che l'elemento da verificare sia dotato di una *sezione standard* o di una *sezione utente*.

Se l'elemento ha una sezione standard esso verrà verificato secondo le regole implementate all'interno del programma, se invece esso ha una sezione non standard allora verrà verificato in accordo alle regole stabilite dall'utente. Per poter decidere se una sezione è standard o no il programma confronta il nome della sezione (spazi e maiuscole-minuscole incluse) con l'elenco delle sezioni utente contenuto nel file **aiscdata.txt**. Se la sezione compare tra quelle utente allora verrà verificata secondo le regole dell'utente, in caso contrario verrà verificata dal programma. **Alcuni tipi sezionali non vengono verificati se non come profili utente**. Questi tipi sono: sezioni generiche, sezioni composte generiche, sezioni formate a freddo generiche o dei tipi previsti (a Z, a C, a omega, ad L).

Le sezioni non esplicitamente implementate nel verificatore non possono essere verificate se non spiegando al programma come fare, o, per meglio dire, specificando in modo esplicito nel file **aiscdata.txt**, i valori di calcolo da adottarsi per ogni profilo di interesse. I valori di calcolo rilevanti sono sostanzialmente quelli che nel tabulato sono listati sotto la sezione "Shape Data" o "Dati Sezionali", con il significato colà previsto. Qui di seguito si riporta il file **aiscdata.txt** accluso al programma. In questo file è elencato, a titolo di esempio, un solo profilo, il profilo "xHE 220 B", il quale altro non è che il profilo "HE220B". Il nome è stato modificato per la ragione seguente.

I dati del profilo HE220B sono stati messi sotto il nome "xHE220B" per evitare che il programma li legga da file.

Il file AISCDATA.TXT si presenta nel seguente modo, dove la prima parte è una dettagliata legenda che serve a comprendere il significato dei vari termini da introdurre.

Sargon - 1991-2026 - Copyright Castalia srl - Milan - Italy - [www.castaliaweb.com](http://www.castaliaweb.com)

```

$                               Se = 0 non applicabile o non necessario                               $
$                               $                               $
$ kv2.....Shear buckling coefficient (taglio limite instabilità asse 2,$G.2.1)$
$                               $                               $
$ kv3.....Shear buckling coefficient (taglio limite instabilità asse 3,$G.2.1)$
$                               $                               $
$ kind.....Tipo (= 1, laminata, = 2 saldata)                               $
$                               $                               $
$ lam2.....Snellezza aggiuntiva sull'asse 2 (par. E6.1)                               $
$                               $                               $
$ lam3.....Snellezza aggiuntiva sull'asse 3 (par. E6.1)                               $
$                               $                               $
$ epsilon.....Radice quadrata di (E/fy) o (E/fy) per sez. circ. cave, Table B.4.1 $
$                               $                               $
$ ecNnss.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che                               $
$                               il profilo compresso sia snello o no                               $
$ ecM2pcnc.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che                               $
$                               il profilo soggetto a M2 positivo sia compatto.                               $
$ ecM2pnsc.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che                               $
$                               il profilo soggetto a M2 positivo sia non compatto.                               $
$ ecM2mcnc.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che                               $
$                               il profilo soggetto a M2 negativo sia compatto.                               $
$ ecM2mnsc.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che                               $
$                               il profilo soggetto a M2 negativo sia non compatto.                               $
$ ecM3pcnc.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che                               $
$                               il profilo soggetto a M3 positivo sia compatto.                               $
$ ecM3pnsc.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che                               $
$                               il profilo soggetto a M3 positivo sia non compatto.                               $
$ ecM3mcnc.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che                               $
$                               il profilo soggetto a M3 negativo sia compatto.                               $
$ ecM3mnsc.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che                               $
$                               il profilo soggetto a M3 negativo sia non compatto.                               $
$                               $                               $
$ ns..... non snello                               $
$                               $                               $
$ nss..... non snello / snello                               $
$                               $                               $
$ cnc..... compatto / non compatto                               $
$                               $                               $
$ ncs..... non compatto / snello                               $
$                               $                               $
$ lb..... local buckling (classe 4, slender)                               $
$                               $                               $
$ Q ..... Fattore di riduzione per l'area lorda (sezioni in classe 4)                               $

```

\$		\$
\$ Msl2p.....	Momento limite flessione M2 positiva (slender)	\$
\$		\$
\$ Msl2m.....	Momento limite flessione M2 negativa (slender)	\$
\$		\$
\$ Msl3p.....	Momento limite flessione M3 positiva (slender)	\$
\$		\$
\$ Msl3m.....	Momento limite flessione M3 negativa (slender)	\$
\$		\$
\$ Mns2p.....	Momento limite flessione M2 positiva (non slender)	\$
\$		\$
\$ Mns2m.....	Momento limite flessione M2 negativa (non slender)	\$
\$		\$
\$ Mns3p.....	Momento limite flessione M3 positiva (non slender)	\$
\$		\$
\$ Mns3m.....	Momento limite flessione M3 negativa (non slender)	\$
\$		\$
\$ fy.....	Tensione di snervamento	\$
\$		\$
\$ x0.....	Coordinata x (asse 2) del centro di taglio rif. baricentrico	\$
\$		\$
\$ y0.....	Coordinata y (asse 3) del centro di taglio rif. baricentrico	\$
\$		\$
\$ Cw.....	Costante di ingobbamento ( $L^6$ )	\$
\$		\$
\$ Jt.....	Momento di inerzia torsionale ( $L^4$ )	\$
\$		\$
\$ Wtor.....	Modulo di resistenza torsionale ( $L^3$ )	\$
\$		\$
\$ W2tp .....	Modulo di resistenza LT piattabanda M2 positivo ( $L^3$ ) = 0 no LT	\$
\$		\$
\$ W2tn .....	Modulo di resistenza LT piattabanda M2 negativo ( $L^3$ ) = 0 no LT	\$
\$		\$
\$ W3tp .....	Modulo di resistenza LT piattabanda M3 positivo ( $L^3$ ) = 0 no LT	\$
\$		\$
\$ W3tn .....	Modulo di resistenza LT piattabanda M3 negativo ( $L^3$ ) = 0 no LT	\$
\$		\$
\$ rt2p .....	Raggio di inerzia piattabanda compressa M2 positivo (L) = 0 no LT	\$
\$		\$
\$ rt2m .....	Raggio di inerzia piattabanda compressa M2 negativo (L) = 0 no LT	\$
\$		\$
\$ rt3p .....	Raggio di inerzia piattabanda compressa M3 positivo (L) = 0 no LT	\$
\$		\$
\$ rt3m .....	Raggio di inerzia piattabanda compressa M3 negativo (L) = 0 no LT	\$

[illegible]

Il file è composto da righe che possono assumere significati differenti.

UNITS      unità

dove unità può assumere i valori seguenti: mm, m, cm, in, ft, yd

Ogni riga successiva verrà interpretata sulla base dell'ultima riga UNITS letta.

Il default è mm.

**\_SHAPE**                      inizio del blocco relativo a una sezione utente da verificarsi  
con il verifikatore BS

ENDSHAPE                      fine del blocco relativo a una sezione

Ogni altra riga diversa da queste e non compresa tra le righe `_SHAPE` o `_ENDSHAPE` deve essere considerata come un commento. Le righe comprese tra `_SHAPE` ed `_ENDSHAPE` fanno parte del blocco `SHAPE`. Tutto ciò che viene dopo un “;” su una certa riga è considerato commento.

### 7.3 Osservazioni sulle verifiche utente e sulle singole schede del file AISCDATA.TXT-

*Taglio (\_SHEAR)*

Le verifiche a taglio sono governate dai moduli di resistenza a taglio  $Aw_2$  ed  $Aw_3$  descritti dalla scheda \_SHEAR. I rapporti larghezza spessore seguenti (associati l'uno,  $hotw_2$ , al taglio T2, l'altro,  $hotw_3$ , al taglio T3, sono da inserire non nulli solo se si vuole che vengano eseguite verifiche a stabilità (instabilità per taglio). In questo caso, il valore da introdurre è il rapporto  $h/t$  ("h over t") per l'anima sollecitata dal taglio T2 o dal taglio T3, rispettivamente. I numeri successivi identificano il fattore  $k_v$  per il taglio T2 e T3 rispettivamente. Le formule adoperate sono le G2.3, G2.4 e G2.5.

*Instabilità FB (\_BUCKL)*

Occorre introdurre il tipo (se laminata o saldata) e le eventuali snellezze aggiuntive secondo l'asse 2 e 3 (si veda quanto in E6:  $\lambda_{m2} = K_a/r$  per l'asse 2).

*Classificazione (\_CLASSIFICATIONN, \_CLASSIFICATIONM2, \_CLASSIFICATIONM3)*

Occorre introdurre i limiti di  $\varepsilon$  discussi al par. 4. Occorre ricordare che la definizione di  $\varepsilon$  cambia se la sezione è circolare cava.

*Resistenza di sezioni snelle o non snelle ad azione assiale e flessione (\_NMRESISTANCE)*

Questi dati dipendono dalla tensione di snervamento e sono utilizzati solo se le sezioni del modello, oltre ad avere un nome corrispondente, hanno anche il medesimo valore di tensione di snervamento qui indicato. Si possono specificare più schede di questo tipo, ognuna con un differente valore di tensione di snervamento, fino ad un massimo di 10.

I valori indicati nella scheda sono:

Q	rapporto tra la tensione massima utilizzabile e la tensione di snervamento (§E7)
Msl2p	momento limite M2 positivo per sezioni snelle
Msl2m	momento limite M2 negativo per sezioni snelle
Msl3p	momento limite M3 positivo per sezioni snelle
Msl3m	momento limite M3 negativo per sezioni snelle
Mns2p	momento limite M2 positivo per sezioni non snelle (siano esse compatte o non compatte)
Mns2m	momento limite M2 negativo per sezioni non snelle (siano esse compatte o non compatte)
Mns3p	momento limite M3 positivo per sezioni non snelle (siano esse compatte o non compatte)

Mns3m momento limite M3 negativo per sezioni non snelle (siano esse compatte o non compatte)

I valori qui indicati servono per le verifiche *di resistenza*.

#### *Resistenza a torsione (\_TORRESISTANCE)*

Occorre indicare il modulo di resistenza a torsione, tale per cui la tensione tangenziale massima risulti:

$$\tau_{\max} = M1 / W_{\text{tor}}$$

#### *Buckling torsionale e flesso torsionale (\_TORBUCKLING)*

Occorre specificare:

$x_0$	Coordinata x (ovvero lungo l'asse 2) del centro di taglio rispetto al baricentro
$y_0$	Coordinata y (ovvero lungo l'asse 3) del centro di taglio rispetto al baricentro
$C_w$	Costante di ingobbamento
$J_t$	Momento di inerzia torsionale

Se la sezione è doppiamente simmetrica  $x_0=y_0=0$ . Se la sezione è semplicemente simmetrica o  $x_0$  o  $y_0$  sono nulli. Se sono non nulli sia  $x_0$  che  $y_0$  la sezione non ha assi di simmetria e la verifica non viene eseguita. Se tutti i valori sono nulli ( $x_0=y_0=C_w=J_t$ ) la sezione non viene verificata a TB o a FTB.

La formula adottata dal programma per calcolare la tensione critica corrispondente è:

- la formula E4-4 se  $x_0=y_0=0$ .
- la formula E4-5 se  $x_0$  o  $y_0$  sono nulli (e  $y_0$  o  $x_0$ , rispettivamente, no).

La lunghezza di libera inflessione è ottenuta moltiplicando il coefficiente di libera inflessione  $K_1$  per la lunghezza dell'elemento.

#### *Buckling latero torsionale (\_LATERALTORSIONAL)*

Per le sezioni utente la verifica a svergolamento viene eseguita mediante il metodo della piattabanda compressa. Occorre specificare il raggio di inerzia di tale piattabanda compressa ed il corrispondente modulo di resistenza (considerando, di solito, il baricentro della piattabanda stessa). Dato che in



generale lo svergolamento può avvenire sia per flessioni attorno all'asse 2 che per flessioni attorno all'asse 3, occorre specificare per ogni asse sia il raggio di inerzia che il modulo di resistenza. Per fare in modo che la verifica non venga eseguita (su un asse di flessione o entrambi) basta porre eguali a zero sia il raggio di inerzia che il modulo di resistenza.

In definitiva occorre specificare:

rt2p	raggio di inerzia della piattabanda compressa, flessione positiva attorno all'asse 2 ( $M_2 > 0$ );
rt2m	raggio di inerzia della piattabanda compressa, flessione negativa attorno all'asse 2 ( $M_2 < 0$ );
rt3p	raggio di inerzia della piattabanda compressa, flessione positiva attorno all'asse 3 ( $M_3 > 0$ );
rt3m	raggio di inerzia della piattabanda compressa, flessione negativa attorno all'asse 3 ( $M_3 < 0$ );
W2tp	modulo di resistenza della piattabanda compressa ( $\sigma=M/W$ , W sempre $> 0$ ), flessione positiva attorno all'asse 2 ( $M_2 > 0$ );
W2tm	modulo di resistenza della piattabanda compressa ( $\sigma=M/W$ , W sempre $> 0$ ), flessione negativa attorno all'asse 2 ( $M_2 < 0$ );
W3tp	modulo di resistenza della piattabanda compressa ( $\sigma=M/W$ , W sempre $> 0$ ), flessione positiva attorno all'asse 3 ( $M_3 > 0$ );
W3tm	modulo di resistenza della piattabanda compressa ( $\sigma=M/W$ , W sempre $> 0$ ), flessione negativa attorno all'asse 3 ( $M_3 < 0$ );

Il metodo implementato dal programma è quello della formula seguente:

$$M_{b,\lim} = C_b W \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L}{r_t}\right)^2}$$

dove  $C_b$  è il coefficiente di distribuzione del momento flettente ( $\geq 1$ ), W è il modulo di resistenza della piattabanda compressa, L la lunghezza di libera inflessione torsionale e  $r_t$  il raggio di inerzia della piattabanda compressa.

## 8 Il tabulato

Il tabulato è composto di varie sezioni, ciascuna delle quali adempie un compito preciso.

La prima sezione serve a dare informazioni sulle sezioni trasversali adoperate nel modello. Questa sezione elenca:

1. I rapporti larghezza-spessore;
2. I dati sulla resistenza a taglio e se la sezione sia stata riconosciuta come una sezione "utente" o no;
3. I dati sulla resistenza a torsione, sul centro di taglio e sulle proprietà torsionali;
4. I dati relativi allo svergolamento;
5. Il valore di Q ed i valori del momento limite da impiegare per sezioni snelle;
6. I limiti da impiegare ai fini della classificazione per compressione semplice del coefficiente  $\varepsilon$ ;
7. I limiti da impiegare ai fini della classificazione per flessione attorno all'asse M2 del coefficiente  $\varepsilon$ ;
8. I limiti da impiegare ai fini della classificazione per flessione attorno all'asse M3 del coefficiente  $\varepsilon$ ;

La seconda sezione elenca i dati relativi alle travi ed alle bielle che possono essere descritti senza conoscere l'effettivo stato di sollecitazione (sono indipendenti dalle combinazioni di verifica). Questa sezione elenca:

1. La tensione di snervamento e la classificazione della sezione per tutte le sollecitazioni elementari;
2. Le massime forze sopportabili dalla sezione a compressione, trazione e taglio;
3. I massimi momenti sopportabili dalla sezione a resistenza (snervamento e instabilità locale) secondo l'asse 2 e secondo l'asse 3, al positivo ed al negativo;
4. Le snellezze ed i carichi critici euleriani;
5. Le massime azioni assiali ed i massimi tagli sopportabili dall'elemento a stabilità;
6. I massimi momento torcente e momenti flettenti sopportabili dall'elemento a stabilità nella ipotesi che la distribuzione dei momenti sia costante ( $C_b = 1$ )

La terza sezione riporta i risultati ottenuti in formato sintetico, ovvero considerando solo il massimo al variare delle combinazioni. Questa sezione elenca:

1. Travi: i massimi coefficienti di sfruttamento a resistenza ed a stabilità, la combinazione in cui si sono verificati, la verifica che li ha prodotti, e la locazione in cui si sono verificati (ascissa adimensionale  $\xi$  compresa tra 0 ed 1);
2. Bielle: i massimi coefficienti di sfruttamento a resistenza ed a stabilità, la combinazione in cui si sono verificati, la verifica che li ha prodotti, e la locazione in cui si sono verificati (ascissa adimensionale  $\xi$  compresa tra 0 ed 1);

La quarta sezione riporta i risultati in forma analitica, vale a dire per ogni combinazione. Questa sezione elenca:

1. Travi e bielle: i massimi coefficienti di sfruttamento a resistenza ed a stabilità, la combinazione in cui si sono verificati, la verifica che li ha prodotti, e la locazione in cui si sono verificati (ascissa adimensionale  $c_{si}$  compresa tra 0 ed 1);
2. Per gli elementi beam i coefficienti  $C_b$  e  $C_m$ , nonché  $B_1$  per ogni trave e ogni combinazione di carico. Dato che questi coefficienti possono riferirsi sia alla flessione attorno all'asse 2 che alla flessione attorno all'asse 3, in ulteriore numero (2 o 3) identifica l'asse ( $C_{b2}$ ,  $C_{b3}$ ,  $C_{m2}$ ,  $C_{m3}$ ,  $B_{12}$ ,  $B_{13}$ ).
3. Per gli elementi beam gli sfruttamenti elementari calcolati a  $N$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $M_1$ ,  $M_2$  (prima della amplificazione con  $B_1$ ),  $M_3$  (prima della amplificazione con  $B_1$ ):  $sfrN$ ,  $sfrT_2$ ,  $sfrT_3$ ,  $sfrM_1$ ,  $sfrM_2$ ,  $sfrM_3$ .

```
#####  
#  
#   Vers. 10.3 - Copyright (c)1991-13 Castalia srl. Tutti i diritti riservati.#  
#  
#####
```

```
#####  
#                               DATI SEZIONALI DI CALCOLO                               #  
#####  
#  
#                               LEGENDA                               #  
#  
#####  
#  
# Aw2.....Area resistente a taglio, taglio T2 ($ G2) #  
#  
# Aw3.....Area resistente a taglio, taglio T3 ($ G2) #  
#  
# Cw.....Costante di ingobbamento (L^6) #  
#  
# epsilon .....SQRT(E / py) o (E / py) per tubi circolari, Tabella B4 #  
#  
# ecNnss.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che #  
#               il profilo compresso sia non snello. #  
# ecM2pcnc.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che #
```

```

#           il profilo soggetto a M2 positivo sia compatto.      #
# ecM2pnsc.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che #
#           il profilo soggetto a M2 positivo sia non compatto.  #
# ecM2mcnc.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che #
#           il profilo soggetto a M2 negativo sia compatto.      #
# ecM2mnsc.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che #
#           il profilo soggetto a M2 negativo sia non compatto.  #
# ecM3pnsc.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che #
#           il profilo soggetto a M3 positivo sia compatto.      #
# ecM3pnsc.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che #
#           il profilo soggetto a M3 positivo sia non compatto.  #
# ecM3mcnc.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che #
#           il profilo soggetto a M3 negativo sia compatto.      #
# ecM3mnsc.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che #
#           il profilo soggetto a M3 negativo sia non compatto.  #
#
# hotw2.....Rapporto altezza/spessore per l'anima. Utile per    #
#           il calcolo del taglio limite T2 ($ G2)              #
#           Se = 0 non applicabile o non necessario             #
#
# hotw3.....Rapporto altezza/spessore per l'anima. Utile per    #
#           il calcolo del taglio limite T3 ($ G2)              #
#           Se = 0 non applicabile o non necessario             #
#
# Jt .....Momento di inerzia torsionale (L^4)                  #
#
# kv2 .....Fattore per epsilon taglio T2 (G2-x)                #
#
# kv3.....Fattore per epsilon taglio T3 (G2-x)                 #
#
# lam2.....Snellezza aggiuntiva sull'asse 2 (a/ri $ E6)        #
#
# lam3.....Snellezza aggiuntiva sull'asse 3 (a/ri $ E6)        #
#
# M2slp.....Momento M2 positivo se sezione snella           #
#
# M2slm.....Momento M2 negativo se sezione snella           #
#
# M3slp.....Momento M3 positivo se sezione snella           #
#
# M3slm.....Momento M3 negativo se sezione snella           #
#
# Q .....Fattore di riduzione della tensione per profili      #
#           compressi snelli ($ E7)                             #

```

```
#
# rt2p .....Raggio di inerzia della piattabanda compressa,
#           verifiche a svergolamento. Momento M2 positivo.
#           Se nullo non c'è svergolamento o profilo standard.
#
# rt2m .....Raggio di inerzia della piattabanda compressa,
#           verifiche a svergolamento. Momento M2 negativo.
#           Se nullo non c'è svergolamento o profilo standard.
#
# rt3p .....Raggio di inerzia della piattabanda compressa,
#           verifiche a svergolamento. Momento M3 positivo.
#           Se nullo non c'è svergolamento o profilo standard.
#
# rt3m .....Raggio di inerzia della piattabanda compressa,
#           verifiche a svergolamento. Momento M3 negativo.
#           Se nullo non c'è svergolamento o profilo standard.
#
# tmax.....Massimo spessore
#
# U.....Utente: = 1 le proprietà sono definite dall'utente
#
# W2tp .....Modulo di resistenza equivalente della piattabanda
#           compressa, verifiche a svergolamento. Momento M2 pos.
#           Se nullo non c'è svergolamento o profilo standard.
#
# W2tm .....Modulo di resistenza equivalente della piattabanda
#           compressa, verifiche a svergolamento. Momento M2 neg.
#           Se nullo non c'è svergolamento o profilo standard.
#
# W3tp .....Modulo di resistenza equivalente della piattabanda
#           compressa, verifiche a svergolamento. Momento M3 pos.
#           Se nullo non c'è svergolamento o profilo standard.
#
# W3tm .....Modulo di resistenza equivalente della piattabanda
#           compressa, verifiche a svergolamento. Momento M3 neg.
#           Se nullo non c'è svergolamento o profilo standard.
#
# wtt_w .....Rapporto larghezza spessore per anima o altro utile
#
# wtt_flu .....Rapporto larghezza spessore per flangia superiore
#
# wtt_flu .....Rapporto larghezza spessore per flangia inferiore
#
# Wtor .....Modulo di resistenza a torsione
```

```

#
# x0.....Coordinata centro di taglio vs baricentro (asse 2)
#
# y0.....Coordinata centro di taglio vs baricentro (asse 3)
#
#
#
#
#####

```

## RAPPORTI LARGHEZZA\_SPESSORE

Num.	Nome	wtt_w	wtt_flu	wtt_fld	lam2
lam3					
1	IPE 100	1.820E+01	4.825E+00	4.825E+00	0.000E+00
					0.000E+00

## DATI SULLA RESISTENZA A TAGLIO

Num.	U	Nome	tmax	Aw2	Aw3	hotw2	hotw3	kv2
								kv3
1	0	IPE 100	5.700E+00	6.270E+02	4.100E+02	4.825E+00	1.820E+01	1.200E+00
								5.000E+00

## DATI SU TORSIONE E CENTRO DI TAGLIO

Num.	Nome	Wtor	x0	y0	Cw
1	IPE 100	2.109E+03	0.000E+00	0.000E+00	3.514E+08
					1.202E+04

## DATI SULLO SVERGOLAMENTO

Num.	Nome	rt2p	rt2m	rt3p	rt3m	W2tp	W2tm
	W3tp	W3tm					
1	IPE 100	1.479E+01	1.479E+01	0.000E+00	0.000E+00	3.420E+04	
		3.420E+04	0.000E+00	0.000E+00			

## VALORI EFFICACI SEZIONI SNELLE

Num.	Nome	fy	Q	M2slp	M2slm	M3slp	M3slm
1	IPE 100	2.750E+02	1.000E+00	9.406E+06	9.406E+06	1.592E+06	
						1.592E+06	

## LIMITI DI EPSILON PER COMPRESSIONE

Num.	Nome	ecNnss
1	IPE 100	1.221E+01

## LIMITI DI EPSILON PER FLESSIONE M2

Num.	Nome	ecM2pcnc	ecM2pnsc	ecM2mcnc	ecM2mnsc
1	IPE 100	1.270E+01	1.270E+01	4.825E+00	4.825E+00

## LIMITI DI EPSILON PER FLESSIONE M3

Num.	Nome	ecM3pcnc	ecM3pnsc	ecM3mcnc	ecM3mnsc
1	IPE 100	1.270E+01	1.270E+01	4.825E+00	4.825E+00

```
#####
#                               #
#          DATI RELATIVI A TRAVI E BIELLE          #
#                               #
#####
#                               #
#          LEGENDA          #
#                               #
```

```

#
#####
#
# Capacità.....Valore di progetto fattorizzato
#
# FB.....Instabilità flessionale (flexural buckling)
#
# TB.....Instabilità torsionale (torsional buckling)
#
# TFB.....Instabilità flesso-torsionale (flexural-torsional)
#
# -----
#
# clN.....Classe a compressione (1-4)      | 1 : compatta
#
# clM2m.....Classe a momento M2 negativo   | 2 : ---
#
# clM2p.....Classe a momento M2 positivo   | 3 : non compatta
#
# clM3m.....Classe a momento M3 negativo   | 4 : snella
#
# clM3p.....Classe a momento M3 positivo
#
# clMax.....Classe massima
#
# E.....Modulo di elasticità
#
# lam1.....Snellezza totale per svergolamento
#
# lam2.....Snellezza totale sbandamento attorno all'asse 2
#
# lam3.....Snellezza totale sbandamento attorno all'asse 3
#
# Mb2p.....Capacità momento M2 positivo (svergolamento, Cb=1, $F)
#
# Mb2m.....Capacità momento M2 negativo (svergolamento, Cb=, $F1)
#
# Mb3p.....Capacità momento M3 positivo (svergolamento, Cb=1, $F)
#
# Mb3m.....Capacità momento M3 negativo (svergolamento, Cb=1, $F)
#
# Mc2m.....Capacità a momento M2 negativo (no svergolamento, $F)
#
# Mc2p.....Capacità a momento M2 positivo (no svergolamento, $F)

```



```
#
# Mc3m.....Capacità a momento M3 negativo (no svergolamento, $F) #
#
# Mc3p.....Capacità a momento M3 positivo (no svergolamento, $F) #
#
# Mt.....Capacità a torsione (H) #
#
# Mtc.....Capacità a torsione (instabilità, H3) #
#
# Pc.....Capacità a compressione (no FB, TFB, TB, , $E) #
#
# Pccr1.....Capacità a compressione (TB o TFB asse 1) se = 0 non #
# impiegata o instabilità impedita, $E #
#
# Pccr2.....Capacità a compressione(FB asse 2) se =0 non impiegata #
# o instabilità impedita, $E #
#
# Pccr3.....Capacità a compressione(FB asse 3) se =0 non impiegata #
# o instabilità impedita, $E #
#
# Pccr.....Capacità finale a compressione (FB, TFB, FB, $EF) #
#
# Pel2.....Carico critico euleriano (asse 2, $E3-4) #
#
# Pel3.....Carico critico euleriano (asse 3, $E3-4) #
#
# Pt.....Capacità a trazione ($D) #
#
# Pv2.....Capacità a taglio (T2) se Cv = 1 (no instabilità, $G) #
#
# Pv3.....Capacità a taglio (T3) se Cv = 1 (no instabilità, $G) #
#
# Pvcr2.....Capacità a taglio per instabilità (T2, $G, Cv != 1) #
#
# Pvcr3.....Capacità a taglio per instabilità (T3, $G, Cv != 1) #
#
# py.....Resistenza di progetto dell'acciaio #
#
#
#####
```

Trave	Sezione	py	clN	clM2p	clM2m	clM3p	clM3m
1	IPE 100	2.750E+02	1	1	1	1	1
2	IPE 100	2.750E+02	1	1	1	1	1
3	IPE 100	2.750E+02	1	1	1	1	1
4	IPE 100	2.750E+02	1	1	1	1	1
5	IPE 100	2.750E+02	1	1	1	1	1
6	IPE 100	2.750E+02	1	1	1	1	1
7	IPE 100	2.750E+02	1	1	1	1	1
8	IPE 100	2.750E+02	1	1	1	1	1
9	IPE 100	2.750E+02	1	1	1	1	1
10	IPE 100	2.750E+02	1	1	1	1	1

Trave	Sezione	Pc	Pt	Pv2	Pv3
1	IPE 100	2.555E+05	2.555E+05	9.311E+04	6.765E+04
2	IPE 100	2.555E+05	2.555E+05	9.311E+04	6.765E+04
3	IPE 100	2.555E+05	2.555E+05	9.311E+04	6.765E+04
4	IPE 100	2.555E+05	2.555E+05	9.311E+04	6.765E+04
5	IPE 100	2.555E+05	2.555E+05	9.311E+04	6.765E+04
6	IPE 100	2.555E+05	2.555E+05	9.311E+04	6.765E+04
7	IPE 100	2.555E+05	2.555E+05	9.311E+04	6.765E+04
8	IPE 100	2.555E+05	2.555E+05	9.311E+04	6.765E+04
9	IPE 100	2.555E+05	2.555E+05	9.311E+04	6.765E+04
10	IPE 100	2.555E+05	2.555E+05	9.311E+04	6.765E+04

Trave	Sezione	Mt	Mc2p	Mc2m	Mc3p	Mc3m
1	IPE 100	3.132E+05	9.753E+06	9.753E+06	2.264E+06	2.264E+06
2	IPE 100	3.132E+05	9.753E+06	9.753E+06	2.264E+06	2.264E+06
3	IPE 100	3.132E+05	9.753E+06	9.753E+06	2.264E+06	2.264E+06
4	IPE 100	3.132E+05	9.753E+06	9.753E+06	2.264E+06	2.264E+06
5	IPE 100	3.132E+05	9.753E+06	9.753E+06	2.264E+06	2.264E+06
6	IPE 100	3.132E+05	9.753E+06	9.753E+06	2.264E+06	2.264E+06
7	IPE 100	3.132E+05	9.753E+06	9.753E+06	2.264E+06	2.264E+06
8	IPE 100	3.132E+05	9.753E+06	9.753E+06	2.264E+06	2.264E+06
9	IPE 100	3.132E+05	9.753E+06	9.753E+06	2.264E+06	2.264E+06
10	IPE 100	3.132E+05	9.753E+06	9.753E+06	2.264E+06	2.264E+06

Trave	Sezione	lam1	lam2	lam3	Pe12	Pe13
1	IPE 100	0.000E+00	2.457E+01	8.053E+01	3.544E+08	3.299E+07
2	IPE 100	0.000E+00	2.457E+01	8.053E+01	3.544E+08	3.299E+07
3	IPE 100	0.000E+00	2.457E+01	8.053E+01	3.544E+08	3.299E+07
4	IPE 100	0.000E+00	2.457E+01	8.053E+01	3.544E+08	3.299E+07
5	IPE 100	0.000E+00	2.457E+01	8.053E+01	3.544E+08	3.299E+07
6	IPE 100	0.000E+00	2.457E+01	8.053E+01	3.544E+08	3.299E+07
7	IPE 100	0.000E+00	2.457E+01	8.053E+01	3.544E+08	3.299E+07
8	IPE 100	0.000E+00	2.457E+01	8.053E+01	3.544E+08	3.299E+07
9	IPE 100	0.000E+00	2.457E+01	8.053E+01	3.544E+08	3.299E+07
10	IPE 100	0.000E+00	2.457E+01	8.053E+01	3.544E+08	3.299E+07

Trave	Sezione	Pccr1	Pccr2	Pccr3	Pccr	Pvcr2
Pvcr3						
1	IPE 100	0.000E+00	2.471E+05	1.782E+05	1.782E+05	9.311E+04
1.035E+05						
2	IPE 100	0.000E+00	2.471E+05	1.782E+05	1.782E+05	9.311E+04
1.035E+05						
3	IPE 100	0.000E+00	2.471E+05	1.782E+05	1.782E+05	9.311E+04
1.035E+05						
4	IPE 100	0.000E+00	2.471E+05	1.782E+05	1.782E+05	9.311E+04
1.035E+05						
5	IPE 100	0.000E+00	2.471E+05	1.782E+05	1.782E+05	9.311E+04
1.035E+05						
6	IPE 100	0.000E+00	2.471E+05	1.782E+05	1.782E+05	9.311E+04
1.035E+05						
7	IPE 100	0.000E+00	2.471E+05	1.782E+05	1.782E+05	9.311E+04
1.035E+05						
8	IPE 100	0.000E+00	2.471E+05	1.782E+05	1.782E+05	9.311E+04
1.035E+05						
9	IPE 100	0.000E+00	2.471E+05	1.782E+05	1.782E+05	9.311E+04
1.035E+05						
10	IPE 100	0.000E+00	2.471E+05	1.782E+05	1.782E+05	9.311E+04
1.035E+05						

Trave	Sezione	Mtcr	Mb2p	Mb2m	Mb3p	Mb3m
1	IPE 100	3.132E+05	9.075E+06	9.075E+06	0.000E+00	0.000E+00

2	IPE	100	3.132E+05	9.075E+06	9.075E+06	0.000E+00	0.000E+00
3	IPE	100	3.132E+05	9.075E+06	9.075E+06	0.000E+00	0.000E+00
4	IPE	100	3.132E+05	9.075E+06	9.075E+06	0.000E+00	0.000E+00
5	IPE	100	3.132E+05	9.075E+06	9.075E+06	0.000E+00	0.000E+00
6	IPE	100	3.132E+05	9.075E+06	9.075E+06	0.000E+00	0.000E+00
7	IPE	100	3.132E+05	9.075E+06	9.075E+06	0.000E+00	0.000E+00
8	IPE	100	3.132E+05	9.075E+06	9.075E+06	0.000E+00	0.000E+00
9	IPE	100	3.132E+05	9.075E+06	9.075E+06	0.000E+00	0.000E+00
10	IPE	100	3.132E+05	9.075E+06	9.075E+06	0.000E+00	0.000E+00

```
# #####  
#                                RISULTATI                                #  
#####  
#                                #  
#                                LEGENDA                                #  
#                                #  
#####  
#                                #  
# Trave.....Numero dell'elemento trave                               #  
# Biella.....Numero dell'elemento biella                             #  
# KR.....Massimo coefficiente di sfruttamento a resistenza           #  
# CbR.....Combinazione in cui è stato calcolato KR (o K Ri)          #  
# ChkR.....Numero di verifica che ha condotto al calcolo di KR (o K Ri) #  
#                                Vale la seguente codifica:            #  
#                                #  
#      1      Eccesso di azione assiale                                 #  
#      2      Eccesso di taglio T2                                     #  
#      3      Eccesso di taglio T3                                     #  
#      4      Eccesso di M2                                           #  
#      5      Eccesso di M3                                           #  
#      8      Eccesso di M1                                           #  
#     12      Proprietà sezionali invalide o sconosciute              #  
#     13      Presso o tenso flessione, bassa N                       #  
#     14      Presso o tenso flessione alta N                         #  
#     15      Interazione per sezioni cave                            #  
#     99      classe 4                                                #  
#                                #  
# CsiR.....Ascissa adimensionale (0-1) ove è stato misurato KR (o K Ri) #  
# KS.....Massimo coefficiente di sfruttamento a stabilità            #  
# CbS.....Combinazione in cui è stato calcolato KS (o K Si)          #  
# ChkS.....Numero di verifica che ha condotto al calcolo di KS o (K Si) #  
#                                Vale la seguente codifica:            #  
#                                #
```

#	21	Compressione	#
#	22	Taglio T2	#
#	23	Taglio T3	#
#	24	Torsione	#
#	25	Momento M2	#
#	26	Momento M3	#
#	27	Presso flessione bassa N	#
#	28	Presso flessione alta N	#
#	29	Interazione per sezioni cave	#
#	12	Proprietà sezionali invalide o sconosciute	#
#	99	Classe 4	#
#			#
#	CsiS.....	Ascissa adimensionale (0-1) ove è stato misurato KS	#
#	KM.....	Sfruttamento massimo tra resistenza e stabilità	#
#	CbM.....	Combinazione ove è stato calcolato KM (o KMi)	#
#	ChkM.....	Numero di verifica corrispondente a KM (o KMi)	#
#	CsiM.....	Ascissa adimensionale (0-1) ove è stato misurato KM o (KMi)	#
#	Combi.....	Numero di combinazione	#
#	KRi.....	Coefficiente di sfruttamento a resistenza in Combi	#
#	KSi.....	Coefficiente di sfruttamento a stabilità in Combi	#
#	KMi.....	Sfruttamento massimo tra resistenza e stabilità in Combi	#
#	B12.....	Coefficiente B1 amplificazione momento M2 (A8.3)	#
#	B13.....	Coefficiente B1 amplificazione momento M3 (A8.3)	#
#	Cb2.....	Coefficiente di distribuzione momento asse 2 (F1-1)	#
#	Cb3.....	Coefficiente di distribuzione momento asse 3 (F1-1)	#
#	Cm2.....	Coefficiente di distribuzione momento asse 2 (A8.2.1)	#
#	Cm3.....	Coefficiente di distribuzione momento asse 3 (A8.2.1)	#
#			#
#####			

## RISULTATI IN FORMA SINTETICA

Trave	KR	CbR	ChkR	CsiR	KS	CbS	ChkS	CsiS	KM	CbM	ChkM	CsiM
1	0.391	1	1	0.000	0.561	1	21	0.700	0.561	1	21	0.700
2	0.391	1	1	0.000	0.561	1	21	0.700	0.561	1	21	0.700
3	0.391	1	1	0.000	0.561	1	21	0.700	0.561	1	21	0.700
4	0.391	1	1	0.000	0.561	1	21	0.700	0.561	1	21	0.700
5	0.391	1	1	0.000	0.561	1	21	0.700	0.561	1	21	0.700
6	0.391	1	1	0.000	0.561	1	21	0.700	0.561	1	21	0.700

7	0.391	1	1	0.000	0.561	1	21	0.700	0.561	1	21	0.700
8	0.391	1	1	0.000	0.561	1	21	0.700	0.561	1	21	0.700
9	0.391	1	1	0.000	0.561	1	21	0.700	0.561	1	21	0.700
10	0.391	1	1	0.000	0.561	1	21	0.700	0.561	1	21	0.700

## RISULTATI IN FORMA ANALITICA

Trave	Combi	KRi	ChkR	CsiR	KSi	ChkS	CsiS	KMi	ChkM	CsiM
1	1	0.391	1	0.000	0.561	21	0.700	0.561	21	0.700
2	1	0.391	1	0.000	0.561	21	0.700	0.561	21	0.700
3	1	0.391	1	0.000	0.561	21	0.700	0.561	21	0.700
4	1	0.391	1	0.000	0.561	21	0.700	0.561	21	0.700
5	1	0.391	1	0.000	0.561	21	0.700	0.561	21	0.700
6	1	0.391	1	0.000	0.561	21	0.700	0.561	21	0.700
7	1	0.391	1	0.000	0.561	21	0.700	0.561	21	0.700
8	1	0.391	1	0.000	0.561	21	0.700	0.561	21	0.700
9	1	0.391	1	0.000	0.561	21	0.700	0.561	21	0.700
10	1	0.391	1	0.000	0.561	21	0.700	0.561	21	0.700

Trave	Combi	Cm2	Cm3	Cb2	Cb3	B12	B13
1	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.003
2	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.003
3	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.003
4	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.003
5	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.003
6	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.003
7	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.003
8	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.003
9	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.003
10	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.003

Trave	Combi	sfrN	sfrT2	sfrT3	sfrM1	sfrM2	sfrM3
1	1	0.561	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	1	0.561	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

3	1	0.561	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	1	0.561	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	1	0.561	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	1	0.561	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	1	0.561	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	1	0.561	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	1	0.561	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	1	0.561	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

## 9 Avvertenze particolari

1- Affinchè un elemento possa essere considerato verificabile dal verificatore, il suo materiale deve rispettare le seguenti delimitazioni:

$$180000 \text{ MPa} < E < 250000 \text{ MPa}$$

$$100 \text{ MPa} < f_y < 1100 \text{ MPa}$$

2- Il verificatore non diminuisce la tensione di riferimento in funzione del massimo spessore dei piatti, come invece prevedono le normative europee, non essendosi trovata alcuna prescrizione a riguardo.

### 4.10 AISC-ASD

#### AISC-ASD 14ed Guida Tecnica

##### 1 Premessa

La normativa in questione è la AISC ASD (Allowable Stress Design, in pratica la norma alle tensioni ammissibili) nella sua 14<sup>a</sup> edizione.

Sono stati implementati i seguenti paragrafi della normativa, in tutto o in parte:

B.3.1, B.3.2, B.3.3, B.3.5, B.4.1, B.4.3 (via fattore di riduzione dell'area).

C.1.2

D1.1, D.2, D.3 (via fattore di riduzione dell'area)

E.1, E.2, E.3, E.4, E.5 (l'utente deve modificare il coefficiente di libera inflessione), E.6 (snellezza aggiuntiva pari a 50 o libera nelle sezioni utente), E.7

F.1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8, F9, F10, F11, F12 (via sezioni utente)

G.1, G.2.1, G.4, G.5, G.6, G.7

H1, H3

Appendice 8: 8.2.1

Nel seguito saranno date dettagliate spiegazioni sulle ipotesi ed assunzioni fatte.

## 2 La trattazione delle verifiche a stabilità

Nella versione 14 delle AISC, il metodo considerato *normale* per la soluzione dei problemi di stabilità è quello indicato come "diretto". In pratica le formule di verifica danno per scontato che sia stata eseguita una analisi del second'ordine, capace di tenere conto sia dell'effetto  $P-\Delta$  che dell'effetto  $P-\delta$ .

Dato che non sembra potersi ancora dire che un tale approccio debba essere considerato, almeno qui in Europa, quello "normale", il verificatore utilizza invece come metodo normale il tradizionale metodo della lunghezza di libera inflessione, che assume che le sollecitazioni non tengano conto degli effetti anzi detti.

La norma distingue, come anche la teoria, tra effetti  $P-\Delta$  ed effetti  $P-\delta$ .

### Effetto $P-\Delta$

I primi effetti del second'ordine (globali,  $P-\Delta$ ) possono essere tenuti in conto per mezzo del coefficiente  $B_2$ , che viene determinato ad ogni diverso piano (si suppone vi siano edifici), in ogni direzione di sbandamento (secondo gli assi principali delle colonne), ed applicato alle azioni applicate al piano corrispondenti in modo da amplificare i momenti di calcolo.  $B_2$  è definito alla formula A-8-6 nel modo che segue:

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{\alpha P_{story}}{P_{e,story}}}$$

dove  $\alpha$  vale 1.6 alle tensioni ammissibili,  $P_{story}$  è il carico agente al piano, e  $P_{e,story}$  è il carico critico relativo al piano.

L'utente dovrà sincerarsi che valgano le delimitazioni specificate in Appendice 8.1 per la applicabilità di tale metodo. Se tali condizioni sono soddisfatte, potrà incrementare i carichi laterali di piano mediante tale fattore  $B_2$ , *che non viene considerato dal verificatore. E' compito dell'utente garantire che le azioni interne tengano già conto dell'effetto  $P-\Delta$ .*



In alternativa al metodo che usa il coefficiente B2, sarà sufficiente eseguire l'analisi per mezzo di Soclever, che già tiene in conto l'effetto P-Δ.

### Effetto P-δ

I secondi effetti del second'ordine (locali, P-δ), possono essere valutati in modo semplificato mediante il coefficiente B1, così definito dalla norma al punto A8.1 (formula A-8-3):

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \frac{\alpha P_r}{P_{crit}}}$$

dove  $C_m$  è un coefficiente di distribuzione del momento ( $\leq 1$  tranne in rari casi dove può essere di poco maggiore di 1),  $\alpha$  vale 1.6 alle tensioni ammissibili,  $P_r$  è l'azione assiale applicata all'elemento e  $P_{crit}$  il carico critico euleriano nella direzione di sbandamento considerata.

Se il momento varia linearmente il coefficiente  $C_m$  viene valutato con la formula (eguale a quella anche usata nelle CNR 10011):

$$C_m = 0.6 + 0.4 \frac{M_1}{M_2}$$

dove  $M_1$  ed  $M_2$  sono il momento minore e maggiore in modulo ed hanno segno eguale se sollecitano a flessione la trave producendo analoga curvatura. Se il momento è costante,  $C_m = 1$ .

Se il momento varia non linearmente, allora il programma usa la seguente formula:

$$C_m = 1 + \Psi \left( \frac{\alpha P_r}{P_{e1}} \right)$$

dove

$$\Psi = \frac{\pi^2 \delta_0 EI}{M_0 L^2} - 1$$

e dove  $\delta_0$  è la freccia nella direzione considerata,  $E$  il modulo di Young,  $I$  il momento di inerzia nella direzione considerata,  $M_0$  il momento flettente massimo ed  $L$  la luce. Si noti che tale formula è identica a quella utilizzata dal [Metodo 1](#) <sup>[1375]</sup> di Eurocodice 3. Il programma valuta  $\delta_0$  mediante integrazione della linea elastica ( $v'' = M/EI$ ) e supponendo spostamenti nodali nulli agli estremi (freccia locale).

Una volta calcolato  $B_1$  per ogni elemento compresso (per quelli tesi  $B_1 = 1$ ), in ogni diversa combinazione di carico, il programma ne tiene conto moltiplicando per tale valore  $B_1$  i momenti flettenti  $M_2$  ed  $M_3$  nelle verifiche di stabilità.

Se  $M_2$  ed  $M_3$  sono i momenti del primo ordine applicati in una certa combinazione di carico in una certa sezione, il verificatore usa di fatto invece i momenti amplificati:

$$M2'=B21 \times M2$$

$$M3'=B31 \times M3$$

Con le modifiche introdotte, la verifica a presso flessione diviene molto simile a quella ben nota a chi si è occupato di acciaio sin dai tempi delle CNR 10011.

Non vi sono limitazioni per l'applicazione di tale metodo semplificato che, storicamente, è quello che si è sempre seguito.

### 3 Tipologie sezionali verificate

Il programma verifica automaticamente le seguenti tipologie sezionali:

1. - Lamine a I o H ad ali eguali
2. - Lamine ad I o H ad ali diseguali
3. - IPN
4. - Saldate ad I o ad H
5. - Tubi circolari (CHS)
6. - RHS
7. - Sezioni a cassone rettangolari o quadrate (HSS) a spigoli vivi
8. - Piatti
9. - Sezioni circolari piene
- 10.- Sezioni a T ottenute per taglio di profili laminati ad I o H
- 11.- Sezioni a T saldate o a spigoli vivi
12. Sezioni a T laminate (con smussi)
- 13.- UPN
- 14.- U con flange a lati non rastremati (UPFC)
- 15.- U saldate o a spigoli vivi
- 16.- Doppie UPN []
- 17.- Doppie UPN ]]
- 18.- Angolari
- 19.- Sezioni ad L saldate o a spigoli vivi
- 20.- Doppi angolari \_||\_

21.- Doppi angolari  $\times$

22.- Quattro angolari a croce (+)

Per le altre tipologie sezionali (sezioni formate a freddo, sezioni composte da poligonali, sezioni composte generiche), è possibile e necessario istruire il programma sulle modalità di verifica compilando il file AISCDATA.TXT presente nella cartella di installazione del programma. Se un profilo ha il nome coincidente con uno dei nomi delle sezioni presenti nel file AISCDATA.TXT le sue verifiche verranno in ogni caso eseguite mediante le regole delle *sezioni utente*. In una successiva sezione verrà chiarito come scrivere questo file e che verifiche vengono eseguite.

## 4 Classificazione

La classificazione dei profili viene fatta in accordo alla Tabella B.4.1. Per rendere la classificazione di un profilo svincolata dalla sua esatta conformazione, viene definito il valore limite del parametro  $\varepsilon$ , *del materiale* tale per cui se il materiale supera il valore di soglia il profilo passa di classe.

Per tutti i profili ad eccezione dei profili circolari cavi,

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

dove E è il modulo di Young del materiale ed  $f_y$  la sua tensione di snervamento.

Per i profili circolari cavi invece:

$$\varepsilon = \frac{E}{f_y}$$

Supponiamo ad esempio che debba risultare, per un certo profilo

$$b/t < 0.56\varepsilon$$

affinchè quel profilo sia compatto. Si può definire un valore limite del parametro  $\varepsilon_{\text{lim}}$  tale per cui se

$$\varepsilon > \varepsilon_{\text{lim}} = \frac{b}{t} \cdot \frac{1}{0.56}$$

la sezione è compatta, altrimenti è non compatta.

Se per un certo profilo  $b/t = 15$ , allora  $\varepsilon_{\text{lim}} = 15/0.56 = 26.78$ . Se consideriamo un acciaio S235 abbiamo

$\varepsilon = \sqrt{(210000/235)} = 29.89$ , e dato che  $29.89 > 26.78$  la sezione è compatta. Con un acciaio S355

avremmo invece avuto  $\varepsilon = \sqrt{(210000/355)} = 24.32 < 26.78$ , ed la sezione sarebbe stata non compatta.

Se una sezione ha più di un  $\varepsilon_{lim}$  (ad esempio perchè ha una classificazione per le flange ed una per l'anima) occorre considerare come riferimento il maggiore ai fini della classificazione complessiva. Ad esempio, per profili ad I laminati semplicemente compressi, il valore di  $\varepsilon_{lim}$  per considerare per il limite tra sezione snella e non snella è:

$$\varepsilon_{lim} = \max \left\{ \frac{b_f / t_f}{0.56}; \frac{b_w / t_w}{1.49} \right\}$$

Esistono 5 distinte classificazioni: a compressione, a momento M2 positivo o negativo, a momento M3 positivo o negativo. Inoltre, la norma distingue casi in cui la classificazione della flangia compressa è diversa da quella dell'anima.

La classificazione viene fatta considerando le azioni interne applicate una ad una. Ogni classificazione porta con sé formule di verifica in generale differenti. Per classificare un profilo generico (sezioni utente) basta fornire i valori limite di  $\varepsilon$  del materiale (indicati con ecN, ecM2p, ecM2m, ecM3p, ecM3m) per la soglia non snella/snella in compressione, e per la soglia compatta/non compatta e non compatta/snella in flessione. I numeri da fornire sono precisamente questi

ecNnss	non snella / snella
ecM2pcnc	compatta /non compatta
ecM2mcnc	compatta /non compatta
ecM2pnsc	non compatta/snella
ecM2mnsc	non compatta/snella
ecM3pcnc	compatta /non compatta
ecM3mcnc	compatta /non compatta
ecM3pnsc	non compatta/snella
ecM3mnsc	non compatta/snella

## 5 Sezioni slender

Le sezioni *slender* (snelle) vengono trattate in modo differente dalle altre sezioni.

Per quanto riguarda la verifica a compressione semplice è necessario determinare il fattore Q in accordo a quanto sub E 7. Tale calcolo viene svolto automaticamente per le seguenti tipologie sezionali:

1. - Lamine a I o H ad ali eguali

2. - Lamine ad I o H ad ali diseguali
3. - IPN
4. - Saldate ad I o ad H
5. - UPN
6. - U con flange a lati non rastremati (UPFC)
7. - U saldate o a spigoli vivi
8. - Angolari
9. - Sezioni ad L saldate o a spigoli vivi
- 10.- Sezioni a T ottenute per taglio di profili laminati ad I o H
- 11.- Sezioni a T saldate o a spigoli vivi
12. Sezioni a T laminate (con smussi)
- 13.- Tubi circolari (CHS)
- 14.- RHS
- 15.- Sezioni a cassone rettangolari o quadrate (HSS) a spigoli vivi
- 16.- Piatti ( $Q=1$  sempre)
- 17.- Sezioni circolari piene ( $Q=1$ , sempre)

Per le altre sezioni il  $Q$  viene posto eguale a 0 e, se la sezione è snella, non viene calcolata (lo sfruttamento viene convenzionalmente posto eguale a 99). In tal caso, è sempre possibile calcolare a parte il  $Q$  ed eseguire la verifica trattando la sezione come sezione utente.

Per quanto riguarda la verifica a flessione, il momento limite per sezioni aventi elementi snelli viene calcolato per le seguenti tipologie sezionali:

1. - Lamine a I o H ad ali eguali
2. - Lamine ad I o H ad ali diseguali
3. - IPN
4. - Saldate ad I o ad H
5. - UPN
6. - U con flange a lati non rastremati (UPFC)
7. - U saldate o a spigoli vivi
8. - Angolari
9. - Sezioni ad L saldate o a spigoli vivi

- 10.- Sezioni a T ottenute per taglio di profili laminati ad I o H
- 11.- Sezioni a T saldate o a spigoli vivi
- 12. Sezioni a T laminate (con smussi)
- 13.- Tubi circolari (CHS)
- 14.- Piatti (momenti sezioni snelle posti eguali a momenti limite elastici)
- 15.- Sezioni circolari piene
- 16.- Doppie UPN []
- 17.- Doppie UPN ][
- 18.- Doppi angolari \_||\_
- 19.- Doppi angolari ><
- 20.- Quattro angolari a croce (+)

Per le altre forme sezionali, i momenti limite per sezioni snelle vengono posti eguali a 0 e la sezione, se snella, non potrà essere verificata a flessione (sfuttamento 99). In questi casi è sempre possibile istruire il verificatore mediante le "sezioni utente" descritte nel file AISCDATA.TXT.

## 6 Funzionamento del verificatore (resistenza, stabilità)

Il verificatore distingue tra verifiche a resistenza e verifiche a stabilità.

Le verifiche a resistenza sono:

- verifica a trazione
- verifica a compressione assumendo snellezza nulla (no TB, FB, TFB), ma tenendo conto della instabilità locale (coefficiente Q)
- verifica a taglio senza tener conto della instabilità per taglio (fattore  $C_v = 1$ )
- verifica a torsione senza tener conto della instabilità
- verifica a flessione senza tener conto dello svergolamento (lateral torsional buckling) ma tenendo conto dello snervamento e della instabilità locale (local buckling).
- verifiche di resistenza combinate senza tener conto della amplificazione dei momenti dovuta all'effetto P- $\delta$ .

Le verifiche a stabilità sono:

- verifiche a compressione semplice tenendo conto della instabilità torsionale (TB, torsional buckling), flesso torsionale (TFB, torsional flexural buckling), e flessionale (FB, flexural buckling);
- verifiche a taglio tenendo conto della instabilità per taglio ( $C_v < 1$ )
- verifiche a torsione tenendo conto della instabilità torsionale
- verifiche a flessione tenendo conto dello svergolamento (lateral torsional buckling)
- verifiche combinate tenendo conto della amplificazione dei momenti dovuta all'effetto P- $\delta$ .

Il funzionamento di massima del verificatore è il seguente:

1. Viene dapprima eseguito un ciclo di verifiche a resistenza sulle bielle e sulle travi.
2. Poi viene eseguito un ciclo di verifiche a stabilità su bielle e travi.
3. Infine viene eseguito un ciclo di verifiche a stabilità sui superelementi.

Le verifiche a resistenza o a stabilità vengono eseguite nel seguente modo:

1. Si fanno le verifiche su ogni singola componente di sollecitazione, in questo ordine: N, T2, T3, M1, M2, M3. Se viene trovato uno sfruttamento elementare maggiore di 1 la verifica si arresta e si passa oltre memorizzando il valore ottenuto.
2. Poi si eseguono le verifiche combinate.
3. Infine viene memorizzato il valore massimo tra tutte le verifiche, elementari e combinate.

Le verifiche a stabilità vengono eseguite in ogni singola sezione dell'asta, per tutte le *nsez\_ver* sezioni richieste.

Le verifiche combinate vengono ottenute nel caso della resistenza prendendo il massimo sfruttamento a resistenza (snervamento, local buckling) su ogni singola componente. Nel caso della stabilità le verifiche combinate considerano il massimo sfruttamento, su ogni componente, tra resistenza e stabilità.

### 6.1 Resistenza: Trazione

Viene eseguita una verifica sulla sezione lorda usando  $f_y$  e su quella netta usando  $f_t$ . La sezione netta è calcolata impiegando il fattore di riduzione dell'area *ared*, definito in Sargon.

Per quanto riguarda il fenomeno dello shear lag, questo dipende dalle modalità di collegamento e può essere tenuto in conto con un opportuno fattore di riduzione dell'area lorda *ared* da definirsi a cura dell'utente.

### 6.2 Resistenza: Compressione

A compressione viene verificato se la sezione sia snella o no. Se è snella viene calcolato  $Q$  (nei casi in cui è previsto). Grazie a  $Q$  si calcola una tensione di riferimento ridotta e con questa si esegue la verifica senza considerare l'instabilità flessionale e torsionale (snellezze nulle).

### 6.3 Resistenza: Taglio

Definito il modulo di resistenza a taglio per il taglio T2 e per il taglio T3,  $A_{w2}$  ed  $A_{w3}$ , si raffronta la tensione di calcolo con quella limite di progetto ( $0.6f_y/\Omega$ ). Se il modulo di resistenza a taglio è nullo la verifica viene saltata.

La verifica a taglio viene eseguita per le seguenti forme sezionali:

1. - Lamine a I o H ad ali eguali
2. - Lamine ad I o H ad ali diseguali
3. - IPN
4. - Saldate ad I o ad H
5. - Tubi circolari (CHS)
6. - RHS
7. - Sezioni a cassone rettangolari o quadrate (HSS) a spigoli vivi
8. - Piatti
9. - Sezioni circolari piene
- 10.- Sezioni a T ottenute per taglio di profili laminati ad I o H
- 11.- Sezioni a T saldate o a spigoli vivi
12. Sezioni a T laminate (con smussi)
- 13.- UPN
- 14.- U con flange a lati non rastremati (UPFC)
- 15.- U saldate o a spigoli vivi
- 16.- Doppie UPN  $\square$
- 17.- Doppie UPN  $\text{J}$
- 18.- Angolari
- 19.- Sezioni ad L saldate o a spigoli vivi
- 20.- Doppi angolari  $\text{L}$
- 21.- Doppi angolari  $\text{><}$
- 22.- Quattro angolari a croce (+)



#### 6.4 Resistenza: Torsione

Definito il modulo di resistenza a torsione, si raffronta la tensione di calcolo con quella limite di progetto ( $0.6f_y/\Omega$ ). Se il modulo di resistenza a torsione è nullo la verifica viene saltata.

#### 6.5 Resistenza: Flessione

Non è prevista interazione tra flessione e taglio. Il momento applicato nella sezione in esame della membratura viene confrontato con il momento limite, che è stato calcolato in precedenza in funzione della classe del profilo, e della sua tipologia. Il momento limite di progetto dipende anche dal segno del momento applicato. Nella verifica di resistenza si considerano tutti gli stati limite del capitolo F ad eccezione dello svergolamento (lateral torsional buckling) che viene esaminato nel successivo ciclo di verifica a stabilità.

Per quanto riguarda i profili a C essi non sono apparentemente trattati per la flessione secondo l'asse forte se non quando sono compatti (sezione F2). Il programma estende la loro verifica anche ai casi non compatto e snello mediante analogia con i profili a I (sezioni F4 ed F5).

Per quanto riguarda i profili angolari laminati o saldati, la verifica a flessione viene fatta attorno agli assi principali e non attorno agli assi geometrici.

#### 6.6 Interazione a resistenza

Si usano per tutti i profili le formule H1-1a e H1-1b, ma senza amplificare i momenti con i coefficienti B1 della appendice 8. Per i profili cavi, se e solo se lo sfruttamento a torsione supera 0.2 viene anche impiegata la formula H3.6.

#### 6.7 Instabilità per azione assiale di compressione

Vengono eseguite le verifiche per torsional buckling (TB), flexural torsional buckling (FTB), e flexural buckling (FB).

Per gli elementi composti ( $\square$ ,  $\text{J}$ ,  $><$ ,  $\text{—|—}$ ,  $+$ ) viene considerata come snellezza aggiuntiva 50 (si intende quanto sub E6 viene indicato con  $a/r_i$ ). Quindi la snellezza di calcolo è sempre maggiorata di tale valore. Ciò perché il dettaglio sul passo dei calastrelli o delle abbottonature non è noto al verificatore. La snellezza aggiuntiva è applicata sul solo asse 3 per i profili:  $\square$ ,  $\text{J}$ ,  $\text{—|—}$ . E' invece applicata a entrambi gli assi principali per i profili  $><$  e  $+$  (due e quattro angolari a croce).

Per quanto riguarda il FB questo viene verificato con le snellezze totali (per i profili composti sommando 50 alla snellezza teorica) mediante le formule E3 o, se la sezione è snella, E7.

Per quanto riguarda il TB ed il FTB, questo viene verificato per tutte le forme sezionali previste ad eccezione dei tubi circolari e gli angolari a lati diseguali. Le formule adottate sono quelle sub E4, limitatamente ai casi di sezioni semplicemente o doppiamente simmetriche.

Per quanto riguarda gli angolari (E5) le prescrizioni relative al calcolo di una snellezza modificata in funzione dei sistemi di attacco, non possono essere implementate dato che il programma non conosce questi sistemi di attacco. Il problema viene risolto modificando il coefficiente di libera inflessione per ritrovare la snellezza indicata in E5. Tale modifica del coefficiente di libera inflessione deve essere a cura dell'utente e precedere le verifiche, in quanto eseguita in Sargon.

E' possibile non eseguire le verifiche a stabilità per TB o TFB ponendo eguale a 0 il coefficiente di libera inflessione  $\beta_1$ .

E' possibile non eseguire le verifiche a stabilità per FB ponendo eguale a 0 il coefficiente di libera inflessione  $\beta_2$  o  $\beta_3$ .

### **6.8 Instabilità per taglio**

Le verifiche vengono eseguite nel caso in cui non ci siano irrigidimenti (G2). La verifica viene eseguita per le seguenti forme sezionali:

- profili a I o ad H in semplice o doppia simmetria, saldati o laminati;
- profili a C laminati o saldati;
- profili a T laminati o saldati;
- sezioni cave RHS e a cassone OSH (spigoli vivi)
- sezioni circolari cave.

### **6.9 Instabilità per torsione**

Questa verifica viene eseguita per questi profili (sezione H3):

- sezioni RHS e a cassone a spigoli vivi (OSH);
- sezioni circolari cave.

### **6.10 Svergolamento (instabilità per flessione)**

La verifica viene eseguita per queste forme sezionali (sezione F, vari sotto capitoli):

- sezioni ad I o ad H laminate o saldate;
- sezioni a T laminate o saldate;

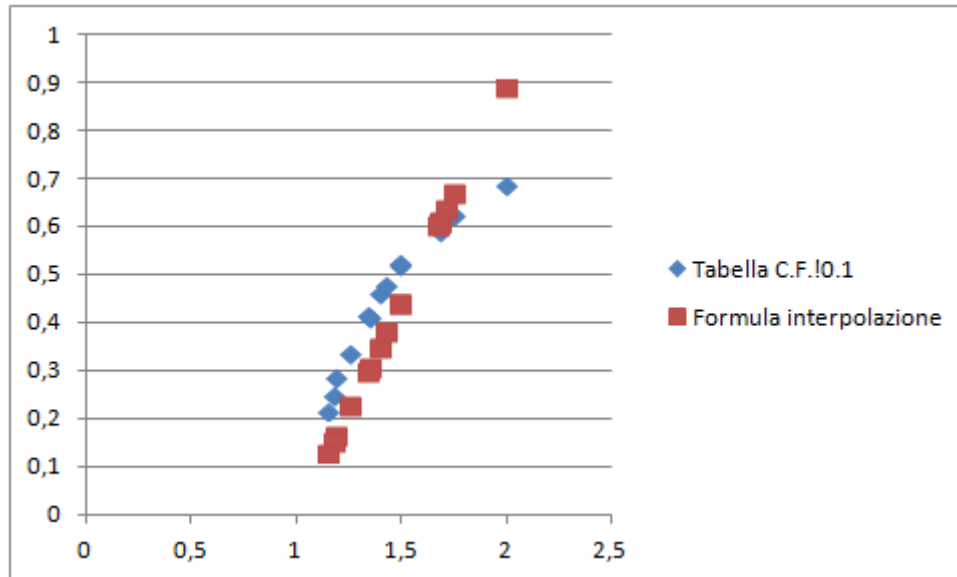
- sezioni a C laminate o saldate;
- angolari laminati o saldati
- piatti semplici
- sezioni composte a [] e a ][
- sezioni composte a \_||\_

La norma non prevede le verifiche a svergolamento per i profili cavi e per i profili composti da angolari a da UPN, che si suppongono agire solo come puntoni o tiranti. Tuttavia, il verificatore estende la verifica a svergolamento anche a tre di tali tipologie di profili raddoppiando il momento limite valido per profili singoli.

Per quanto riguarda i profili angolari laminati o saldati, a lati diseguali, il parametro  $\beta_w$  nella verifica a svergolamento viene fissato mediante la seguente formula:

$$\beta_w = h(0.9 \frac{h}{b} - 0.9)$$

avendo ipotizzato  $h > b$ . Se invece  $b > h$ , allora  $h$  e  $b$  vanno scambiati. La formula di interpolazione è stata ottenuta utilizzando come riferimento i dati della tabella C-F.10.1. In figura la curva ottenuta (in ascissa  $h/b$ , in ordinata  $\beta_w$ ):



E' possibile non eseguire le verifiche a stabilità per svergolamento ponendo eguale a 0 il coefficiente di libera inflessione  $\beta_1$ .

E' sempre possibile eseguire una verifica mediante "sezioni utente".

### 6.11 Interazione a stabilità

Le formule adottate sono le medesime delle verifiche a resistenza, ma ci sono due differenze:

- la prima è che agli sfruttamenti sul momento M2 ed M3 viene applicato il fattore amplificativo B1, ma solo nel caso in cui si abbia compressione;
- la seconda è che gli sfruttamenti elementari che vengono sommati tengono conto sia delle verifiche di resistenza che di quelle a stabilità, considerando il massimo.

## 7 Sezioni e verifiche utente

Qualsiasi elemento può essere verificato mediante delle regole stabilite dall'utente, indipendentemente dalla sua forma sezionale. Nella cartella di installazione esiste un file, ASCII, denominato AISCDATA.TXT che elenca i dati di un certo numero di sezioni, dette "sezioni utente". Se l'elemento che si sta verificando ha la sezione che compare in questo file, le regole usate per verificarlo sono quelle delle sezioni utente e non quelle standard. Ciò anche nel caso in cui il profilo sia un profilo standard. La identificazione di un profilo avviene per mezzo del nome ad esso attribuito: se il nome del profilo nel modello Sargon è eguale al nome del profilo nel file AISCDATA.TXT allora quel profilo sarà verificato con le regole dell'utente.

### 7.1 Generalità

Sargon consente di eseguire le verifiche secondo dati stabilite dall'utente. Ciò è destinato a risolvere due problemi distinti:

- 1) La necessità di poter eseguire le verifiche anche su sezioni non coperte dal verificatore automatico;
- 1) La opportunità di scegliere gli algoritmi di verifica in modo più aderente alla situazione specifica o alle necessità peculiari o alle personali convinzioni del progettista.

Il programma che esegue le verifiche si comporta in modo diverso a seconda che l'elemento da verificare sia dotato di una *sezione standard* o di una *sezione utente*.

Se l'elemento ha una sezione standard esso verrà verificato secondo le regole implementate all'interno del programma, se invece esso ha una sezione non standard allora verrà verificato in accordo alle regole stabilite dall'utente. Per poter decidere se una sezione è standard o no il



```

$          ARCHIVIO SEZIONI SPECIALI DA VERIFICARSI SECONDO REGOLE DELL'UTENTE          $
$                                                                                      $
$                                                                                      $
$          Sargon - Copyright Castalia s.r.l. 1999-2013          $
$ file version 1.0                                                                 $
$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
$                                                                                      $
$ NOME          nome della sezione (max 20 caratteri)          $
$                                                                                      $
$ tmax.....Massimo spessore          $
$                                                                                      $
$ Aw2.....Area resistente a taglio, taglio T2 ($      G7, G5)          $
$                                                                                      $
$ Aw3.....Area resistente a taglio, taglio T3 ($      G2.1, G4, G5, G6)          $
$                                                                                      $
$ hotw2.....Rapporto altezza/spessore per l'anima (h / tw). Utile per          $
$              il calcolo del taglio limite T2 ($      G2.1)          $
$              Se = 0 non applicabile o non necessario          $
$ hotw3.....Rapporto altezza/spessore per l'anima (h / tw). Utile per          $
$              il calcolo del taglio limite T3 ($      G2.1)          $
$              Se = 0 non applicabile o non necessario          $
$                                                                                      $
$ kv2.....Shear buckling coefficient (taglio limite instabilità asse 2,$G.2.1)$
$                                                                                      $
$ kv3.....Shear buckling coefficient (taglio limite instabilità asse 3,$G.2.1)$
$                                                                                      $
$ kind.....Tipo (= 1, laminata, = 2 saldata)          $
$                                                                                      $
$ lam2.....Snellezza aggiuntiva sull'asse 2 (par. E6.1)          $
$                                                                                      $
$ lam3.....Snellezza aggiuntiva sull'asse 3 (par. E6.1)          $
$                                                                                      $
$ epsilon.....Radice quadrata di (E/fy) o (E/fy) per sez. circ. cave, Table B.4.1 $
$                                                                                      $
$ ecNnss.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che          $
$              il profilo compresso sia snello o no          $
$ ecM2pcnc.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che          $
$              il profilo soggetto a M2 positivo sia compatto.          $
$ ecM2pnsc.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che          $
$              il profilo soggetto a M2 positivo sia non compatto.          $
$ ecM2mcnc.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che          $
$              il profilo soggetto a M2 negativo sia compatto.          $
$ ecM2mnsc.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che          $
$              il profilo soggetto a M2 negativo sia non compatto.          $

```

\$ ecM3pcnc.....	Valore limite di epsilon del materiale per far sì che	\$
\$	il profilo soggetto a M3 positivo sia compatto.	\$
\$ ecM3pnsc.....	Valore limite di epsilon del materiale per far sì che	\$
\$	il profilo soggetto a M3 positivo sia non compatto.	\$
\$ ecM3mcnc.....	Valore limite di epsilon del materiale per far sì che	\$
\$	il profilo soggetto a M3 negativo sia compatto.	\$
\$ ecM3mnsc.....	Valore limite di epsilon del materiale per far sì che	\$
\$	il profilo soggetto a M3 negativo sia non compatto.	\$
\$		\$
\$ ns.....	non snello	\$
\$		\$
\$ nss.....	non snello / snello	\$
\$		\$
\$ cnc.....	compatto / non compatto	\$
\$		\$
\$ ncs.....	non compatto / snello	\$
\$		\$
\$ lb.....	local buckling (classe 4, slender)	\$
\$		\$
\$ Q .....	Fattore di riduzione per l'area lorda (sezioni in classe 4)	\$
\$		\$
\$ Msl2p.....	Momento limite flessione M2 positiva (slender)	\$
\$		\$
\$ Msl2m.....	Momento limite flessione M2 negativa (slender)	\$
\$		\$
\$ Msl3p.....	Momento limite flessione M3 positiva (slender)	\$
\$		\$
\$ Msl3m.....	Momento limite flessione M3 negativa (slender)	\$
\$		\$
\$ Mns2p.....	Momento limite flessione M2 positiva (non slender)	\$
\$		\$
\$ Mns2m.....	Momento limite flessione M2 negativa (non slender)	\$
\$		\$
\$ Mns3p.....	Momento limite flessione M3 positiva (non slender)	\$
\$		\$
\$ Mns3m.....	Momento limite flessione M3 negativa (non slender)	\$
\$		\$
\$ fy.....	Tensione di snervamento	\$
\$		\$
\$ x0.....	Coordinata x (asse 2) del centro di taglio rif. baricentrico	\$
\$		\$
\$ y0.....	Coordinata y (asse 3) del centro di taglio rif. baricentrico	\$
\$		\$
\$ Cw.....	Costante di ingobbamento ( $L^6$ )	\$

[illegible]





indicato. Si possono specificare più schede di questo tipo, ognuna con un differente valore di tensione di snervamento, fino ad un massimo di 10.

I valori indicati nella scheda sono:

Q	rapporto tra la tensione massima utilizzabile e la tensione di snervamento (§E7)
Msl2p	momento limite M2 positivo per sezioni snelle
Msl2m	momento limite M2 negativo per sezioni snelle
Msl3p	momento limite M3 positivo per sezioni snelle
Msl3m	momento limite M3 negativo per sezioni snelle
Mns2p	momento limite M2 positivo per sezioni non snelle (siano esse compatte o non compatte)
Mns2m	momento limite M2 negativo per sezioni non snelle (siano esse compatte o non compatte)
Mns3p	momento limite M3 positivo per sezioni non snelle (siano esse compatte o non compatte)
Mns3m	momento limite M3 negativo per sezioni non snelle (siano esse compatte o non compatte)

I valori qui indicati servono per le verifiche *di resistenza*.

#### *Resistenza a torsione (\_TORRESISTANCE)*

Occorre indicare il modulo di resistenza a torsione, tale per cui la tensione tangenziale massima risulti:

$$\tau_{\max} = M1 / W_{\text{tor}}$$

#### *Buckling torsionale e flesso torsionale (\_TORBUCKLING)*

Occorre specificare:

$x_0$	Coordinata x (ovvero lungo l'asse 2) del centro di taglio rispetto al baricentro
$y_0$	Coordinata y (ovvero lungo l'asse 3) del centro di taglio rispetto al baricentro
$C_w$	Costante di ingobbamento
$J_t$	Momento di inerzia torsionale

Se la sezione è doppiamente simmetrica  $x_0=y_0=0$ . Se la sezione è semplicemente simmetrica o  $x_0$  o  $y_0$  sono nulli. Se sono non nulli sia  $x_0$  che  $y_0$  la sezione non ha assi di simmetria e la verifica non viene eseguita. Se tutti i valori sono nulli ( $x_0=y_0=C_w=J_t$ ) la sezione non viene verificata a TB o a FTB.

La formula adottata dal programma per calcolare la tensione critica corrispondente è:

- la formula E4-4 se  $x_0=y_0=0$ .
- la formula E4-5 se  $x_0$  o  $y_0$  sono nulli (e  $y_0$  o  $x_0$ , rispettivamente, no).

La lunghezza di libera inflessione è ottenuta moltiplicando il coefficiente di libera inflessione  $K_1$  per la lunghezza dell'elemento.

#### *Buckling latero torsionale (\_LATERALTORSIONAL)*

Per le sezioni utente la verifica a svergolamento viene eseguita mediante il metodo della piattabanda compressa. Occorre specificare il raggio di inerzia di tale piattabanda compressa ed il corrispondente modulo di resistenza (considerando, di solito, il baricentro della piattabanda stessa). Dato che in generale lo svergolamento può avvenire sia per flessioni attorno all'asse 2 che per flessioni attorno all'asse 3, occorre specificare per ogni asse sia il raggio di inerzia che il modulo di resistenza. Per fare in modo che la verifica non venga eseguita (su un asse di flessione o entrambi) basta porre eguali a zero sia il raggio di inerzia che il modulo di resistenza.

In definitiva occorre specificare:

rt2p	raggio di inerzia della piattabanda compressa, flessione positiva attorno all'asse 2 ( $M_2 > 0$ );
rt2m	raggio di inerzia della piattabanda compressa, flessione negativa attorno all'asse 2 ( $M_2 < 0$ );
rt3p	raggio di inerzia della piattabanda compressa, flessione positiva attorno all'asse 3 ( $M_3 > 0$ );
rt3m	raggio di inerzia della piattabanda compressa, flessione negativa attorno all'asse 3 ( $M_3 < 0$ );
W2tp	modulo di resistenza della piattabanda compressa ( $\sigma=M/W$ , $W$ sempre $> 0$ ), flessione positiva attorno all'asse 2 ( $M_2 > 0$ );
W2tm	modulo di resistenza della piattabanda compressa ( $\sigma=M/W$ , $W$ sempre $> 0$ ), flessione negativa attorno all'asse 2 ( $M_2 < 0$ );
W3tp	modulo di resistenza della piattabanda compressa ( $\sigma=M/W$ , $W$ sempre $> 0$ ), flessione positiva attorno all'asse 3 ( $M_3 > 0$ );

W3tm modulo di resistenza della piattabanda compressa ( $\sigma=M/W$ , W sempre  $> 0$ ), flessione negativa attorno all'asse 3 ( $M3 < 0$ );

Il metodo implementato dal programma è quello della formula seguente:

$$M_{b,lim} = C_b W \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L}{r_t}\right)^2}$$

dove  $C_b$  è il coefficiente di distribuzione del momento flettente ( $\geq 1$ ), W è il modulo di resistenza della piattabanda compressa, L la lunghezza di libera inflessione torsionale e  $r_t$  il raggio di inerzia della piattabanda compressa.

## 8 Il tabulato

Il tabulato è composto di varie sezioni, ciascuna delle quali adempie un compito preciso.

La prima sezione serve a dare informazioni sulle sezioni trasversali adoperate nel modello. Questa sezione elenca:

1. I rapporti larghezza-spessore;
2. I dati sulla resistenza a taglio e se la sezione sia stata riconosciuta come una sezione "utente" o no;
3. I dati sulla resistenza a torsione, sul centro di taglio e sulle proprietà torsionali;
4. I dati relativi allo svergolamento;
5. Il valore di Q ed i valori del momento limite da impiegare per sezioni snelle;
6. I limiti da impiegare ai fini della classificazione per compressione semplice del coefficiente  $\varepsilon$ ;
7. I limiti da impiegare ai fini della classificazione per flessione attorno all'asse M2 del coefficiente  $\varepsilon$ ;
8. I limiti da impiegare ai fini della classificazione per flessione attorno all'asse M3 del coefficiente  $\varepsilon$ ;

La seconda sezione elenca i dati relativi alle travi ed alle bielle che possono essere descritti senza conoscere l'effettivo stato di sollecitazione (sono indipendenti dalle combinazioni di verifica). Questa sezione elenca:

1. La tensione di snervamento e la classificazione della sezione per tutte le sollecitazioni elementari;
2. Le massime forze sopportabili dalla sezione a compressione, trazione e taglio;
3. I massimi momenti sopportabili dalla sezione a resistenza (snervamento e instabilità locale) secondo l'asse 2 e secondo l'asse 3, al positivo ed al negativo;

4. Le snellezze ed i carichi critici euleriani;
5. Le massime azioni assiali ed i massimi tagli sopportabili dall'elemento a stabilità;
6. I massimi momento torcente e momenti flettenti sopportabili dall'elemento a stabilità nella ipotesi che la distribuzione dei momenti sia costante ( $C_b = 1$ )

La terza sezione riporta i risultati ottenuti in formato sintetico, ovvero considerando solo il massimo al variare delle combinazioni. Questa sezione elenca:

1. Travi: i massimi coefficienti di sfruttamento a resistenza ed a stabilità, la combinazione in cui si sono verificati, la verifica che li ha prodotti, e la locazione in cui si sono verificati (ascissa adimensionale  $\xi$  compresa tra 0 ed 1);
2. Bielle: i massimi coefficienti di sfruttamento a resistenza ed a stabilità, la combinazione in cui si sono verificati, la verifica che li ha prodotti, e la locazione in cui si sono verificati (ascissa adimensionale  $\xi$  compresa tra 0 ed 1);

La quarta sezione riporta i risultati in forma analitica, vale a dire per ogni combinazione. Questa sezione elenca:

1. Travi e bielle: i massimi coefficienti di sfruttamento a resistenza ed a stabilità, la combinazione in cui si sono verificati, la verifica che li ha prodotti, e la locazione in cui si sono verificati (ascissa adimensionale  $\xi$  compresa tra 0 ed 1);
2. Per gli elementi beam i coefficienti  $C_b$  e  $C_m$ , nonché  $B_1$  per ogni trave e ogni combinazione di carico. Dato che questi coefficienti possono riferirsi sia alla flessione attorno all'asse 2 che alla flessione attorno all'asse 3, in ulteriore numero (2 o 3) identifica l'asse ( $C_{b2}$ ,  $C_{b3}$ ,  $C_{m2}$ ,  $C_{m3}$ ,  $B_{12}$ ,  $B_{13}$ ).
3. Per gli elementi beam gli sfruttamenti elementari calcolati a  $N$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $M_1$ ,  $M_2$  (prima della amplificazione con  $B_1$ ),  $M_3$  (prima della amplificazione con  $B_1$ ):  $sfrN$ ,  $sfrT_2$ ,  $sfrT_3$ ,  $sfrM_1$ ,  $sfrM_2$ ,  $sfrM_3$ .

```
#####
#
#   Vers. 10.3 - Copyright (c)1991-13 Castalia srl. Tutti i diritti riservati.#
#
#####
```

```
#####
#                                     #
#                               DATI SEZIONALI DI CALCOLO                               #
#                                     #
#####
#                                     #
#                               LEGENDA                               #
#                                     #
#####
#                                     #
# Aw2.....Area resistente a taglio, taglio T2 ($ G2)                #
#                                     #
# Aw3.....Area resistente a taglio, taglio T3 ($ G2)                #
#                                     #
# Cw.....Costante di ingobbamento (L^6)                             #
#                                     #
# epsilon .....SQRT(E / py) o (E / py) per tubi circolari, Tabella B4 #
#                                     #
# ecNnss.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che   #
#                                     il profilo compresso sia non snello. #
#                                     #
# ecM2pcnc.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che  #
#                                     il profilo soggetto a M2 positivo sia compatto. #
#                                     #
# ecM2pnsc.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che  #
#                                     il profilo soggetto a M2 positivo sia non compatto. #
#                                     #
# ecM2mcnc.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che  #
#                                     il profilo soggetto a M2 negativo sia compatto. #
#                                     #
# ecM2mnsc.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che  #
#                                     il profilo soggetto a M2 negativo sia non compatto. #
#                                     #
# ecM3pcnc.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che  #
#                                     il profilo soggetto a M3 positivo sia compatto. #
#                                     #
# ecM3pnsc.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che  #
#                                     il profilo soggetto a M3 positivo sia non compatto. #
#                                     #
# ecM3mcnc.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che  #
#                                     il profilo soggetto a M3 negativo sia compatto. #
#                                     #
# ecM3mnsc.....Valore limite di epsilon del materiale per far sì che  #
#                                     il profilo soggetto a M3 negativo sia non compatto. #
#                                     #
# hotw2.....Rapporto altezza/spessore per l'anima. Utile per         #
#                                     il calcolo del taglio limite T2 ($ G2) #
#                                     Se = 0 non applicabile o non necessario #
#                                     #
# hotw3.....Rapporto altezza/spessore per l'anima. Utile per         #
#                                     il calcolo del taglio limite T3 ($ G2) #
#                                     Se = 0 non applicabile o non necessario #
#                                     #
```

```

# Jt .....Momento di inerzia torsionale (L^4)
#
# kv2 .....Fattore per epsilon taglio T2 (G2-x)
#
# kv3.....Fattore per epsilon taglio T3 (G2-x)
#
# lam2.....Snellezza aggiuntiva sull'asse 2 (a/ri $ E6)
#
# lam3.....Snellezza aggiuntiva sull'asse 3 (a/ri $ E6)
#
# M2slp.....Momento M2 positivo se sezione snella
#
# M2slm.....Momento M2 negativo se sezione snella
#
# M3slp.....Momento M3 positivo se sezione snella
#
# M3slm.....Momento M3 negativo se sezione snella
#
# Q .....Fattore di riduzione della tensione per profili
#           compressi snelli ($ E7)
#
# rt2p .....Raggio di inerzia della piattabanda compressa,
#           verifiche a svergolamento. Momento M2 positivo.
#           Se nullo non c'è svergolamento o profilo standard.
#
# rt2m .....Raggio di inerzia della piattabanda compressa,
#           verifiche a svergolamento. Momento M2 negativo.
#           Se nullo non c'è svergolamento o profilo standard.
#
# rt3p .....Raggio di inerzia della piattabanda compressa,
#           verifiche a svergolamento. Momento M3 positivo.
#           Se nullo non c'è svergolamento o profilo standard.
#
# rt3m .....Raggio di inerzia della piattabanda compressa,
#           verifiche a svergolamento. Momento M3 negativo.
#           Se nullo non c'è svergolamento o profilo standard.
#
# tmax.....Massimo spessore
#
# U.....Utente: = 1 le proprietà sono definite dall'utente
#
# W2tp .....Modulo di resistenza equivalente della piattabanda
#           compressa, verifiche a svergolamento. Momento M2 pos.
#           Se nullo non c'è svergolamento o profilo standard.

```

```

#
# W2tm .....Modulo di resistenza equivalente della piattabanda
#                compressa, verifiche a svergolamento. Momento M2 neg.
#                Se nullo non c'è svergolamento o profilo standard.
#
# W3tp .....Modulo di resistenza equivalente della piattabanda
#                compressa, verifiche a svergolamento. Momento M3 pos.
#                Se nullo non c'è svergolamento o profilo standard.
#
# W3tm .....Modulo di resistenza equivalente della piattabanda
#                compressa, verifiche a svergolamento. Momento M3 neg.
#                Se nullo non c'è svergolamento o profilo standard.
#
# wtt_w .....Rapporto larghezza spessore per anima o altro utile
#
# wtt_flu .....Rapporto larghezza spessore per flangia superiore
#
# wtt_fld .....Rapporto larghezza spessore per flangia inferiore
#
# Wtor .....Modulo di resistenza a torsione
#
# x0.....Coordinata centro di taglio vs baricentro (asse 2)
#
# y0.....Coordinata centro di taglio vs baricentro (asse 3)
#
#
#
#####

```

#### RAPPORTI LARGHEZZA\_SPESSORE

Num.	Nome	wtt_w	wtt_flu	wtt_fld	lam2
lam3					
1	IPE 100	1.820E+01	4.825E+00	4.825E+00	0.000E+00
					0.000E+00

#### DATI SULLA RESISTENZA A TAGLIO



Num.	U	Nome	tmax	Aw2	Aw3	hotw2	hotw3	kv2
		kv3						
1	0	IPE 100	5.700E+00	6.270E+02	4.100E+02	4.825E+00	1.820E+01	1.200E+00
		5.000E+00						

## DATI SU TORSIONE E CENTRO DI TAGLIO

Num.	Nome	Wtor	x0	y0	Cw
	Jt				
1	IPE 100	2.109E+03	0.000E+00	0.000E+00	3.514E+08
	1.202E+04				

## DATI SULLO SVERGOLAMENTO

Num.	Nome	rt2p	rt2m	rt3p	rt3m	W2tp	W2tm
	W3tp						
	W3tm						
1	IPE 100	1.479E+01	1.479E+01	0.000E+00	0.000E+00	3.420E+04	
	3.420E+04	0.000E+00	0.000E+00				

## VALORI EFFICACI SEZIONI SNELLE

Num.	Nome	fy	Q	M2slp	M2slm	M3slp	M3slm
1	IPE 100	2.750E+02	1.000E+00	9.406E+06	9.406E+06	1.592E+06	
	1.592E+06						

## LIMITI DI EPSILON PER COMPRESSIONE

Num.	Nome	ecNss
1	IPE 100	1.221E+01

## LIMITI DI EPSILON PER FLESSIONE M2

Num.	Nome	ecM2pcnc	ecM2pncs	ecM2mcnc	ecM2mncs
1	IPE 100	1.270E+01	1.270E+01	4.825E+00	4.825E+00

## LIMITI DI EPSILON PER FLESSIONE M3

Num.	Nome	ecM3pcnc	ecM3pncs	ecM3mcnc	ecM3mncs
1	IPE 100	1.270E+01	1.270E+01	4.825E+00	4.825E+00

```
#####
#                               #
#          DATI RELATIVI A TRAVI E BIELLE          #
#                               #
#####
#                               #
#          LEGENDA                               #
#                               #
#####
#                               #
# Capacità.....Valore di progetto fattorizzato   #
#                               #
# FB.....Instabilità flessionale (flexural buckling) #
#                               #
# TB.....Instabilità torsionale (torsional buckling) #
#                               #
# TFB.....Instabilità flesso-torsionale (flexural-torsional) #
#                               #
# -----#
#                               #
# clN.....Classe a compressione (1-4)      | 1 : compatta #
#                               #
# clM2m.....Classe a momento M2 negativo   | 2 : --- #
#                               #
# clM2p.....Classe a momento M2 positivo   | 3 : non compatta #
#                               #
# clM3m.....Classe a momento M3 negativo   | 4 : snella #
#                               #
# clM3p.....Classe a momento M3 positivo   #
#                               #
# clMax.....Classe massima                  #
#                               #
```

```

# E.....Modulo di elasticità                                     #
#                                                                 #
# lam1.....Snellezza totale per svergolamento                  #
#                                                                 #
# lam2.....Snellezza totale sbandamento attorno all'asse 2      #
#                                                                 #
# lam3.....Snellezza totale sbandamento attorno all'asse 3      #
#                                                                 #
# Mb2p.....Capacità momento M2 positivo (svergolamento, Cb=1, $F) #
#                                                                 #
# Mb2m.....Capacità momento M2 negativo (svergolamento, Cb=, $F1) #
#                                                                 #
# Mb3p.....Capacità momento M3 positivo (svergolamento, Cb=1, $F) #
#                                                                 #
# Mb3m.....Capacità momento M3 negativo (svergolamento, Cb=1, $F) #
#                                                                 #
# Mc2m.....Capacità a momento M2 negativo (no svergolamento, $F) #
#                                                                 #
# Mc2p.....Capacità a momento M2 positivo (no svergolamento, $F) #
#                                                                 #
# Mc3m.....Capacità a momento M3 negativo (no svergolamento, $F) #
#                                                                 #
# Mc3p.....Capacità a momento M3 positivo (no svergolamento, $F) #
#                                                                 #
# Mt.....Capacità a torsione (H)                                #
#                                                                 #
# Mtc.....Capacità a torsione (instabilità, H3)                 #
#                                                                 #
# Pc.....Capacità a compressione (no FB, TFB, TB, , $E)         #
#                                                                 #
# Pccr1.....Capacità a compressione (TB o TFB asse 1) se = 0 non  #
#               impiegata o instabilità impedita, $E             #
#                                                                 #
# Pccr2.....Capacità a compressione(FB asse 2) se =0 non impiegata #
#               o instabilità impedita, $E                       #
#                                                                 #
# Pccr3.....Capacità a compressione(FB asse 3) se =0 non impiegata #
#               o instabilità impedita, $E                       #
#                                                                 #
# Pccr.....Capacità finale a compressione (FB, TFB, FB, $EF)   #
#                                                                 #
# Pel2.....Carico critico euleriano (asse 2, $E3-4)             #
#                                                                 #
# Pel3.....Carico critico euleriano (asse 3, $E3-4)             #

```

```

#                                                                 #
# Pt.....Capacità a trazione ($D)                             #
#                                                                 #
# Pv2.....Capacità a taglio (T2) se Cv = 1 (no instabilità, $G) #
#                                                                 #
# Pv3.....Capacità a taglio (T3) se Cv = 1 (no instabilità, $G) #
#                                                                 #
# Pvcr2.....Capacità a taglio per instabilità (T2, $G, Cv != 1) #
#                                                                 #
# Pvcr3.....Capacità a taglio per instabilità (T3, $G, Cv != 1) #
#                                                                 #
# py.....Resistenza di progetto dell'acciaio                   #
#                                                                 #
#                                                                 #
#                                                                 #
#####

```

Trave Sezione	py	c1N	c1M2p	c1M2m	c1M3p	c1M3m
1 IPE 100	2.750E+02	1	1	1	1	1
2 IPE 100	2.750E+02	1	1	1	1	1
3 IPE 100	2.750E+02	1	1	1	1	1
4 IPE 100	2.750E+02	1	1	1	1	1
5 IPE 100	2.750E+02	1	1	1	1	1
6 IPE 100	2.750E+02	1	1	1	1	1
7 IPE 100	2.750E+02	1	1	1	1	1
8 IPE 100	2.750E+02	1	1	1	1	1
9 IPE 100	2.750E+02	1	1	1	1	1
10 IPE 100	2.750E+02	1	1	1	1	1

Trave Sezione	Pc	Pt	Pv2	Pv3
1 IPE 100	2.555E+05	2.555E+05	9.311E+04	6.765E+04
2 IPE 100	2.555E+05	2.555E+05	9.311E+04	6.765E+04
3 IPE 100	2.555E+05	2.555E+05	9.311E+04	6.765E+04
4 IPE 100	2.555E+05	2.555E+05	9.311E+04	6.765E+04
5 IPE 100	2.555E+05	2.555E+05	9.311E+04	6.765E+04
6 IPE 100	2.555E+05	2.555E+05	9.311E+04	6.765E+04
7 IPE 100	2.555E+05	2.555E+05	9.311E+04	6.765E+04

8	IPE 100	2.555E+05	2.555E+05	9.311E+04	6.765E+04
9	IPE 100	2.555E+05	2.555E+05	9.311E+04	6.765E+04
10	IPE 100	2.555E+05	2.555E+05	9.311E+04	6.765E+04

Trave	Sezione	Mt	Mc2p	Mc2m	Mc3p	Mc3m
1	IPE 100	3.132E+05	9.753E+06	9.753E+06	2.264E+06	2.264E+06
2	IPE 100	3.132E+05	9.753E+06	9.753E+06	2.264E+06	2.264E+06
3	IPE 100	3.132E+05	9.753E+06	9.753E+06	2.264E+06	2.264E+06
4	IPE 100	3.132E+05	9.753E+06	9.753E+06	2.264E+06	2.264E+06
5	IPE 100	3.132E+05	9.753E+06	9.753E+06	2.264E+06	2.264E+06
6	IPE 100	3.132E+05	9.753E+06	9.753E+06	2.264E+06	2.264E+06
7	IPE 100	3.132E+05	9.753E+06	9.753E+06	2.264E+06	2.264E+06
8	IPE 100	3.132E+05	9.753E+06	9.753E+06	2.264E+06	2.264E+06
9	IPE 100	3.132E+05	9.753E+06	9.753E+06	2.264E+06	2.264E+06
10	IPE 100	3.132E+05	9.753E+06	9.753E+06	2.264E+06	2.264E+06

Trave	Sezione	lam1	lam2	lam3	Pe12	Pe13
1	IPE 100	0.000E+00	2.457E+01	8.053E+01	3.544E+08	3.299E+07
2	IPE 100	0.000E+00	2.457E+01	8.053E+01	3.544E+08	3.299E+07
3	IPE 100	0.000E+00	2.457E+01	8.053E+01	3.544E+08	3.299E+07
4	IPE 100	0.000E+00	2.457E+01	8.053E+01	3.544E+08	3.299E+07
5	IPE 100	0.000E+00	2.457E+01	8.053E+01	3.544E+08	3.299E+07
6	IPE 100	0.000E+00	2.457E+01	8.053E+01	3.544E+08	3.299E+07
7	IPE 100	0.000E+00	2.457E+01	8.053E+01	3.544E+08	3.299E+07
8	IPE 100	0.000E+00	2.457E+01	8.053E+01	3.544E+08	3.299E+07
9	IPE 100	0.000E+00	2.457E+01	8.053E+01	3.544E+08	3.299E+07
10	IPE 100	0.000E+00	2.457E+01	8.053E+01	3.544E+08	3.299E+07

Trave	Sezione	Pccr1	Pccr2	Pccr3	Pccr	Pvcr2
Pvcr3						
1	IPE 100	0.000E+00	2.471E+05	1.782E+05	1.782E+05	9.311E+04
1.035E+05						
2	IPE 100	0.000E+00	2.471E+05	1.782E+05	1.782E+05	9.311E+04
1.035E+05						
3	IPE 100	0.000E+00	2.471E+05	1.782E+05	1.782E+05	9.311E+04
1.035E+05						

4	IPE	100	0.000E+00	2.471E+05	1.782E+05	1.782E+05	9.311E+04
1.035E+05							
5	IPE	100	0.000E+00	2.471E+05	1.782E+05	1.782E+05	9.311E+04
1.035E+05							
6	IPE	100	0.000E+00	2.471E+05	1.782E+05	1.782E+05	9.311E+04
1.035E+05							
7	IPE	100	0.000E+00	2.471E+05	1.782E+05	1.782E+05	9.311E+04
1.035E+05							
8	IPE	100	0.000E+00	2.471E+05	1.782E+05	1.782E+05	9.311E+04
1.035E+05							
9	IPE	100	0.000E+00	2.471E+05	1.782E+05	1.782E+05	9.311E+04
1.035E+05							
10	IPE	100	0.000E+00	2.471E+05	1.782E+05	1.782E+05	9.311E+04
1.035E+05							

Trave	Sezione	Mtcr	Mb2p	Mb2m	Mb3p	Mb3m
1	IPE 100	3.132E+05	9.075E+06	9.075E+06	0.000E+00	0.000E+00
2	IPE 100	3.132E+05	9.075E+06	9.075E+06	0.000E+00	0.000E+00
3	IPE 100	3.132E+05	9.075E+06	9.075E+06	0.000E+00	0.000E+00
4	IPE 100	3.132E+05	9.075E+06	9.075E+06	0.000E+00	0.000E+00
5	IPE 100	3.132E+05	9.075E+06	9.075E+06	0.000E+00	0.000E+00
6	IPE 100	3.132E+05	9.075E+06	9.075E+06	0.000E+00	0.000E+00
7	IPE 100	3.132E+05	9.075E+06	9.075E+06	0.000E+00	0.000E+00
8	IPE 100	3.132E+05	9.075E+06	9.075E+06	0.000E+00	0.000E+00
9	IPE 100	3.132E+05	9.075E+06	9.075E+06	0.000E+00	0.000E+00
10	IPE 100	3.132E+05	9.075E+06	9.075E+06	0.000E+00	0.000E+00

```
#####
#                                     #
#                               RISULTATI                               #
#####
#                                     #
#                               LEGENDA                                #
#                                     #
#####
#                                     #
# Trave.....Numero dell'elemento trave                             #
# Biella.....Numero dell'elemento biella                             #
# KR.....Massimo coefficiente di sfruttamento a resistenza          #
# CbR.....Combinazione in cui è stato calcolato KR (o KRi)          #
# ChkR.....Numero di verifica che ha condotto al calcolo di KR (o KRi) #
```

#		Vale la seguente codifica:	#
#			#
#	1	Eccesso di azione assiale	#
#	2	Eccesso di taglio T2	#
#	3	Eccesso di taglio T3	#
#	4	Eccesso di M2	#
#	5	Eccesso di M3	#
#	8	Eccesso di M1	#
#	12	Proprietà sezionali invalide o sconosciute	#
#	13	Presso o tenso flessione, bassa N	#
#	14	Presso o tenso flessione alta N	#
#	15	Interazione per sezioni cave	#
#	99	classe 4	#
#			#
#	CsiR.....	Ascissa adimensionale (0-1) ove è stato misurato KR (o KRi)	#
#	KS.....	Massimo coefficiente di sfruttamento a stabilità	#
#	CbS.....	Combinazione in cui è stato calcolato KS (o KSi)	#
#	ChkS.....	Numero di verifica che ha condotto al calcolo di KS o (KSi)	#
#		Vale la seguente codifica:	#
#			#
#	21	Compressione	#
#	22	Taglio T2	#
#	23	Taglio T3	#
#	24	Torsione	#
#	25	Momento M2	#
#	26	Momento M3	#
#	27	Presso flessione bassa N	#
#	28	Presso flessione alta N	#
#	29	Interazione per sezioni cave	#
#	12	Proprietà sezionali invalide o sconosciute	#
#	99	Classe 4	#
#			#
#	CsiS.....	Ascissa adimensionale (0-1) ove è stato misurato KS	#
#	KM.....	Sfruttamento massimo tra resistenza e stabilità	#
#	CbM.....	Combinazione ove è stato calcolato KM (o KMi)	#
#	ChkM.....	Numero di verifica corrispondente a KM (o KMi)	#
#	CsiM.....	Ascissa adimensionale (0-1) ove è stato misurato KM o (KMi)	#
#	Combi.....	Numero di combinazione	#
#	KRi.....	Coefficiente di sfruttamento a resistenza in Combi	#
#	KSi.....	Coefficiente di sfruttamento a stabilità in Combi	#
#	KMi.....	Sfruttamento massimo tra resistenza e stabilità in Combi	#
#	B12.....	Coefficiente B1 amplificazione momento M2 (A8.3)	#
#	B13.....	Coefficiente B1 amplificazione momento M3 (A8.3)	#
#	Cb2.....	Coefficiente di distribuzione momento asse 2 (F1-1)	#

```
# Cb3.....Coefficiente di distribuzione momento asse 3 (F1-1)      #
# Cm2.....Coefficiente di distribuzione momento asse 2 (A8.2.1)     #
# Cm3.....Coefficiente di distribuzione momento asse 3 (A8.2.1)     #
#                                                                    #
#####
```

## RISULTATI IN FORMA SINTETICA

Trave	KR	CbR	ChkR	CsiR	KS	CbS	ChkS	CsiS	KM	CbM	ChkM	CsiM
1	0.391	1	1	0.000	0.561	1	21	0.700	0.561	1	21	0.700
2	0.391	1	1	0.000	0.561	1	21	0.700	0.561	1	21	0.700
3	0.391	1	1	0.000	0.561	1	21	0.700	0.561	1	21	0.700
4	0.391	1	1	0.000	0.561	1	21	0.700	0.561	1	21	0.700
5	0.391	1	1	0.000	0.561	1	21	0.700	0.561	1	21	0.700
6	0.391	1	1	0.000	0.561	1	21	0.700	0.561	1	21	0.700
7	0.391	1	1	0.000	0.561	1	21	0.700	0.561	1	21	0.700
8	0.391	1	1	0.000	0.561	1	21	0.700	0.561	1	21	0.700
9	0.391	1	1	0.000	0.561	1	21	0.700	0.561	1	21	0.700
10	0.391	1	1	0.000	0.561	1	21	0.700	0.561	1	21	0.700

## RISULTATI IN FORMA ANALITICA

Trave	Combi	KRi	ChkR	CsiR	KSi	ChkS	CsiS	KMi	ChkM	CsiM
1	1	0.391	1	0.000	0.561	21	0.700	0.561	21	0.700
2	1	0.391	1	0.000	0.561	21	0.700	0.561	21	0.700
3	1	0.391	1	0.000	0.561	21	0.700	0.561	21	0.700
4	1	0.391	1	0.000	0.561	21	0.700	0.561	21	0.700
5	1	0.391	1	0.000	0.561	21	0.700	0.561	21	0.700
6	1	0.391	1	0.000	0.561	21	0.700	0.561	21	0.700
7	1	0.391	1	0.000	0.561	21	0.700	0.561	21	0.700
8	1	0.391	1	0.000	0.561	21	0.700	0.561	21	0.700
9	1	0.391	1	0.000	0.561	21	0.700	0.561	21	0.700
10	1	0.391	1	0.000	0.561	21	0.700	0.561	21	0.700



Trave	Combi	Cm2	Cm3	Cb2	Cb3	B12	B13
1	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.003
2	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.003
3	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.003
4	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.003
5	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.003
6	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.003
7	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.003
8	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.003
9	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.003
10	1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.003

Trave	Combi	sfrN	sfrT2	sfrT3	sfrM1	sfrM2	sfrM3
1	1	0.561	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	1	0.561	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	1	0.561	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	1	0.561	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	1	0.561	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	1	0.561	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	1	0.561	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	1	0.561	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	1	0.561	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	1	0.561	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

## 9 Avvertenze particolari

1- Affinchè un elemento possa essere considerato verificabile dal verificatore, il suo materiale deve rispettare le seguenti delimitazioni:

$$180000 \text{ MPa} < E < 250000 \text{ MPa}$$

$$100 \text{ MPa} < f_y < 1100 \text{ MPa}$$

2- Il verificatore non diminuisce la tensione di riferimento in funzione del massimo spessore dei piatti, come invece prevedono le normative europee, non essendosi trovata alcuna prescrizione a riguardo.



**Parte**



## **5     Articoli e altre informazioni**

### **5.1    La classificazione via EC3 di profili ad I sottoposti a sollecitazioni miste**

C.T.A. COLLEGIO DEI TECNICI DELL'ACCIAIO

GIORNATE ITALIANE DELLA COSTRUZIONE IN ACCIAIO

VIAREGGIO: 24 - 25 - 26 - 27 OTTOBRE 1993

#### **LA CLASSIFICAZIONE VIA EC3 DI PROFILI AD I SOTTOPOSTI A SOLLECITAZIONI MISTE**

#### **CLASSIFICATION THROUGH EC3 OF I SHAPES UNDER COMBINED STRESSES**

**ing. Paolo Rugarli - Castalia s.r.l.**

#### **SOMMARIO**

Viene presentato un metodo per classificare profili ad I in presenza di sollecitazioni di tipo misto (contemporanea presenza di azione assiale e di due componenti di momento). Tale metodo e' generale e implementabile su calcolatore. Questo lavoro e' stato indispensabile per lo sviluppo del verificatore secondo l'EC3, nell'ambito del progetto Sargon.

#### **ABSTRACT**

A method for classifying I shapes according to EC3 in presence of complete sets of sollecitation (axial force plus two bending moments) is presented. This method is general and implementable.

The work which is here presented has been necessary in order to develop the EC3 checking module of the Sargon project.

## 1) Introduzione

La classificazione delle sezioni è uno degli aspetti salienti dell'Eurocodice 3. La norma europea richiede infatti che di ogni membratura in ogni generica condizione di carico venga esaminato il comportamento locale, mediante l'analisi dello stato di sforzo e delle caratteristiche degli elementi costituenti la membratura. Occorre stabilire, infatti, se l'imbozzamento per instabilità locale avvenga prima del raggiungimento del limite elastico (classe 4); tra il limite elastico e quello plastico (classe 3); ovvero dopo il limite plastico (classi 1 e 2).

Sotto questo profilo l'EC3 appare coerente con le prescrizioni delle norme AISC 89 [1] (allowable stress design). Le sezioni di classe 4 dell'EC3 sono le sezioni "slender" delle AISC; la classe 3 è raffrontabile alla classe "non compact", le classi 1 e 2 alla classe "compact". Un riferimento normativo europeo può essere trovato nelle norme inglesi BS 5950 [2], che già nel 1985 introducevano il concetto di classificazione delle sezioni.

Da un punto di vista operativo una sezione si classifica confrontando, elemento per elemento, il rapporto larghezza-spessore del singolo elemento con dei valori limite che delimitano il campo di appartenenza alle varie classi. I valori limite dipendono dal numero  $\varepsilon = \sqrt{235 / f_y}$  e dalla distribuzione di sforzi sull'elemento (cfr. tavv. 1 e 2). In generale la distribuzione di sforzi adottata è di due tipi: per le classi 1 e 2 tale distribuzione è una distribuzione plastica a stress-block rettangolari; per la classe 3 la distribuzione è una distribuzione al limite elastico. In altre parole, si suppone che le sollecitazioni in equilibrio con il campo di sforzi di riferimento stiano, rispettivamente, sul dominio limite plastico e sul dominio limite elastico.

Se si esce dalla situazione di sollecitazione pura, e si entra in quella di sollecitazione mista, si vede come il calcolo del parametro  $\alpha$  delle tabelle non sia affatto agevole. L'asse neutro plastico (PNA) non è infatti parallelo ad alcuno degli assi principali della sezione nè all'asse neutro elastico. L'analisi delle tabelle fa pensare che le distribuzioni ipotizzate dal Normatore siano distribuzioni simmetriche, in equilibrio cioè con una coppia di sollecitazioni del tipo (N, M<sub>x</sub>) oppure (N, M<sub>y</sub>), su sezioni aventi almeno un asse di simmetria.

Non è questo l'unico caso in cui la Norma sembra, ad un'attenta osservazione, necessitare di qualche perfezionamento. Basti dire che, per esempio, una sezione ad I semplicemente inflessa avente un'anima con un rapporto  $d/t_w = 100$  risulta di classe 3 stando a quanto prescritto dalla tav. 1 (e perciò la sua sezione efficace coincide con la sua sezione geometrica), mentre applicando le formule del par. 5.3.5. della norma, ovvero le formule che indicano come e quanto parzializzare le sezioni di classe 4, si trova che, con quello stesso rapporto  $d/t_w$ , e quella stessa sollecitazione, è necessario parzializzare l'anima come se la sezione fosse in classe 4. Apparentemente, cioè, i due gruppi di formule non danno luogo ad una transizione continua.

Ciò detto, nel classificare una sezione sottoposta ad uno stato di sollecitazione misto sorgono i seguenti due problemi:

- 1) Come regolarsi nel caso in cui le sollecitazioni non stiano su uno dei domini limite ?
- 2) Come regolarsi nel caso generale in cui siano contemporaneamente presenti tutte e tre le sollecitazioni  $N$ ,  $M_x$  ed  $M_y$  ?

Il testo attuale dell'EC3 non chiarisce come risolvere questi problemi. Il quesito 1) è legato al fatto che lo stato di sollecitazione derivante dal calcolo non appartiene, in generale, ad alcun dominio limite. Il quesito 2) è particolarmente rilevante allorché ci si appresti a risolvere strutture tridimensionali con metodi automatici.

Questo lavoro deriva infatti dalla necessità di poter eseguire in modo automatico la classificazione di profili sottoposti a quello che per il computer è lo stato di sollecitazione tipico, ovvero quello con l'azione assiale ed i due momenti flettenti contemporaneamente presenti. Tale esigenza si è prospettata nell'implementare il verificatore automatico secondo l'EC3 del programma Sargon. L'importanza del problema sta nel fatto che occorre disporre di un metodo generale atto a classificare i profili indipendente dal *tipo* della sollecitazione.

## 2) Stati di sollecitazione non appartenenti a domini limite

Sia data una generica sezione di una generica membratura in un generico caso di carico: sia  $\mathbf{S} = (N, M_x, M_y)$  la terna delle sollecitazioni calcolate, e tale terna non appartenga ad alcun dominio limite. Sono possibili tre casi, prescindendo per ora dagli effetti locali: **a)**  $\mathbf{S}$  è interno al dominio limite elastico; **b)**  $\mathbf{S}$  è tra il dominio limite elastico ed il dominio limite plastico; **c)**  $\mathbf{S}$  è fuori dal dominio limite plastico.

Si esamini dapprima il caso **a**).

Nel caso **a)** la sezione può essere indifferentemente in classe 1, 2 o 3: sarà egualmente verificata. Dire che la sezione è in classe 1, in questo caso, significa dire che: trovato il moltiplicatore  $\lambda > 1$  tale che  $\lambda S$  appartenga al dominio limite plastico, e trovata la distribuzione di sforzi a stress block rettangolari in equilibrio con detto  $\lambda S$ , risulta che tutti gli elementi della sezione, sotto l'effetto di tali stress block, sono di classe 1. Il coefficiente di sfruttamento a resistenza è in tale caso  $1/\lambda$ .

Se invece, calcolato  $\lambda$ , risulta che la sezione non è di classe 1 o 2 sotto l'azione degli stress block, occorre valutare se tale sezione sia di classe 3. Poiché il dominio limite elastico è facilmente esprimibile in forma chiusa, si può calcolare il  $\gamma$  tale che  $\gamma S$  appartenga al dominio limite elastico, e verificare che con la distribuzione corrispondente di sforzi, i limiti delle tavole dell'EC3 siano verificati. Se la sezione è di classe 3 il coefficiente di sfruttamento è pari a  $1/\gamma$  (dove  $1/\gamma > 1/\lambda$ ).

Se la sezione non è neppure di classe 3 essa è di classe 4, e occorre fare dei calcoli particolari per valutare la parte effettivamente reagente (sezione efficace). In tal caso occorre usare il dominio limite elastico della sezione efficace, valutando un nuovo moltiplicatore  $\delta$ , e quindi il coefficiente di sfruttamento corrispondente: può anche darsi che  $S$  nella situazione **a)** sia esterno a tale dominio, nel qual caso  $1/\delta > 1$ , e la sezione non è verificata.

Il "coefficiente di sfruttamento" precedentemente introdotto garantisce che se i carichi vengono amplificati omoteticamente mediante un numero pari all'inverso di tale coefficiente, si raggiunge la soglia di sfruttamento *senza che intervengano effetti locali, oppure avendo messo in conto tali effetti (sezione efficace)*.

Nel caso **b)** la sezione deve essere almeno di classe 2, mentre nel caso **c)** non ha senso porsi il problema della classificazione, se non ai fini della misura dell'eccesso di sfruttamento.

Il problema principale potrebbe sembrare il calcolo del moltiplicatore di  $S$  che fa giungere sul dominio limite plastico  $L_p$ . Il calcolo di  $\lambda$  potrebbe essere risolto facilmente dall'equazione

$$L_p(\lambda S) = 0$$

e a tale scopo si potrebbero usare gli stessi domini proposti dalla normativa per le verifiche di resistenza.

In realtà, il vero problema non è valutare  $\lambda$ , ma individuare l'asse neutro plastico associato ai coseni direttori di  $S$  nello spazio delle sollecitazioni: un calcolo esplicito di  $\lambda$  non è necessario, nè sarebbe peraltro utile conoscere il luogo plastico in forma chiusa.

Nel caso di stati di sforzo misti tale problema non è banale e coincide con la ricerca della distribuzione di stress block in equilibrio con una sollecitazione del tipo  $\lambda \mathbf{S}$ , essendo  $\lambda$  uno scalare incognito. Se tale problema può essere aggirato (a prezzo di una sovrastima del coefficiente di sfruttamento) in presenza di stati di sforzo  $\mathbf{S}$  che siano interni al dominio elastico, accontentandosi di usare tale dominio come limite, diventa invece necessario risolverlo per stati di sforzo compresi tra il dominio limite elastico e quello plastico: in pratica, se si vogliono sfruttare le risorse plastiche e se si vuole applicare convenientemente l'EC3.

Il problema, così posto, è non lineare e di tali problemi ve n'è

$$nt \cdot nl \cdot ns$$

dove **nt** è il numero di elementi finiti di trave, **nl** è il numero di combinazioni di verifica, **ns** è il numero di sezioni in cui si è suddiviso l'elemento finito di trave.

Sono stati proposti [3] approcci semplificati atti a far pervenire a distribuzioni parziali di sforzi che equilibrino la coppia  $(N, M_x)$  senza coinvolgere l'intero profilo, ma tali approcci appaiono poco generalizzabili ("momento  $M_x$  alle ali, azione assiale  $N$  all'anima"), senza considerare che sono applicabili solo in presenza di *coppie* di sollecitazioni  $(N, M)$ .

La soluzione consiste nel rappresentare la classe della sezione in funzione dei coseni direttori di  $\mathbf{S}$ , senza passare attraverso la ricerca dell'asse neutro plastico. Tale approccio è stato impiegato per profili laminati del tipo ad I con doppio asse di simmetria, facendo pervenire a risultati del tutto generali.

L'approccio che verrà qui proposto è particolarmente conveniente allorché si disponga di un elaboratore. Per fare i conti "a mano" è stato proposto [4] un metodo numerico semplificato.

### 3) Lo studio della classe dei profili ad I laminato.

Siano  $N_{pl}$ ,  $M_{xpl}$ ,  $M_{ypl}$  i valori assoluti delle sollecitazioni al limite plastico. Sia dato un generico stato di sollecitazione  $\mathbf{S} = (N, M_x, M_y)$  derivante dal calcolo: tale stato di sollecitazione si riferisce ad una generica sezione di un generico elemento, in una generica combinazione di verifica.  $\mathbf{S}$  rappresenta un generico vettore nello spazio delle sollecitazioni. Sia ora  $\mathbf{s} = (n, m_x, m_y)$  il corrispondente stato di sforzo adimensionalizzato, essendo

$$n = \frac{N}{N_{pl}}$$



$$m x = \frac{M x}{M x_{pl}} \quad (1)$$

$$m y = \frac{M y}{M y_{pl}}$$

Si introduca ora il piano  $\Pi$  definito dalle variabili

$$\xi = \arctg \left( \frac{m y}{m x} \right) \quad (2)$$

$$\Theta = \arctg \left( \frac{n}{\sqrt{m x^2 + m y^2}} \right)$$

Tale piano rappresenta una mappatura dei versori dello spazio  $(n, m x, m y)$ . Si ponga inoltre

$$-\pi < \xi < \pi$$

$$-\frac{\pi}{2} < \Theta < \frac{\pi}{2}$$

Sia ora dato un generico profilo ad I. S'è visto nel paragrafo precedente come, a rigore, la classe di una sezione sia una funzione dei coseni direttori dello stato di sforzo, e non del parametro  $\lambda, \gamma$  o  $\delta$ . È quindi possibile studiare come varii la classe al variare di  $(\xi, \Theta)$ , e rappresentare nel piano  $\Pi$  tale dipendenza.

Sia dunque dato un generico profilo ad I, e si riferisca tale profilo agli assi principali di inerzia. È possibile generare un insieme di assi neutri plastici semplicemente come un insieme di rette del piano che taglino la sezione del profilo. Dato un generico asse neutro plastico  $PNA_i$ , è facile classificare la sezione sulla base dell'equazione, nota, dell'asse neutro plastico in questione, e, al tempo stesso, è facile calcolare per equilibrio il punto del dominio limite plastico ove ci si trova.

Risulta infatti per equilibrio:

$$N = f_y(AT - AC)$$

$$M_x = f_y(S_x T - S_x C) \quad (3)$$

$$M_y = f_y(S_{yC} - S_{yT})$$

ove

AT	area della parte tesa della sezione.
AC	area della parte compressa della sezione
S <sub>xT</sub>	momento statico rispetto all'asse x della parte tesa della sezione
S <sub>xC</sub>	momento statico rispetto all'asse x della parte compressa della sezione
S <sub>yC</sub>	momento statico rispetto all'asse y della parte compressa della sezione
S <sub>yT</sub>	momento statico rispetto all'asse y della parte tesa della sezione

Tramite le (1) e le (2) è poi possibile trovare la coppia  $(\xi, \Theta)$  associata all'asse neutro plastico in questione. Si può quindi stabilire una relazione del tipo

$$PNA_i(\xi, \Theta)$$

Data l'equazione di un certo asse neutro plastico è anche possibile stabilire, sulla base delle tav. 1 e 2 e analizzando la dimensione delle parti compresse della sezione, a quale classe la sezione appartenga sotto quello stato di sforzo. Nel caso in cui essa non appartenga alle classi 1 e 2, occorre trovare, a parità di coseni direttori nello spazio  $(n, m_x, m_y)$ , ovvero a parità di  $(\xi, \Theta)$ , l'asse neutro elastico corrispondente. Ciò si può fare con una certa semplicità ricordando l'equazione generale dell'asse neutro elastico. Dopo qualche passaggio si ottiene l'equazione dell'asse neutro elastico che conserva la coppia  $(\xi, \Theta)$ :

$$y = \operatorname{tg} \xi \cdot \frac{J_x}{J_y} \cdot \frac{M_{ypl}}{M_{xpl}} \cdot x - \frac{J_x N_{pl}}{A \cdot M_{xpl}} \operatorname{tg} \Theta \cdot \sqrt{1 + \operatorname{tg} \xi^2} \quad (4)$$

e da questa si può vedere se la sezione sia in classe 3 tramite l'esame della distribuzione elastica di sforzi. Nel caso in cui la sezione non sia in classe 3, essa è in classe 4.

Se utilizzando il metodo precedentemente esposto si rappresenta la classe associata ad ogni punto del piano  $\Pi$  con un punto di colore diverso (verde per la classe 1, azzurro per la classe 2, rosso per la classe 3, e viola per la classe 4) si ottengono i risultati mostrati nelle figure 1 e 2, rispettivamente relative ad un profilo IPE500, ed a un profilo HE500AA, entrambi realizzati in Fe510. Le figure sono state ottenute generando con

l'elaboratore 100000 assi neutri plastici su ciascuna sezione, e valutando poi la coppia  $(\xi, \Theta)$  e la classe nel modo chiarito precedentemente.

L'analisi delle figure mostra che esistono delle ben definite regioni nel piano  $\Pi$ , all'interno delle quali la classe non varia. Tali regioni, che qui verranno chiamate *reclassi*, sono semplicemente connesse e di forma regolare. La descrizione della dipendenza della classe dalla sollecitazione è perciò particolarmente semplice nel piano  $\Pi$ .

Classificare una sezione sulla base della sua sollecitazione  $\mathbf{s} = (n, m_x, m_y)$ , equivale a trovare la reclassa del piano  $\Pi$  alla quale appartiene il punto  $P = (\xi, \Theta)$  associato a  $\mathbf{s}$ . Il problema della classificazione delle sezioni in sollecitazioni miste è perciò ricondotto alla descrizione geometrica delle reclassi.

#### 4) Le reclassi

Convieni osservare dapprima che data la doppia simmetria delle sezioni ad I laminato, è possibile ricondursi alla regione  $\Gamma = (0 < \xi < \pi/2, -\pi/2 < \Theta < \pi/2)$ . In altre parole uno stato di sollecitazione  $(\xi', \Theta')$  che non appartenga a  $\Gamma$ , comporta la stessa classe che comporta lo stato di sollecitazione  $(\xi, \Theta)$  ottenuto riportandosi a  $\Gamma$  secondo le regole seguenti:

$$\Theta = \Theta'$$

$$\xi = \xi' \quad \text{se } \xi' < \pi/2$$

$$\xi = \xi' - \pi \quad \text{se } \xi' > \pi/2$$

Poichè la classificazione delle sezioni ad I avviene attraverso l'esame separato dell'anima e delle ali, è possibile ottenere due insiemi di reclassi: l'insieme delle reclassi ottenute classificando l'anima, e l'insieme delle reclassi ottenute classificando l'ala. Tali reclassi sono al più otto: le quattro reclassi ottenute classificando l'anima e le quattro reclassi ottenute classificando l'ala.

Se i rapporti larghezza-spessore ed il materiale lo consentono, è possibile che una o più reclassi coincidano con l'insieme vuoto : ad esempio, una sezione molto robusta potrà essere sempre in classe 1 con un certo acciaio: in tal caso le reclassi si riducono a due, entrambe coincidenti con  $\Gamma$ .

Siano  $W_i$  e  $F_i$  le reclasse di classe  $i$  ottenute rispettivamente classificando l'anima e l'ala. Ogni reclasse può essere descritta con una poligonale nella regione  $\Gamma$ , avente un numero arbitrario di lati: all'aumentare dei lati l'accuratezza della soluzione aumenta. Di seguito verrà descritto il metodo da seguire per descrivere le poligonali che individuano le reclasse.

#### 4.1) Reclasse $W_1$

All'interno di tale reclasse la classe del profilo è 1. La frontiera della reclasse si ottiene dal fascio di assi neutri plastici che ha per sostegno un punto  $\Lambda 1$  posto sull'anima (fig. 3): la ordinata  $y$  di  $\Lambda 1$  rispetto al baricentro può essere trovata con il procedimento che segue.

Si valuti il termine  $\alpha$  della tavola 5.3.1. dell'EC3 mediante l'espressione

$$\alpha_1 = \frac{396 \varepsilon + d/t_w}{13 d/t_w} \quad \text{con } \alpha_1 > 0.5 \quad (5a)$$

ovvero, se appropriata

$$\alpha_1 = \frac{36 \varepsilon}{d/t_w} \quad \text{con } \alpha_1 < 0.5 \quad (5b)$$

Tale valore di  $\alpha$  rappresenta la transizione tra la classe 1 e la classe 2 per l'anima allo studio.

Risulta quindi, supponendo compressa la parte inferiore dell'anima (cfr. fig.3)

$$y = \alpha_1 d - d/2$$

La reclasse verrà qui decritta sinteticamente dalla poligonale  $L M C B_1 A_1 O_1$  di figura 4.

La poligonale si ottiene scegliendo alcuni particolari assi neutri plastici nel fascio che ha per sostegno il punto dell'anima  $\Lambda 1$ .

I punti  $L$   $M$  e  $C$  hanno sempre le coordinate:

$$L = (0, \pi/2)$$

$$M = (\pi/2, \pi/2)$$

$$C = (\pi/2, 0)$$

Il punto C corrisponde all'asse neutro plastico  $c$  (fig. 3) che appartiene al fascio di rette che ha per sostegno  $\Lambda 1$  e che inoltre è verticale. Trovato tale asse neutro plastico è infatti possibile calcolare con le (3) le sollecitazioni ad esso associate e quindi, tramite le (1) e (2), le coordinate nel piano  $\Pi$  del punto C. Poichè in questo caso  $n=0$ ,  $m_x = 0$ ,  $m_y = 1$ , ne discende  $\xi = \pi/2$ ,  $\Theta = 0$ .

Il punto B1 è ottenuto dall'asse neutro plastico  $b1$  che appartiene al fascio di rette che ha per sostegno  $\Lambda 1$  e che forma con l'asse  $x$  un angolo convenzionale ( il valore dell'angolo e' puramente convenzionale: serve solo a trovare un punto appartenente alla frontiera della reclasse) di 89.

Il punto A1 è ottenuto dall'asse neutro plastico  $a1$  del fascio che passa per l'estremo inferiore sinistro del profilo (punto R, fig.3), se  $\alpha > 0.5$ . Se, invece,  $\alpha < 0.5$  il punto A1 è ottenuto dall'asse neutro plastico  $a1$  del fascio che passa per l'estremo superiore destro del profilo (punto S, fig. 3).

Il punto O1 è ottenuto dall'asse neutro plastico  $o1$  del fascio che è orizzontale.

Se le (5) forniscono per  $\alpha$  valori superiori a 1, il punto  $\Lambda 1$  non appartiene all'anima e  $W1$  coincide con  $\Gamma$ . In tal caso risulta anche

$$W2 = W3 = W4 =$$

#### 4.2) Reclasse $W2$

All'interno di tale reclasse la classe del profilo è 2. Se  $W2$  la frontiera della reclasse si ottiene dal fascio di assi neutri plastici che ha per sostegno un punto  $\Lambda 2$  posto sull'anima (fig. 5). La ordinata  $y$  di  $\Lambda 2$  rispetto al baricentro può essere trovata con il procedimento già visto, pur di utilizzare le equazioni appropriate. Si valuti il termine  $\alpha$  della tavola 5.3.1. dell'EC3 (cfr. tav. 1) mediante l'espressione

$$\alpha_2 = \frac{456 \varepsilon + d/t_w}{13 d/t_w} \quad \text{con } \alpha_2 > 0.5 \quad (6a)$$

ovvero, se appropriata

$$\alpha_2 = \frac{41.5 \varepsilon}{d/t_w} \quad \text{con } \alpha_2 < 0.5 \quad (6b)$$

Tale valore di  $\alpha$  rappresenta la transizione tra la classe 2 e la classe 3 per l'anima allo studio.

Risulta quindi, supponendo compressa la parte inferiore dell'anima (cfr. fig. 5)

$$y = \alpha 2d - d/2$$

La reclasse è descritta sinteticamente dalla poligonale O1A1B1CB2A2O2 di figura 4.

Il nuovo tratto CB2A2O2 della poligonale si ottiene scegliendo dal fascio di assi neutri plastici che ha per sostegno il punto dell'anima  $\Lambda 2$ , alcuni particolari assi.

Il punto B2 è ottenuto dall'asse neutro plastico  $b2$  che appartiene al fascio di rette che ha per sostegno  $\Lambda 2$  e che forma con l'asse x un angolo convenzionale di 89.

Il punto A2 è ottenuto dall'asse neutro plastico  $a2$  del fascio che passa per l'estremo inferiore sinistro del profilo (punto R, fig.5) se  $\alpha > 0.5$ . Se, invece,  $\alpha < 0.5$  il punto A2 è ottenuto dall'asse neutro plastico  $a2$  del fascio che passa per l'estremo superiore destro del profilo (punto S, fig. 5).

Il punto O2 è ottenuto dall'asse neutro plastico  $o2$  del fascio che è orizzontale.

Se le (6) forniscono per  $\alpha$  valori superiori a 1, il punto  $\Lambda 2$  non appartiene all'anima e  $W2$  coincide con  $(\Gamma - W1)$ . In tal caso risulta anche

$$W3 = W4 =$$

### 4.3) Reclasse $W3$

All'interno di tale reclasse la classe del profilo è 3. Se  $W3$  la frontiera superiore della reclasse, quella in comune con la reclasse  $W2$ , è già stata trovata e coincide con O2A2B2C. La frontiera inferiore C B3 A3 O3 della reclasse  $W3$ , si ottiene nel seguente modo.

Se

$$d/tw < 42 \varepsilon$$

allora la classe non è mai pari a 4. In tal caso

$$W_3 = (\Gamma - W_1 - W_2)$$

e la frontiera inferiore di  $W_3$  coincide con la frontiera di  $\Gamma$ .

Se invece

$$d/t_w > 42 \varepsilon$$

allora la classe può, in talune situazioni, essere pari a 4. In tal caso il ragionamento da fare è il seguente. Se un generico asse neutro plastico taglia l'anima al di sopra di  $\Lambda_2$  la sezione non è nè in classe 1, nè in classe 2: occorre allora trovare l'asse neutro elastico che conservi i coseni direttori nello spazio delle sollecitazioni, e verificare la classe del profilo mediante le seguenti relazioni, soddisfatte se il profilo è in classe 3:

$$d/t_w < \frac{42\varepsilon}{0.67 + 0.33\psi} \quad \text{con } \psi > -1 \quad (7a)$$

$$d/t_w < 62 \varepsilon (1-\psi) \sqrt{-\psi} \quad \text{con } \psi < -1 \quad (7b)$$

dove  $\psi$  il rapporto tra la massima tensione di compressione (positiva) e la tensione all'altro estremo del profilo (cfr. tav. 1).

Se, dato  $d/t_w$ , si risolvono le equazioni associate alle (7), si trova un valore di  $\psi = \psi_3$ , che è il valore di transizione tra la classe 3 e la classe 4. Si noti che le (7) determinano *un solo* valore di  $\psi_3$ . Il fascio di assi neutri elastici che ha per centro il punto  $\Lambda_3$  dell'anima tale per cui risulta  $\psi = \psi_3$  determina la frontiera inferiore cercata. Il punto  $\Lambda_3$  ha coordinate

$$\Lambda_3 = \left(0, \frac{h}{2} \cdot \frac{1+\psi_3}{1-\psi_3}\right) \quad (8)$$

Se si sostituiscono le coordinate di  $\Lambda_3$  nella equazione (4), si ottiene l'equazione della frontiera cercata:

$$\Theta = -\arctg \left[ \frac{1+\psi_3}{1-\psi_3} \frac{W_{xp_i}}{W_{xs_i}} \cos\left(\frac{\pi}{5}\right) \right] \quad (9)$$

La reclasse è descritta sinteticamente dalla poligonale O2A2B2CB3A3O3 di figura 4.

Il nuovo tratto CB3A3O3 della poligonale si ottiene imponendo tre ascisse  $\xi$ , in questo esempio  $\pi/2$ ,  $\pi/4$ , e 0, e valutando poi le ordinate  $\Theta$  tramite la (9).

#### 4.4) Reclasse W4

All'interno di tale reclasse la classe del profilo è 4. Se

$$d/tw > 42 \varepsilon$$

allora **W4** e risulta

$$W4 = (\Gamma - W1 - W2 - W3)$$

#### 4.5) Reclassi Fi

Le reclassi **Fi** possono essere descritte con poligonali così come le reclassi **Wi**. Per la reclasse **F1**, valutato  $\alpha_1$  (cfr. tav. 2) dall'espressione

$$\alpha_1 = \frac{10\varepsilon}{c/t_f}$$

(Si noti che la distribuzione deve comunque essere tale da far sì che l'estremo dell'ala sia compresso, mentre l'attacco dell'ala all'anima dev'essere teso ("tip in compression"). Infatti, se l'estremo è teso, è facile vedere che esiste sempre una semi-ala interamente compressa.)

La frontiera si ottiene dal fascio di assi neutri plastici che ha per centro il punto  $\Sigma_1$  di coordinate (cfr. figg.6 e 7).

$$\Sigma_1 = (c - \alpha_1 c, -\frac{h - t_f}{2})$$

Per la reclasse **F2**, valutato  $\alpha_2$  dall'espressione (cfr. tav. 2)



$$\alpha_2 = \frac{11e}{c/t_f}$$

la frontiera si ottiene dal fascio di assi neutri plastici che ha per centro il punto  $\Sigma_2$  di coordinate

$$\Sigma_2 = (c - \alpha_2 c, -\frac{h - t_f}{2})$$

La reclasse **F3** si ottiene da un fascio di assi neutri elastici. In tal caso, valutato  $\psi_3$  dall'equazione

$$\frac{c}{t_f} = 23e \cdot \sqrt{0.07\psi^2 - 0.21\psi + 0.57}$$

il centro del fascio  $\Sigma_3$  ha coordinate

$$\Sigma_3 = \left[ -\frac{\psi_3 B}{2(1 - \psi_3)}, \frac{h - t_f}{2} \right]$$

Sostituendo tali coordinate nella (4) si ottiene la frontiera di **F3** in forma chiusa.

$$\Theta = \arctg \left[ \frac{(h - t_f) \cdot W_{xpl}}{2J_x} \cos(\xi) - \frac{W_{ypl}}{W_{yel}} \frac{\psi_3}{1 - \psi_3} \sin(\xi) \right]$$

## 5) La classificazione di un profilo ad I laminato

Dato  $S = (M, M_x, M_y)$ , tramite le (1) e (2) si valuta il punto  $P(\xi, \Theta)$  corrispondente ad  $S$  nel dominio  $\Gamma$ . Se le reclasse del profilo sono note (figg. 8 e 9), si cerchi la reclasse  $W_i$  e la reclasse  $F_j$  alle quali appartiene  $P$ . La classe del profilo  $C$  è (fig. 10)

$$C = \max\{i, j\}$$

ovvero, per ogni punto di  $\Gamma$  la massima classe possibile.

## 6) Conclusioni.

È stato proposto un metodo capace di risolvere completamente con il desiderato grado di accuratezza il problema della classificazione di profili sottoposti a sollecitazione mista. Tale metodo può essere

implementato all'interno di un codice di calcolo, consentendo di valutare con piena accuratezza la classe di una sezione ad I sottoposta ad uno stato di sforzo del tutto generale.

La necessita' di introdurre una procedura generale deriva da un lato dal fatto che nella Norma non e' chiarito come regolarsi nel caso di sollecitazione mista; dall'altro dal fatto che e' necessario disporre di algoritmi implementabili su calcolatore.

Il metodo di classificazione qui esposto e' stato gia' implementato all'interno del codice di calcolo Sargon, atto alla verifica automatica delle membrature in acciaio secondo l'EC3.

## 7) Riferimenti.

- [1] A.I.S.C. "Manual of Steel Construction" 9th edition, 1989: "Specification for Structural Steel Buildings".
- [2] British Standard Institution "Structural use of steelwork in building. Part 1."- BS5950, 1985.
- [3] Advisory Desk - "SCI Answers to Queries on Steelwork Design 1988-1990", SCI Publication nr. 104.
- [4] Paolo Rugarli "Questioni connesse alla classificazione di profili sottoposti a sollecitazioni miste". Memoria presentata a "Eurosoftware 93", Venezia 1993.

## 5.2 Software orientati alla comunicabilità ed al controllo dei dati

C. T. A. Collegio dei Tecnici dell'Acciaio  
GIORNATE ITALIANE DELLA COSTRUZIONE IN ACCIAIO

SOFTWARE ORIENTATI ALLA COMUNICABILITÀ  
ED AL CONTROLLO DEI DATI NELL'INGEGNERIA DELLE STRUTTURE

ing. Paolo Rugarli - Castalia s.r.l., Novara

Le recenti acquisizioni nel campo dell'hardware hanno reso evidente la necessità di adeguare i programmi di calcolo agli elementi finiti, anch'essi per la verità abbastanza recenti, alle nuove tecnologie disponibili.

Pur dando per scontato ciò che scontato non è, vale a dire un impiego diffuso del metodo degli elementi finiti, v'è molto da fare per rimanere al passo coi tempi: generazioni di macchine sostituiscono le precedenti ogni due anni. Gli elementi finiti sono ormai ben studiati e ampiamente affidabili, eppure la loro diffusione non è ancora sufficiente. Di ciò noi crediamo sia responsabile principalmente il software.

In questa breve nota si vogliono richiamare quegli aspetti sui quali si deve intervenire (e lo si sta già facendo), per rendere agevole l'impiego del software per l'ingegneria strutturale, così da estendere l'uso del metodo degli elementi finiti, che, se accoppiato a strumenti efficienti, può consentire soluzioni economiche anche nel campo della ingegneria civile.

Per questo fine è essenziale far sì che il software sia semplice e rapido da usare, consentendo all'analista di avere tutte le informazioni che vuole (e solo quelle) in un tempo brevissimo. Oggi capita spesso che si impieghi più tempo per trovare un errore nel modello, anche banale, come una sconnessione non voluta o un vincolo mal posto, che per risolvere un problema da cinquemila gradi di libertà: è assurdo. Ci sono alcune cose ormai urgenti da realizzare, e tutti i codici agli elementi finiti dovrebbero adeguarsi, ivi inclusi i più potenti, sotto il profilo della classe di problemi affrontabili, "mostri" creati negli anni settanta che si trovano oggi parecchio indietro nella maneggevolezza e semplicità d'uso.

#### L'impiogo della grafica.

Grazie alle interfacce grafiche dell'ultima generazione è possibile ormai fare del tutto a meno delle famigerate numerazioni, che hanno costretto per anni gli analisti a classificare i nodi e gli elementi in base al numero, al fine di individuarli: attualmente il generico elemento viene estratto indicandolo con un sistema di puntamento automatico quale il mouse o la tavoletta grafica, e ciò consente una facilità ed immediatezza paragonabili a quelle di una normale conversazione.

La creazione della mesh e la sua numerazione sono procedure ormai automatiche: l'analista introduce le coordinate di alcuni punti notevoli e sfrutta delle primitive grafiche per descrivere il proprio modello nelle sue linee generali; in un secondo tempo, per via automatica, suddivide il dominio così individuato creando il modello di discretizzato.

Ma non è solo sotto il profilo della generazione delle incidenze e dei nodi (coordinate e numerazione) che la macchina può essere sfruttata: ancora oggi molti importanti codici di calcolo agli elementi finiti non consentono il puntamento col mouse (o la tavoletta grafica), e per conoscere le coordinate, gli spostamenti o le forze in un nodo, occorre saperne il numero.

Ciò è ormai obsoleto, poiché una trattazione grafica e colloquiale del problema consente di avere queste notizie puntando col mouse il nodo desiderato e premendo un tasto. L'operazione è concettualmente semplice e risparmia al progettista il fastidio di cercare su tabulati o nei file di input le notizie per lui utili, lasciandogli più tempo per fare le cose realmente importanti, quelle che

La macchina non può in alcun modo fare (né mai crediamo potrà). Che il computer debba sapere "che numero ha l'elemento che descrive la colonna 1-h tra le quote 6.25 e 10.25" è comprensibile, ma al progettista non interessa: indichi "quella" colonna col mouse, il programma farà il resto.

Per accedere graficamente alle informazioni è indispensabile gestire le operazioni di zoom, di rotazione, di cambiamento di vista del modello, in modo efficiente. Non è abbastanza rapido dare 6 numeri che definiscono gli estremi di una regione per poi vedere ciò che in essa è contenuto: la regione si può definire più celermente ed in modo più preciso premendo due volte col mouse. Infatti, le coordinate in sé non sono rilevanti: l'essenziale è definire il particolare voluto. Non ci si deve più preoccupare di trovare le coordinate giuste per la regione, quelle entro le quali il particolare cercato è ben contenuto: è il programma che deve saperle trovare. È snervante dover battezzare la regione, trovarne gli estremi, eppoi vederla, scoprendo d'aver magari sbagliato un estremo, ragion per cui occorre ricominciare: ciò che si voleva era un ingrandimento di una zona del modello, subito, per verificare che in quella zona tutto fosse a posto, e con due pressioni di tasto del mouse il problema è risolto.

Accedendo alle informazioni in modo grafico si può controllare molto più rapidamente il modello, sia in fase di input che di output: sembra in effetti di dire cose ovvie, ma ovvie non sono se a tutt'oggi la maggioranza dei codici ad elementi finiti non fa queste cose; ovvio non è poi che molti sviluppatori software del settore non reputano sufficientemente seri questi problemi, che sono invece capitali per consentire l'impiego del metodo come uno strumento, e non come il fine del proprio lavoro.

#### Ricerca e limitazione degli errori.

Chi ha lavorato con gli elementi finiti sa che buona parte del lavoro consiste nella ricerca degli errori inseriti accidentalmente nel file di input. Gli errori possono essere fatti per vari motivi: esistono errori di introduzione dei dati; errori nella descrizione fisica della struttura da parte del modello (errori di modellazione); esistono infine, in particolare, errori nella generazione dei carichi. Ad esempio, l'introduzione erronea di un codice di vincolo, oppure la corrispondenza scorretta tra proprietà sezionali e assi di riferimento locali, sono tipici errori di modellazione.

I più recenti codici di calcolo dovrebbero essere progettati non solo per fornire sofisticazioni di calcolo crescenti (elementi finiti più precisi o potenti, leggi costitutive elasto-plastiche ecc.), ma anche per rendere meno probabili gli errori.

Gli errori dovuti alla introduzione dei dati possono essere resi meno probabili riducendo drasticamente il numero dei dati da inserire manualmente. Ciò si fa avvicinando al ragionamento umano il "ragionamento" del software, e non viceversa, come è avvenuto finora. Un esempio può chiarire questo concetto: se l'utente desidera attribuire ad un certo elemento finito le proprietà di una IPE300, usando il software tradizionale egli deve svolgere le seguenti operazioni: a)

cercare nei suoi schizzi a mano, nei disegni del plotter oppure nel file di input, che numero ha l'asta alla quale intende attribuire le caratteristiche di una IPE300; b) cercare nel profilario i 6 numeri che individuano, ai fini del metodo, il profilo tipo IPE300; c) scrivere in una certa linea questi sei numeri, in un'unità coerente con quella adottata nel modello (ciò implica in generale e sei somme o differenze d'esponente); d) stare attento all'ordine con cui introduce i dati, poi ch  a tale ordine   associata l'orientazione dell'asta nello spazio; e) assicurarsi che le convenzioni adottate per orientare l'asta siano state rispettate.

Non sorprende che molti trovino tutto ci  troppo macchinoso e lontano dal problema originario, che   attribuire una sezione ad un'asta. Chi si occupa prevalentemente di elementi finiti ha sviluppato una serie di tecniche che rendono un po' pi  rapida questa trafila, ma non si pu  chiedere a tutti di fare altrettanto, e non si pu  portare la disastrosit  del fiaccolai  come un motivo sufficiente per conservare l'uso dei lampi ni a gas.

Un software della nuova generazione potrebbe comportarsi invece cos : con il mouse viene indicata l'asta che si vuole sia un' IPE300; premendo un tasto si accede per via grafica ad un archivio profili e si dice al programma la parola chiave "IPE300"; immediatamente a schermo compare il disegno del profilo IPE300 e il disegno della struttura nella vista corrente, con l'asta selezionata chiaramente visibile, insieme alla sua orientazione (rappresentata, quest'ultima, da una freccia visibile a schermo); premendo una terza volta col mouse si dice al programma che il profilo mostrato   associato all'asta prescelta, disponendo il profilo in modo tale che la freccia sull'elemento selezionato coincida con l'analoga freccia che si vede disegnata sull'IPE300. Se si desidera che tra le due frecce vi sia un angolo, all'esplicita domanda del programma si risponde introducendo tale angolo in gradi. In tutto si sono introdotti solo i seguenti dati: "IPE300" e per esempio, "90 ". In tal modo il problema dell'orientazione   notevolmente semplificato: occorre solo far coincidere due frecce.

E poi il programma che deve leggere le inerzie della IPE300 nel suo database e convertirle nella unit  prescelta;   ancora il programma che deve calcolare le snellezze e le deve mostrare in modo chiaro, sotto forma di mappe a colori o indici scritti sull'asta a schermo. Pu  essere ancora il programma ad assistere nella scelta del profilo, perch  deve essere possibile far s  che esso trovi un insieme di profili soddisfacenti ai alcuni requisiti, non ultimo la reperibilit , in modo del tutto automatico: se si vogliono snellezze massime inferiori a 100 e minime superiori a 40, ma profili europei del tipo HEA, HEB o HEM deve trovare la macchina quali profili soddisfino questi requisiti, non chi la usa.

Curare questi aspetti di interfacciamento consente di ridurre drasticamente il volume di informazioni "brute" da fornire, rendendo al tempo stesso pi  piacevole il lavoro e meno probabili gli errori di introduzione dei dati.

Anche gli errori di modellazione possono essere resi meno probabili, consentendo che le scelte fatte in termini di vincoli e svincoli trovino una immediata e chiara rappresentazione grafica: non pi  la ricerca di serie di zeri e

di uni, ma la rappresentazione grafica del vincolo, uni voca. Nel caso delle convenzioni usate per orientare le aste, s'è già visto che esistono metodi atti a rendere intuitivo e, si direbbe, "palpabile", ciò che si sta facendo: il principio generale dovrebbe essere quello di far vedere a chi usa il software le conseguenze delle sue scelte. Non si può chiedere a tutti la dimestichezza che consente di vedere un "1" in cinquantesi ma colonna là dove dovrebbe esserci, manuale alla mano, uno "0".

Anche eventuali labilità potrebbero essere, almeno in parte, rese evidenti per via grafica: basterebbe aggiungere al criptico messaggio del file di output, "check dof 4357", ovvero "verificare il grado di libertà numero 4357", un opportuno simbolo luminoso sul nodo a cui è associato il "dof" in questione: il più delle volte, noto il nodo, è richiamata alla mente la dimenticanza che ha generato il problema.

Nel caso delle azioni gli errori di modellazione derivano in genere dall'errata attribuzione delle forze alle aste (scambiando i numeri), oppure dall'errata risultante (per esempio, errori nell'unità di misura).

La gestione dell'unità di misura è automatizzabile e deve essere automatizzata, poi perchè cambiare unità di misura nel corso del lavoro comporta esclusivamente qualche moltiplicazione. Cambiare unità di misura a seconda delle esigenze che si prospettano via via, vuol dire parlare alla macchina, e recepire i suoi messaggi, in una lingua a noi più chiara, e per lei del tutto equivalente: se si è abituati ad usare le tonnellate e non ci si ritrova coi kN, si possono usare le tonnellate, sarà poi la macchina a scrivere la relazione di calcolo in kN. Le unità che sono congeniali per i carichi, sono molto scomode se si ragiona, per esempio, sui momenti di inerzia: si preferiranno altre unità, in tal caso, e la macchina deve consentire la sostituzione immediata.

L'applicazione di forze a nodi o aste sbagliate è resa improbabile dal fatto che si può procedere graficamente: valgono qui le considerazioni già fatte sulla rapidità di puntamento tramite mouse o tavolotta grafica.

L'introduzione di moduli sbagliati è resa meno probabile scalando le frecce che a schermo rappresentano le azioni in funzione del loro modulo, e consentendo di sapere in ogni momento, nell'unità di misura che l'utente vuole, quanto vale la singola azione o la risultante di gruppi di azioni selezionati per mezzo del mouse. "Che carico c'è sulla copertura" è una domanda legittima: per rispondere deve poter bastare premere due o tre volte in modo opportuno un tasto. Sarebbe assurdo non solo sommare i numeri che rappresentano le singole forze, ma anche scrivere un programma di utilità per farlo: il software di cui si sta parlando è il "programma".

Software con queste caratteristiche possono rendere assai meno probabili gli errori: l'introduzione stessa dei dati di viene estremamente limitata: se un carico è definito a regione, basta la sua intensità e la descrizione della regione; il calcolo delle aree di influenza dei pilastri o dei nodi di facciata può e deve essere automatizzato, rendendo più agevole l'impiego del software e meno probabili

errori di calcolo banali e fuorvianti. Si tenga presente che poiché l'utente non si cura della numerazione nodale, i nodi adiacenti ai fini del dominio di influenza non vanno trovati sulla base del loro numero, ma sulla base delle proprietà geometriche del luogo a cui appartengono. L'attribuzione dei carichi sulla base dei domini di influenza può anche richiedere l'elaborazione di complicati algoritmi, capaci di catalogare la topologia della superficie prescelta sì da scovare i tutti i nodi ad essa appartenenti, e il loro dominio di influenza: non sono problemi sempre banali, l'esperto di programmazione può trovare lavoro avvincente ed al tempo stesso importante, perché svolgerlo significa semplificare notevolmente l'impiego del metodo degli elementi finiti.

#### Modellazione dei carichi.

Un altro settore promettente e pressoché del tutto inesplorato è quello della modellazione dei carichi, intesa come programmazione delle normative che fissano le modalità di calcolo delle azioni di progetto.

Gli indirizzi normativi più recenti tendono a complicare e specializzare questa parte del lavoro, ragion per cui sembra ormai natura l'istituzione di un insieme di procedure automatiche capaci di risparmiare al progettista i calcoli più ripetitivi. Si prenda, ad esempio, il vento: è possibile definire topologicamente l'esterno della struttura, associandolo a classi predefinite, e creare parametricamente interi insiemi di forze equivalenti. Generate le direzioni del vento, e definite col mouse le superfici esposte ad esso, nota l'ubicazione geografica del sito sono sufficienti poche altre informazioni per avere i carichi nodali. Lo sforzo da fare, in questo come in casi simili, è quello di trovare concetti sufficientemente flessibili e generali da poter costituire la base per l'implementazione. Si richiede uno sforzo di fantasia, in somma. Nel caso delle superfici, per esempio, si dovrebbe far sì da definirle semplicemente (col mouse), stabilendone gli attributi utili ai calcoli - permeabile, liscia, scabra -, in modo rapido ed efficiente.

Nel caso della neve la definizione della superficie è bastevole, insieme al dato geografico, per risolvere la maggioranza dei casi. Le procedure di cui si tratta si limiterebbero a domandare la regione geografica, generando i carichi in modo automatico.

Nel caso del sisma, l'esecuzione automatica di un'analisi modale con modi, ove m è tale da garantire masse partecipanti percentualmente superiori ai valori di soglia previsti dalle norme, accoppiata con spettri di risposta di normativa, è tecnicamente fattibile: la generazione delle masse può essere svolta automaticamente, perchè se il programma capisce che, per esempio, il caso di carico 2 è di tipo "vento", sa anche che a quel carico non è associata massa; ed i calcoli sui coefficienti di partecipazione atti a verificare la percentuale di massa oscillante sono facilmente programmabili.

Si tenga presente che gli eurocodici prevedono obbligatoriamente le analisi dinamiche a spettro di risposta per classi sempre più vaste di strutture, e che non tutti i progettisti hanno nel proprio bagaglio di studi aggiornate nozioni di

di nani ca e di el emen ti fi ni ti. Tanto vero che la ne ces si tà di fa re cal co li se ri sul ter ra è tut tal tro che sod di sfat ta.

Anche nel cam po dell'in ter a zi o ne su o lo str ut tu ra, la mo del la zi o ne del ter re no per me zzo di mol le equi va len ti può es se re con cep ta in mo do au to ma ti co: no ta la for ma e la di men si o ne della fon da zi o ne, ed il mo du lo G del ter re no, esi so no for mu le chi use ed ab a chi ca pa ci di for ni re il va lo re delle mol le equi va len ti.

Accop pi a to alle rou ti ne di cui s'è de tto so pra, un soft wa re di que sto ti po po tre bbe con sen ti re di ri du re ul te ri o ri men te i da ti in in put, fa cen do es e gui re a na li si più raf fi na te ad un in si e me più nu me ro so di ut en ti, in mo do com pl es si va men te più ra pi do. Se si ri us ci s se a cal co la re le a zi o ni sta ti sti ca men te più pro ba bi li sul la ba se dei ri fe ri men ti nor ma ti vi, in mo do so stan zi al men te au to ma ti co, il pro get ti sta po tre bbe fi nal men te soffer mar si sul pro bl e ma che na tu ral men te gli do vreb be es se re più vi ci no: co me con cep i re la str ut tu ra per far sì che re si sta alle a zi o ni in mo do ot ti ma le.

#### Pro du zi o ne di di se gni es e cu ti vi.

Si vuol e ora ac cen na re alla pos si bi li tà di re al i zz a re am bi en ti di la vo ro ca pa ci di ge sti re pro bl e mi mol to di ver si, ma egual men te im por ta n ti per il pro get ti sta: men tre da un la to so no in di spen sa bi li i cal co li agli el em en ti fi ni ti e l'es e cu zi o ne di ve ri fi che in mo do au to ma ti co, dall' al tro so no in di spen sa bi li me zzi atti a pro du re ra pi da men te i di se gni. Le due ne ces si tà tro va no og gi ri spo ste se pa ra te, ot te nu te gra zie a str u men ti di ver si. La ra gi o ne è nel fat to che so lo da po chi s si mi an ni so no di spo ni bi li me zzi adeg ua ti; e nella di ffe ren za di for ma zi o ne che se pa ra gli es per ti dei due set to ri: di ffi ci le es se re al tem po stes so es per ti di el em en ti fi ni ti e di pro bl e mi di di se gno tec ni co, que li cioè che un di se gna to re deve tro va ri a ri so l ve re quo ti di a na men te. La so lu zi o ne al pro bl e ma non può qui ndi che ve ni re dal col le ga men to dei va ri pro gram mi che si oc cu pa no di el em en ti fi ni ti, con i pro gram mi che si oc cu pa no di di se gno.

Es i ste og gi la pos si bi li tà di con sen ti re al pro get ti sta ed ai suoi col la bo ra to ri l'im pie go di un u ni co gran de str u men to, che pren da i ri su l ta ti delle a na li si agli el em en ti fi ni ti, con tut te le in for ma zi o ni sulle aste e la lo ro or i en ta zi o ne, co me da ti di in put per il suc ces si vo mo du lo or i en ta to al di se gno. Que sto str u men to do vrà con sen ti re di ri es e gui re le a na li si nu me ri che per te ne re conto di mo di fi che suc ces si va men te ad ot ta te, con sen ten do così ai due "mon di" un col le ga men to con ti nuo.

La ne ces si tà di di strug ge re la Ba bel e dei di ver si lin gua ggi e delle di ver se con ven zi o ni è im pel len te: i va ri co di ci agli el em en ti fi ni ti de vo no di a lo ga re tra lo ro, e de vo no di a lo ga re con i pro gram mi di CAD. L'ut en te do ta to del pro gram ma "al fa" che si tro vi a do ver ri so l ve re un pro bl e ma che so lo "be ta" ri so l ve, deve po ter tra s fe ri re in mo do au to ma ti co i su oi da ti ed il su o la vo ro al pro gram ma "be ta". In que sto mo do il ser vi zi o re so a chi usa i pro gram mi sa rà dav ve ro va li do, e le pun te di ef fi ci en za di un pro gram ma sa ran no di spo ni bi li a tut ti gli al tri.

#### Con cl usi o ne.



I quattro aspetti sopra richiamati non esauriscono l'insieme di necessità oggi esistenti, ma descrivono in modo sufficiente cosa si intenda per software orientati alla comunicabilità ed al controllo dei dati, nel campo della ingegneria strutturale. Forse, oltre alla precisione e la versatilità, non è da trascurare la maneggevolezza, se si vuole davvero che il metodo degli elementi finiti divenga patrimonio comune, piuttosto che palestra per iniziati.

Non ci paiono lontani i tempi in cui si potranno fare (pre e postprocessing inclusi) 5 analisi in un'ora, variando parametricamente le dimensioni, i tipi sezionali, le tipologie costruttive, ottenendo poi una stima ragionevole dei costi, e l'insieme dei disegni esecutivi, in output: la progettazione di software con queste capacità è attualmente il nostro obiettivo e la nostra speranza.

### 5.3 Brevissima storia dei programmi di calcolo

#### BREVISSIMA STORIA DEI PROGRAMMI PER L'ANALISI STRUTTURALE

Il primo rilevante programma di calcolo per l'analisi strutturale fu NASTRAN, sviluppato alla fine degli anni '60 alla NASA e scritto in FORTRAN. NASTRAN viene usato ancora oggi, sebbene sia di uso piuttosto difficoltoso. La sua estrema importanza è dovuta al fatto che esso costituisce uno standard ed un programma di sicura attendibilità: molte grosse strutture, pertanto, richiedono che i calcoli siano fatti usando NASTRAN.

NASTRAN è tuttavia un programma che per la sua estrema ampiezza e difficoltà d'uso, nonché per il suo costo, non si rivolge alla maggioranza degli utenti.

Un primo, importantissimo passo verso una maggior facilità d'uso e verso la possibilità d'impiego su piccoli calcolatori è dovuto a SAP (Structural Analysis Program). SAP è stato sviluppato dai Professori Bathe, Wilson e Peterson dell'università di Berkeley: la sua prima versione risale al Settembre 1970. La versione solida di SAP (SAP II) è del 1971. Ad esso seguono SAP III e SAP IV, nel 1973.

SAP è il primo programma d'uso relativamente facile capace di "girare" su piccoli computer. Esso diviene rapidamente uno standard d'importanza mondiale mentre i suoi autori si separano per dar vita, il Professor Bathe ad ADINA, evoluzione di NONSAP, ovvero un

programma dedicato a tutti gli aspetti nonlineari; il Professor Wilson a SAP80 e SAP90, programmi lineari che, attraverso una flessibilizzazione degli input (non più file formattati ma file a keyword in formato libero), cercano di proporsi come programmi facili da usare ed a basso costo.

Nel frattempo vengono creati altri importanti codici dei calcolo, come ABAQUS del Prof. Hibbit, e ANSYS dalla Swanson Analysis System Inc. (ma anche ETABS, COSMOS, ecc.).

Con i primi anni '80 arrivano due importanti novità: i personal computer si diffondono in tutto il pianeta, e la grafica al computer diviene accessibile a tutti. Mezzo di quest'ultima rivoluzione è da un lato l'affermarsi di schede grafiche tipo EGA e poi VGA, dall'altro il diffondersi tra gli sviluppatori del linguaggio C prima, e del C++, poi.

Il considerevole patrimonio algoritmico accumulatosi nel frattempo nei programmi anzidetti si è pertanto improvvisamente trovato privo di interfacce adeguate verso l'utente. È così cominciato da un lato un processo di traduzione e revisione delle interfacce grafiche dei programmi creati negli anni '70, dall'altro lo sviluppo di nuovi programmi *user friend*, candidati ad essere strumenti di notevole semplicità d'uso (iniziatori di questo filone sono gli americani della ALGOR, che sfruttando SAP IV come nucleo numerico, creano al principio degli anni '80, SUPERSAP).

Il resto è storia recente.

## 5.4 Introduzione al metodo degli elementi finiti (in progress): Capitolo 1

Paolo Rugarli

Il lavoro qui presentato in forma iniziale è stato poi ampliato ed è divenuto un libro di spiegazioni sugli elementi finiti.

Il testo è:

Paolo Rugarli

Calcolo Strutturale con gli Elementi Finiti  
EPC libri, ROMA, 2003  
Esso include una versione limitata di Sargon fino a 50 nodi

## SPLINE

Introduzione al Metodo degli Elementi Finiti  
applicato alla ingegneria strutturale

### INDICE

#### CAPITOLO 1

#### INTRODUZIONE AL METODO

	1.1	Introduzione	
	1.2	Una similitudine	
	1.3	Le tappe fondamentali	
	1.3.1	Scelta del modello matematico	
	1.3.2	Scelta del tipo di elemento	
finito			
	1.3.3.	Meshing	
	1.3.4	Attribuzione delle proprietà	
	1.3.5	Attribuzione dei vincoli.	
	1.3.6	Descrizione dei carichi	
	1.3.7	Rinumerazione dei nodi e	
formazione dei vettori.			
	1.3.8	Assemblaggio	
	1.3.9	Soluzione	
	1.3.10	Stress recovery	
	1.3.11	Output. e interpretazione dei	
risultati.			

#### CAPITOLO 2

## GLI ELEMENTI.

	2.1	Introduzione	
	2.2	Biella	
	2.2.1	Lineamenti generali	
	2.2.2	C-bielle ed S-bielle	
	2.2.3	Labilita' connesse all'uso	
improprio delle bielle			
	2.3	Trave	
	2.3.1	Lineamenti generali	
	2.3.2	Elemento trave e trave reale	
	2.3.3	Trave o biella ?	
	2.3.4	Il problema dell'orientazione	
degli assi locali			
	2.3.5	Le sconnessioni ortogonali	
	2.3.6	Le sconnessioni oblique	
	2.3.7	Il fattore di taglio	
	2.3.8	Eccentricita'	
	2.3.9	Carichi "distribuiti"	
	2.4	Molla	
	2.4.1	Lineamenti generali	
	2.4.2	Molle non a terra	
	2.5	Membrana	
	2.5.1	Lineamenti generali	
	2.5.1	Le membrane nella	
modellazione di edifici			
	2.5.2	Labilita' connesse all'uso	
improprio delle membrane			
	2.6	Piastra-Guscio	
	2.6.1	Lineamenti generali	
	2.7	Elementi solidi	
	2.7.1	Lineamenti generali	
	2.8	Stati piani di sforzo e deformazione	
	2.8.1	Lineamenti generali	
	2.9	Elementi speciali	
	2.9.1	MPC	
	2.9.2	Elementi su suolo elastico	

## CAPITOLO 3

## I VINCOLI.

- 3.1 Formulazioni e maschere di vincolo
- 3.2 Vincoli fissi
- 3.3 Vincoli obliqui: come modellarli
- 3.4 Vincoli cedevoli
  - 3.4.1 Cedimenti vincolari
  - 3.4.2 Interazione suolo-struttura

## CAPITOLO 4

## LE AZIONI.

- 4.1 Classificazione
- 4.1 Forze o coppie nodali
- 4.2 Carichi distribuiti sugli elementi
- 4.3 Carichi a regione
- 4.4 Coazioni
- 4.5 Sisma
- 4.6 Azioni applicate e reazioni vincolari
- 4.7 Il concetto di "caso di carico"

## CAPITOLO 5

## PROBLEMI DI MODELLAZIONE E DI MESHING.

- 5.1 Raffinatezza della discretizzazione
- 5.2 Modelli piani o tridimensionali ?
- 5.3 Nodi doppi
- 5.4 Elementi doppi
- 5.5 Riconoscimento di labilita'
- 5.6 Violazioni della congruenza

## CAPITOLO 6

## SOLUZIONE NUMERICA DI PROBLEMI STATICI

- 6.1 Caratteristiche numeriche del problema
  - 6.1.1 Occupazione su disco fisso
  - 6.1.2 Ottimizzazione di banda o di

profilo

6.2	Accuratezza della soluzione: come valutarla?
-----	--

## CAPITOLO 7

### L'ANALISI MODALE

7.1	Introduzione all'analisi modale
7.2	Le masse
7.2.1	Approccio <i>lumped</i> e <i>consistent</i>
7.2.2	Quanta massa?
7.3	Lo smorzamento
7.4	Bontà' della soluzione: massa partecipante
7.5	Il problema della sovrapposizione dei modi.
7.6	Analisi passo-passo

## CAPITOLO 8

### L'ANALISI DI BUCKLING

8.1	Introduzione all'analisi di buckling
-----	--------------------------------------

## CAPITOLO 9

### LE VERIFICHE STRUTTURALI

9.1	Verificatori e solutori
9.2	Programmatori e Normatori
9.3	Il ritorno dell'arbitrio.

## APPENDICE 1

### RICHIAMI DI TEORIA DELL'ELASTICITA'

## APPENDICE 2

### DIZIONARIO MINIMO

# 1. Introduzione al Metodo

## 1.1. Introduzione

Negli anni '80 si è assistito ad una progressiva diffusione del Metodo degli Elementi Finiti o brevemente, Metodo, tra i professionisti e le imprese (società di *engineering* e imprese di costruzioni). Si può

dire che la diffusione dei programmi agli elementi finiti sia cominciata già negli anni '70 mediante il celeberrimo SAP (*Structural Analysis Program*). Tuttavia, la difficoltà d'uso e la scarsa disponibilità di mezzi di calcolo al di fuori delle strutture universitarie, fecero sì che la diffusione del Metodo fosse abbastanza limitata.

Va detto peraltro che anche la *domanda* di analisi agli elementi finiti era limitata: le norme non chiedevano calcoli di quel genere, e la committenza non esigeva - se non in casi molto particolari - relazioni di calcolo contenenti elaborati complessi. Era il tempo dei prontuari della più varia specie, di quelle opere, in auge sin dal secolo scorso, aventi l'obiettivo di campionare i casi più frequenti per offrire una rapida guida all'ingegnere non più freschissimo sul *principio dei lavori virtuali*, e giustamente privo della voglia di risolvere a mano un *sistemino* di cinque o dieci incognite.

La progressiva diffusione del Metodo ha comportato una evoluzione delle normative, che oggi richiedono calcoli sempre più sofisticati e sempre meno affrontabili a mano; una maggior domanda di risultati generali e comprensibili in forma sintetica (mappe a colori, deformate, diagrammi di azioni interne ecc.); la rapida obsolescenza degli strumenti redatti in forma tabellare, divenuti presto più difficili da usare e meno generali del Metodo, implementato su un buon programma dotato di interfaccia grafica.

Diverso è invece il discorso da fare allorché il Metodo venga impiegato per mezzo di programmi difficili da usare (poco *user friendly*): in tal caso per trar vantaggio dal Metodo si richiede una professionalità specifica, assai poco diffusa. Ciò sia perché per la diffusione non v'è stato tempo (molti professionisti non hanno potuto seguire corsi universitari sull'argomento), sia perché la gestione di un programma agli elementi finiti può rappresentare soltanto una parte del lavoro da svolgere: si pensi a quei professionisti che fanno i calcoli ma anche tante altre cose, e non hanno quindi il tempo per dedicarsi completamente all'apprendimento del metodo e del programma di calcolo in loro possesso che ne consente l'impiego.

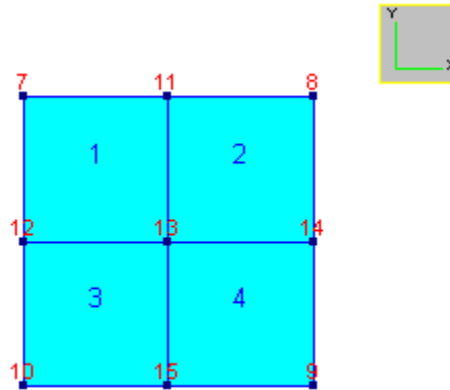
## 1.2. Una similitudine

Alla base dell'astrologia v'è la convinzione di poter prevedere e interpretare i destini di un individuo (o di un gruppo di individui), sulla base del moto relativo di un certo insieme di corpi astronomici come le stelle, i pianeti, ecc.. L'intero insieme dei piccoli e grandi fatti della vita sarebbe governato dal moto di una ventina di pianeti, nello spazio.

L'idea è antichissima e durevole: ancora oggi le riviste ammanniscono previsioni, ed una sorta di professionisti dell'interpretazione, gli astrologi, incassano lauti profitti.

Non è affar nostro entrare nel merito, se non quanto basta per dire che tra il Metodo degli elementi finiti e l'astrologia vi è un punto di contatto: anche il Metodo pretende di conoscere nel dettaglio una situazione complessa -quanto avviene all'interno di un pezzo di struttura (un singolo *elemento finito*)-, e ciò sulla base del moto relativo di pochi punti appartenenti al pezzo stesso. I punti si chiamano *nodi*, e la predizione avviene -non diversamente che per l'astrologia- sulla base di un arbitrio: l'ipotesi che gli spostamenti di tutti i punti interni all'elemento finito seguano una certa legge matematica (ad esempio che gli

spostamenti varino linearmente o parabolicamente). Chiameremo brevemente e confidenzialmente tale assunzione *principio astrologico*.



#### *Quattro elementi piastra con i loro nodi*

A differenza dell'astrologia il Metodo serve per risolvere un sistema di equazioni differenziali di forma conosciuta, ed è quindi possibile valutarne l'efficienza o -se si preferisce- l'esattezza. Così facendo si può vedere che il metodo funziona. O per meglio dire: si può dimostrare che all'aumentare del numero di elementi (che diventano sempre più piccoli), la soluzione approssimata converge alla soluzione esatta.

Come mai, pur partendo da un arbitrio il metodo funziona ?

La risposta, come vedremo, va cercata nel fatto che gli elementi finiti possono essere resi piccoli quanto si vuole, in modo tale che la risposta "esatta" sia sufficientemente assimilabile, all'interno dell'elemento, al campo di spostamenti la cui forma è stata arbitrariamente ipotizzata. È un pò come rendere un'immagine complessa per mezzo di tanti pixel rettangolari colorati disposti su un reticolo: se i pixel sono sufficientemente numerosi l'immagine verrà ben risolta, sino a far completamente dimenticare il modo in cui è stata ottenuta. Se invece i punti sono insufficienti, l'immagine risulta visibilmente "seghettata", ed è chiaro il modo con il quale è stata ottenuta.

Questo tipo di approccio ricorda molto da vicino l'interpolazione, con in più il vantaggio di poter scegliere i punti ove campionare la funzione incognita. Come vedremo questi punti prendono il nome di *nodi*, e la loro collocazione sulla struttura è effettivamente decisa da noi.

Nel descrivere come il Metodo funzioni e cosa occorre tenere presente per far funzionare un programma di calcolo, procederemo per approssimazioni successive, approfondendo via via i concetti esposti.

Innanzitutto occorre chiarire quali siano le caratteristiche generali del problema che intendiamo risolvere: noi tratteremo problemi di elasticità lineare in ambito statico. Supporremo inoltre valida l'ipotesi di piccoli spostamenti, che ci consente di scrivere le equazioni di equilibrio rispetto alla configurazione indeformata (in molti casi ciò non è possibile: si pensi ad un cavo teso sotto l'azione del suo peso). In un capitolo a parte verrà trattata, come estensione, anche l'analisi modale e a spettro di risposta.

In questi termini il problema si pone così: *dato un corpo od un insieme di corpi variamente vincolati, soggetti ad un insieme di azioni applicate quasi staticamente, e realizzati con materiali soddisfacenti la teoria dell'elasticità lineare, supponendo che gli spostamenti del sistema siano talmente*



*piccoli da consentire di scrivere le equazioni di equilibrio rispetto alla configurazione indeformata, qual'è la risposta del sistema all'applicazione delle azioni, in termini di spostamenti, sforzi e deformazioni?*

Complementare rispetto al precedente, e non meno importante è il quesito successivo, di cui ci occuperemo in un capitolo ad hoc: *la struttura è in grado oppure no di sopportare gli spostamenti, gli sforzi e le deformazioni conseguenti all'applicazione delle azioni?*

Una prima domanda sorge spontanea: cosa bisogna fare per descrivere correttamente il problema da risolvere? Quali sono poi i successivi passi da compiere per risolvere il problema?

Sintetizzando in modo brutale possiamo dire così.

Il Metodo consiste nel dividere in pezzi la struttura, postulando contestualmente di saper descrivere mediante regole semplificate gli spostamenti gli sforzi e le deformazioni all'interno di ciascun pezzo (che diventa così un *elemento finito*). Per poter essere applicate, tali regole richiedono esclusivamente la conoscenza degli spostamenti di pochi punti appartenenti all'elemento (i *nodi*). I carichi applicati alla struttura vengono poi trasformati in forze e coppie agenti sui nodi. Ciò fatto s'impone l'equilibrio di tutti i nodi della struttura.

Tenuto conto che:

- 1) le forze esterne applicate ai nodi sono equilibrate dalle reazioni degli elementi sui nodi;
- 2) le reazioni di ogni elemento sui propri nodi dipendono dallo spostamento relativo dei nodi stessi dell'elemento: esse sono valutate sulla base delle regole semplificate tipiche dell'elemento finito in esame (principio astrologico);

tenuto conto di ciò, per soddisfare l'equilibrio di tutti i nodi è necessario risolvere un sistema che ha come termine noto il vettore delle forze e coppie applicate ai nodi ( $p$ ), e come vettore incognito l'insieme delle traslazioni e delle rotazioni dei nodi ( $u$ ). La matrice dei coefficienti di questo sistema ( $K$ ) prende il nome di *matrice di rigidezza globale*.

$$Ku = p$$

Risolto il sistema, e noti quindi gli spostamenti dei nodi di ogni elemento, sulla base delle regole semplificate tipiche dell'elemento in esame è noto quanto avviene all'interno dell'elemento stesso, e ciò in termini di spostamenti, deformazioni e sforzi. Non resta che memorizzare questi risultati su file opportuni, per tutti gli elementi di cui è composta la struttura.

In quanto precede è fondamentale capire il fatto che spostando un nodo qualsiasi si comunicano delle (re)azioni anche a nodi molto distanti, purchè questi siano uniti al nodo-origine tramite degli elementi. Immaginate di essere sull'ultimo vagone di un treno: vi sarà capitato di essere brutalmente sballottati verso il vostro incolpevole vicino in modo del tutto insospettabile. In effetti sull'ultimo vagone si sono scaricate le reazioni di tutti i vagoni precedenti, reazioni dovute al fatto che il locomotore, cento metri più avanti, si è mosso.

Ciò che è stato qui detto in brutale sintesi richiede di essere approfondito. Per farlo esaminiamo uno per uno i passi necessari per arrivare dall'inizio alla fine.

### 1.3. Le principali tappe

Volendo descrivere per sommi capi quanto avviene in un normale programma ad elementi finiti, torna utile fare le seguenti due ipotesi:

- a) il problema sia descrivibile mediante un unico insieme di equazioni (sia cioè un problema di piastra, di lastra, un problema solido, ecc.);
- b) si usi un unico tipo di elemento finito.

Vedremo nel seguito come questo schema possa essere generalizzato per trattare i casi in cui le due ipotesi precedenti non sono valide.

Ciò detto le tappe fondamentali sono:

- 1) **Scelta del modello matematico più adatto per il problema in esame.**
- 2) **Scelta del tipo di elemento finito più adatto per il problema in esame.**
- 3) ***Suddivisione della struttura in elementi finiti (meshing).***
- 4) **Attribuzione delle caratteristiche di geometria e di materiale agli elementi finiti.**
- 5) **Attribuzione dei vincoli.**
- 6) **Descrizione dei carichi per ogni caso di carico.**
- 7) Rinumerazione dei nodi e formazione dei vettori.
- 8) Assemblaggio
- 9) Soluzione
- 10) Stress recovery
- 11) Output. e **interpretazione dei risultati.**

Ciascuna di queste tappe è fondamentale ed ineludibile: le tappe in grassetto sono compiute dall'analista, le altre sono invece eseguite automaticamente dal computer. La tappa 3) è in corsivo per ricordare che, oggi, è in parte compiuta in modo automatico dai programmi, seguendo comunque regole stabilite dall'analista.

La necessità di far compiere all'analista i passi 1)-6) e 11) rende il Metodo ancora poco diffuso e poco dominato. Infatti, in ognuna di tali fasi è possibile introdurre errori che si traducono in output inaffidabili o nell'impossibilità di risolvere il problema.

Per meglio comprendere analizziamo in dettaglio ognuno dei passi, riservandoci di approfondire ulteriormente in seguito i principi generali qui esposti.

#### 1.3.1. Scelta del modello matematico

Ogni problema di elasticità è a rigore un problema tridimensionale, e le equazioni che si applicano sono quelle generali della teoria dell'elasticità. Tuttavia, in moltissimi casi il problema si pone in modo tale da

consentire l'uso di una delle numerose trattazioni approssimate o particolarizzate descritte in teoria, consentendo numerose semplificazioni. Possiamo elencare brevemente le teorie che vengono più frequentemente impiegate:

- **teoria tecnica della trave;**
- **stato piano di sforzo;**
- **stato piano di deformazione;**
- **assialsimmetria;**
- **teoria della piastra sottile (Germaine-Kirchhoff);**
- **teoria della piastra spessa (Mindlin-Reissner).**

La scelta di una delle formulazioni precedenti porta inevitabilmente con sé delle approssimazioni, che è compito dell'analista valutare correttamente. Ad esempio, un piastrone di fondazione potrà forse trovarsi in una situazione molto vicina a quella di piastra sottile, mentre difficilmente ciò sarà vero per un plinto di fondazione. Saper dominare gli effetti di una scelta di formulazione rientra nei compiti del bravo analista.

Gli errori dovuti ad una formulazione inadatta restano immutati al variare della discretizzazione, e, in generale, dipendono debolmente dal tipo di elemento finito prescelto. Per quanti elementi si siano usati nel suddividere il plinto, se l'elemento piastra non è quello adatto la risposta calcolata sarà solo pallidamente vicina a quella "esatta".

Il motivo per cui non si usano sempre gli elementi più generali, ovvero gli elementi che suddividono il solido in piccoli solidi (elementi brick), è duplice: per un verso ciò dipende dalla maggior quantità di calcoli che si dovrebbe fare e dal maggior volume di dati che si dovrebbero trattare; per un altro verso ciò dipende dal fatto che la risposta si presenterebbe naturalmente più complicata, anche allorché della risposta fosse interessante la parte coerente e organizzata: si pensi ad una capriata, nessuno farebbe un modello tridimensionale per valutare le azioni assiali.

Sebbene quanto detto possa sembrare scontato, si tenga presente che molti errori di modellazione derivano da un uso improprio delle formulazioni precedentemente elencate. Al quesito "bisogna usare una lastra o una piastra?" non tutti gli utenti degli elementi finiti sanno immediatamente dare una risposta.

In Appendice II il lettore meno esperto troverà un riepilogo delle formulazioni precedentemente elencate, con qualche utile osservazione a riguardo. Nel prosieguo daremo per scontato che le differenze tra le varie formulazioni siano chiare.

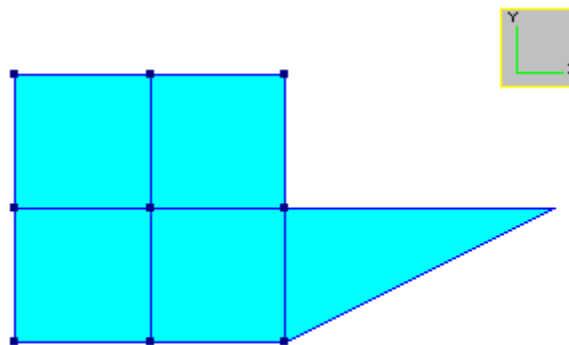
### **1.3.2. Scelta del tipo di elemento finito**

Una volta fissato l'inquadramento teorico del problema, e pertanto le equazioni che si intende risolvere, è necessario scegliere il tipo di elemento finito con il quale eseguire l'analisi.

I programmi più diffusi lasciano poca libertà nella scelta degli elementi finiti: essi normalmente propongono uno o al più due tipi di elemento, e l'utente deve scegliere. Programmi più evoluti (ma anche più costosi e più difficili da usare) lasciano invece una piena libertà di scelta all'interno di una varietà ampia di possibilità.

Per la teoria tecnica della trave la scelta va o sull'elemento biella (truss), che della trave modella il solo comportamento assiale, o sul più generale elemento trave (beam), con sei componenti di sollecitazione. Sebbene questi elementi siano ben diversi e di uso abbastanza intuitivo, si constata che tra i professionisti non esperti che devono usare il metodo v'è una certa confusione. Più avanti verrà chiarito l'insieme delle differenze tra questi due elementi. Per ora occorre solo rilevare che - in modo affine alla scelta della formulazione-, la scelta di un elemento finito sbagliato o inadatto porta a conseguenze irreparabili: il modello può essere labile o, peggio, intere parti della risposta possono perdersi, facendo calcolare una risposta assai discosta da quella esatta. Estremizzando si pensi, ad esempio, ad una trave Vierendeel schematizzata con le briglie fatte da elementi trave, e le aste di parete modellate con elementi biella: l'intero tipico regime di sollecitazione di una trave siffatta andrebbe perso.

La scelta del corretto elemento finito riguarda anche i problemi piani o quelli di piastra. In quest'ultimo caso, in particolare, la presenza di numerosi tipi di elemento rende il compito particolarmente delicato. Per gli stati piani la scelta è spesso tra elementi a tre nodi (constant strain) ed elementi a quattro nodi (linear strain).

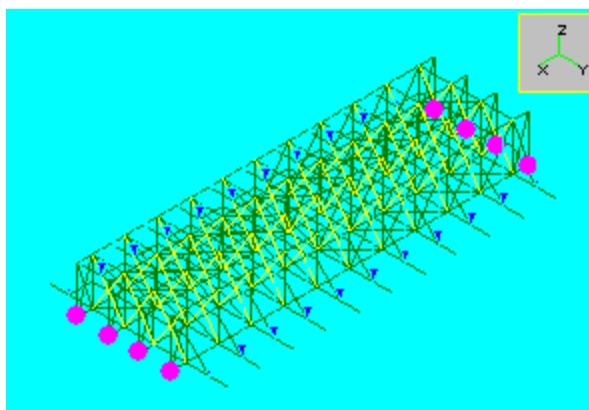


#### *Elementi quadrangolari a 4 nodi e triangolare a 3 nodi*

In un problema reale si possono usare tipi diversi di elemento per zone diverse del modello. Anzi, il bravo analista sfrutta tale possibilità a proprio piacimento, al fine di ottimizzare la modellazione. In questa prima descrizione generale del Metodo supporremo invece, per semplicità, che la struttura sia modellata usando un solo tipo di elemento finito.

### **1.3.3. Meshing**

Una volta scelta la formulazione ed il tipo di elemento finito, è necessario dividere la struttura in parti o *elementi finiti*. La suddivisione (o con termine inglese diffusissimo la *mesh*) non può essere fatta a caso ma deve seguire un certo insieme di regole.



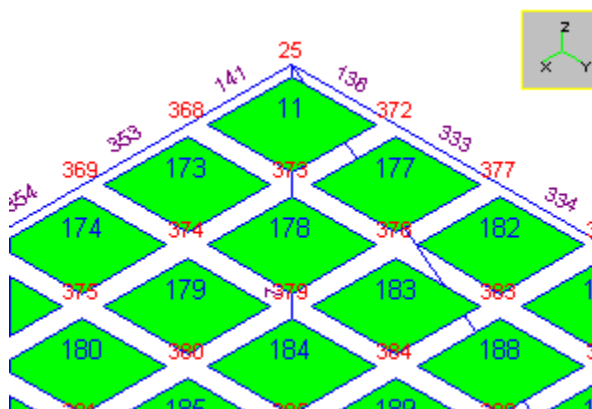
*La mesh della copertura del Casinò di Campione (progetto di massima)*

La prima regola dipende dal fatto che i singoli elementi finiti devono avere una forma compatibile con il loro tipo. Per esempio, usando ordinari elementi trave non è possibile schematizzare un arco usando elementi curvi: gli elementi devono essere di forma rettilinea. Oltre a non avere una forma diversa da quella possibile, gli elementi finiti non devono essere troppo distorti o presentare, al loro interno, delle singolarità.



*Elemento triangolare eccessivamente distorto*

Ad esempio, un elemento triangolare con angoli pari a 89.5 89.5 e 1 grado è inefficiente perchè troppo distorto.



### Numerazione di nodi ed elementi

Ogni nodo esistente in un modello viene individuato dal numero progressivo ad esso attribuito. L'insieme dei nodi esistenti in un modello e delle loro coordinate rispetto al sistema di riferimento assunto prende il nome di *tabella delle coordinate*.

Non possono esistere due nodi con lo stesso numero progressivo.

Possono esistere due nodi diversi nello stesso punto dello spazio, in tal caso si parla di *nodi doppi*.

Gli elementi finiti possono essere monodimensionali, bidimensionali o tridimensionali. Certi elementi finiti sono puntiformi (0 dimensionali), ma di questi per ora non parleremo.

Ogni elemento monodimensionale è definito da un certo numero di nodi e da un tipo. Noto il tipo è noto come connettere i nodi in modo da descrivere la geometria dell'elemento. Gli elementi rettilinei (i più usati) hanno un asse definito da due nodi. La forma dell'elemento è pertanto definita da due nodi.

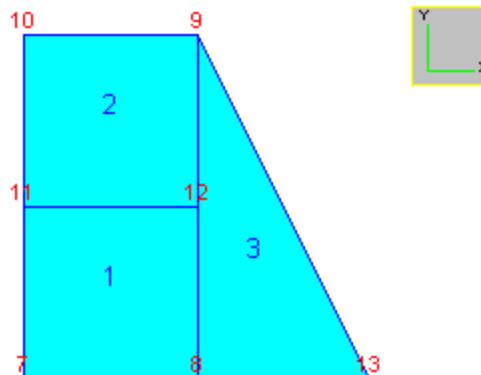
Gli elementi bidimensionali (come le piastre o le membrane), sono definiti da un certo numero di lati. Su ogni lato, oltre ai due estremi, è definito un certo numero di punti notevoli, che prendono il nome di nodi. A ben vedere, noto il tipo di elemento e noti i nodi del lato, questo è univocamente definito, pertanto noto il tipo dell'elemento, la sua geometria è univocamente definita dai suoi nodi.

Gli elementi tridimensionali sono definiti da un certo numero di facce, delimitate da lati, definiti da nodi. Ogni faccia ha in comune con un'altra faccia un lato, definito da due o più nodi. Noto il tipo di elemento i lati definiscono univocamente ogni faccia, e quindi, in definitiva, si può dire che la forma di ogni elemento di cui sia noto il tipo è univocamente determinata una volta noti i nodi dell'elemento.

*Pertanto in generale dato un tipo di elemento (trave, biella, CST, ecc.) la sua forma è univocamente definita dai suoi nodi e dal loro ordinamento.*

La tabella che per ogni elemento di un certo tipo specifica quali siano ordinatamente i suoi nodi, prende il nome di *tabella delle incidenze*.

Due elementi si dicono *connessi* se hanno in comune almeno un nodo. La connessione però può essere incompleta o mal realizzata, in certi casi.



*Esempio di connessione errata tra elementi: i lati sono parzialmente connessi*



A priori non è possibile dire con certezza se una mesh sia sufficientemente fitta oppure no. Per decidere se la discretizzazione sia sufficiente si usa spesso costruire una nuova mesh, che contenga tutti i nodi della mesh originaria più un insieme di nuovi nodi, in modo da confrontare i risultati ottenuti con le due mesh: quella più rada e quella più fitta. Se la variazione dei risultati è ovunque modesta si può ritenere di aver ottenuto risultati accettabili, viceversa è necessaria una terza mesh, più fitta della seconda, e così via sino ad ottenere la precisione cercata (*rimeshing*). Attualmente, alcuni programmi sono in grado di eseguire il rimeshing in modo completamente automatico, in quanto memorizzano la geometria del problema sotto forma di primitive grafiche, non solo sotto forma di nodi ed elementi (*solid modeling*). Diversamente il rimeshing richiede un lento lavoro di rimodellazione.

La suddivisione della struttura in elementi ha comunque come risultato un insieme di nodi con la tabella delle coordinate, ed un insieme di elementi con la tabella delle incidenze. Queste due tabelle, scritte in vario modo costituiscono la maggior parte del file di input di un qualunque programma agli elementi finiti.

#### **1.3.4. Attribuzione delle proprietà**

Una volta definita la forma degli elementi finiti occorre stabilire le caratteristiche di geometria e di materiale di ogni singolo elemento. Per "caratteristiche di geometria" si intende il fatto che per alcuni elementi finiti (la maggior parte), non basta specificare la forma per sapere con precisione quale sia la parte di materia che l'elemento simula. In molti casi occorre fornire dei dati aggiuntivi, come lo spessore degli elementi piastra-guscio o membrana, le aree o i momenti di inerzia per gli elementi trave, e così via. Si noti che nello specificare tali caratteristiche occorre non tanto simulare la realtà fisica, quanto tarare correttamente il comportamento di un elemento. Ad esempio, per una piastra dotata di irrigidimenti, lo spessore, che pure occorre fornire se si usa un elemento piastra, ha solo un valore numerico: non è il vero spessore delle piastra reale, che non è definito. Anche per questo motivo l'input dei dati relativi a spessori, momenti di inerzia, aree di taglio non è sempre agevole.

Un secondo elemento di difficoltà è legato alla possibilità di fare errori (anche solo di calcolo o di battitura). I programmi più recenti sono dotati di archivi che consentono di attribuire le caratteristiche degli elementi richiamandole da file opportuni. I programmi degli anni '70, invece, richiedendo di scrivere un file formattato di input possono creare qualche problema.

Oltre alle caratteristiche geometriche vanno attribuite le caratteristiche di materiale. In generale infatti, ogni elemento finito potrebbe avere un proprio materiale. Più spesso vi sono gruppi di elementi con materiale affine, i quali simulano parti diverse della struttura (si pensi, ad esempio, ad una struttura mista acciaio-calcestruzzo). Per questo motivo, generalmente, le caratteristiche di materiale sono definite per un *gruppo* di elementi di tipo affine. La definizione del materiale nell'ambito del Metodo, e dei programmi di calcolo che usano il Metodo, non è, come si potrebbe credere, simile alla definizione teorica del materiale (isotropo anisotropo, ortotropo con tutte le costanti del caso): essa ha un senso convenzionale, dovuto al fatto che per definizione certi elementi finiti hanno senso per particolari tipi di materiale, del quale comunque utilizzano pochi parametri, non tutti. Ad esempio, un elemento biella utilizza il solo modulo di elasticità di



Young relativo alla direzione definita dall'asse della biella. In questo caso l'eventuale anisotropia del materiale non rileva, in quanto del materiale interessa il solo comportamento lungo l'asse della biella stessa. Inoltre, non occorre specificare nè il coefficiente di Poisson nè il modulo di elasticità tangenziale, che non entrano nella formulazione dell'elemento. Può invece essere utile, per valutare il peso dell'elemento o la sua massa, la densità del materiale, che infatti viene generalmente richiesta. Nel caso dell'elemento trave, invece, si fa implicitamente l'ipotesi che il materiale sia omogeneo ed isotropo, e ciò anche se sarebbe piuttosto semplice trattare un elemento con materiale ad esempio ortotropo. Semplicemente, l'elemento è implementato in questo modo.

I programmi in generale non esauriscono l'insieme delle possibili scelte: ne forniscono alcune, spesso le più note o le più utili. Si tenga anche presente che un corretto impiego delle costanti di materiale e di quelle geometriche consente spesso di modellare situazioni apparentemente non modellabili. Ad esempio, nel caso della trave con materiale ortotropo sarebbe sufficiente tarare in modo opportuno i momenti di inerzia per modellare correttamente questa situazione.

Per quanto detto appare evidente che la fase di attribuzione di materiali e geometria agli elementi è una fase molto delicata, che può richiedere sottigliezza o, addirittura veri e propri *trucchi*, volti ad ottenere modellazioni significative: è pertanto della massima importanza capire bene non solo come funziona ogni singolo elemento finito, ma anche come è stato implementato nel programma di cui si dispone. Qui basterà ripetere che tali caratteristiche non vogliono essere realistiche se non in modo indiretto, consentendoci di tarare il comportamento degli elementi a nostro piacimento. Il loro scopo è *modellare*, non fotografare. Esse vanno quindi intese più come i pulsanti necessari a teleguidare un aeroplanino che come puntuali riferimenti alla teoria.

### 1.3.5. Attribuzione dei vincoli

Definiti completamente gli elementi finiti, occorre specificare quali siano i vincoli a cui è soggetta la struttura. I vincoli nella realtà fisica possono riguardare punti, segmenti o superfici. Nell'ambito del Metodo i vincoli riguardano sempre solamente i nodi. Ciò non significa che le situazioni reali più generali non possano essere modellate: vuol dire semplicemente che per farlo nell'ambito del Metodo occorrerà vincolare un certo numero di nodi. In alcuni casi, come si vedrà meglio nel cap. 3, per modellare compiutamente certe situazioni di vincolo occorre aggiungere elementi oltre a vincolare nodi, tuttavia il concetto di *vincolo* viene direttamente applicato solo ai nodi.

I vincoli dei nodi possono riguardare uno o più dei possibili movimenti del nodo. In generale un nodo ha sei gradi di libertà, vale a dire sei diverse possibilità di movimento: vincolandolo le sue possibilità di movimento possono scendere a cinque, quattro..., fino ad annullarsi del tutto. I sei gradi di libertà tipici di un nodo sono: le tre traslazioni secondo le direzioni  $x, y, z$  del sistema di riferimento globale; le tre rotazioni attorno ad assi diretti come  $x, y, z$ . Vincolare una di queste componenti significa porla eguale a zero.

Il numero dei vincoli posti sui nodi della struttura influenza direttamente, come vedremo, la dimensione del problema matematico da risolvere. Se tutti i nodi fossero vincolati non esisterebbe alcun problema da risolvere (e neanche, in generale, sforzi o deformazioni *sul modello*). Il problema matematico in

questione è un sistema di equazioni lineare, avente un numero di incognite pari al numero di gradi di libertà dei nodi, vale a dire la somma di tutti i gradi di libertà di tutti i nodi della struttura. Ogni componente di spostamento vincolata implica, come vedremo, un'equazione in meno.

Se i vincoli sono insufficienti oppure mal posti il problema può diventare irrisolvibile o inutile. Esso diventa irrisolvibile allorchè siano presenti delle *labilità*, vale a dire delle zone della struttura che si possono muovere senza che insorgano sforzi; diventa invece inutile da risolvere allorchè i vincoli siano stati messi in modo tale da travisare il comportamento strutturale, rendendo il modello inadeguato. Entrambi i casi si verificano -purtroppo- frequentemente. Più temibile appare il secondo, perchè in tal caso si possono ottenere risultati assurdi senza accorgersene.

### 1.3.6. Descrizione dei carichi

I *carichi* o più in generale le *azioni* presenti su una struttura sono generalmente raggruppate in *casi di carico*, intendendosi che tutte le azioni associate ad un caso di carico agiscono contemporaneamente. La risposta della struttura sarà dunque, in ossequio al principio di sovrapposizione degli effetti, la somma delle risposte della stessa struttura alle singole azioni. Quanto detto implica che se si vuol tenere distinte le risposte dovute a cause diverse, queste vanno messe in casi di carico differenti.

Le azioni possono essere di vario tipo: esse possono essere forze o coppie applicate direttamente a punti della struttura ove sono presenti nodi (*forze nodali*), oppure possono essere forze o coppie applicate a punti interni agli elementi finiti, o posti sul loro contorno, comunque in assenza di un corrispondente nodo: si parla in tal caso di *carichi distribuiti*. Sono altresì distribuiti i carichi di pressione applicati agli elementi (ad esempio un carico uniforme sull'asse di un elemento trave). Un particolare tipo di azione è il carico termico, che può in generale essere nodale o distribuito. Infine, sono azioni anche gli spostamenti imposti (ad esempio i cedimenti vincolari). Spostamenti imposti e carichi termici sono detti *coazioni*.

Come sarà chiarito in seguito tutte le azioni devono essere tradotte, attraverso un opportuno procedimento, in forze o coppie nodali, ad eccezione degli spostamenti imposti: lo spostamento anzichè essere posto eguale a zero viene posto eguale al valore assegnato.

Ad ogni caso di carico viene fatto corrispondere un *vettore delle forze nodali*, che riepiloga gli effetti complessivi delle azioni sui nodi (anche se le azioni sono distribuite). Tale vettore è il termine noto del sistema di equazioni che risolve la struttura per quel dato caso di carico, ed a esso corrisponde un vettore soluzione che contiene gli spostamenti di tutti i nodi. Ad ogni caso di carico corrisponde pertanto un vettore soluzione diverso. In generale se sono stati definiti  $n$  casi di carico occorre risolvere  $n$  sistemi lineari, aventi tutti la stessa matrice dei coefficienti e diversi vettori a termine noto: i vettori delle forze nodali corrispondenti al caso di carico in esame.

### 1.3.7. Rinumerazione dei nodi e formazione dei vettori

Una volta creati i casi di carico ed associati ad essi i carichi applicati, il problema può essere risolto. Il primo passo compiuto da ogni buon programma agli elementi finiti è la rinumerazione dei nodi e, in alcuni casi, la rinumerazione degli elementi. Scopo della rinumerazione è pervenire ad un sistema di equazioni

identico a quello originario, ma più facile da risolvere perchè la matrice dei coefficienti è dotata di una *banda* assai minore: si vedrà più in dettaglio nel cap.6 cosa questo significhi.

Lo sforzo in termini di tempo di calcolo necessario per rinumerare è sempre largamente inferiore al vantaggio ottenuto, e ciò benchè in genere la soluzione proposta dal rinumeratore non sia quella ottima (quella che dà la banda minima in senso assoluto).

La rinumerazione (o *renumbering*) viene effettuata facendo uso di criteri presi dalla teoria dei grafi ed è un passaggio estremamente delicato ed importante. In genere l'utente non può intervenire in alcun modo sulla rinumerazione, e quindi si ha quasi sempre una drastica riduzione dei tempi di calcolo e dell'occupazione su disco.

La rinumerazione richiede un aggiornamento della tabella delle incidenze e delle coordinate: in effetti un nodo che prima della rinumerazione aveva il numero  $n$ , dopo la rinumerazione ha invece il numero  $m$ , pertanto là dove compare il numero  $n$  occorre invece scrivere il numero  $m$ .

Dopo aver rinumerato, il generico solutore è in grado di costruire i vettori delle incognite e l'insieme dei vettori termine noto. Per fare ciò viene generalmente costruita una tabella che associa ad ogni equazione del sistema, ovvero ad ogni riga della matrice dei coefficienti, un particolare spostamento di un particolare nodo. Una riga della tabella potrebbe essere la seguente:

NODO	VECCHIO	Tx	Ty	Tz	Rx	Ry	Rz
113	1280	567	0	568	569	0	570

Ciò vorrebbe dire che la riga 568 della matrice dei coefficienti si riferisce alla traslazione x del nodo con numero 113 (che prima della rinumerazione aveva il numero 1280). Il numero 0 in corrispondenza alla traslazione y ed alla rotazione y indicano che non vi sono equazioni associate, poichè i due spostamenti sono impediti dai vincoli. Infine, alla riga 569 e 570 del sistema si trovano le rotazioni del nodo 113 secondo l'asse y e l'asse z. La tabella precedente si chiama spesso "*vettore I-D*", dal simbolo ID ad essa associato nei sorgenti SAP.

Dopo la rinumerazione, pertanto, è possibile associare in modo biunivoco una riga della matrice dei coefficienti ad una componente di spostamento incognito, ovvero ad un grado di libertà.

I vettori termine noto corrispondono alle forze nodali dovute ai carichi applicati direttamente ai nodi, ed ai carichi distribuiti. Esistono tanti vettori termine noto quanti sono i casi di carico. La parte di forze dovuta ai carichi direttamente applicati ai nodi può venir costruita in questa fase: se più forze insistono sullo stesso grado di libertà nello stesso caso di carico esse vengono sommate (in ossequio al principio di sovrapposizione degli effetti). La parte di forze nodali dovuta ai carichi distribuiti viene invece calcolata e sommata nel corso della fase successiva, vale a dire dell'*assemblaggio*.

### 1.3.8. Assemblaggio

L'assemblaggio è forse la fase del Metodo che richiede il maggior sforzo per essere compresa: in termini rozzamente esemplificativi potremmo dire che l'assemblaggio è il procedimento che crea la matrice dei coefficienti del sistema (*matrice di rigidezza globale*) e che completa i vettori termine noto della parte dovuta ai carichi distribuiti. In effetti se questo è l'effetto occorre capire *perchè* si fa questo e non altro. Per illustrare il significato dell'assemblaggio esistono vari approcci: noi faremo uso dell'*approccio statico* e dell'*approccio energetico*. Entrambi questi approcci verranno ulteriormente descritti in seguito, qui ci si vuole limitare a dare il senso delle cose, in poche parole.

Nell'approccio statico, l'assemblaggio è il procedimento che computa e somma, nodo per nodo, le forze che provengono al nodo stesso a causa del movimento degli altri nodi ed a causa dei carichi applicati. Le forze arrivano al nodo in esame tramite gli elementi ad esso connessi: le forze dovute agli spostamenti dei nodi connessi si chiamano *reazioni*; si chiamano invece *azioni* le forze dovute ai carichi applicati. Il singolo termine  $K_{ij}$  della matrice di rigidezza globale è eguale alla forza che occorre esercitare in direzione del grado di libertà  $i$  a causa dell'esistenza di un valore unitario di spostamento del grado di libertà  $j$ . Se il nodo associato al grado di libertà  $i$  tramite il vettore ID appartiene ad elementi che non sono connessi in alcun modo al nodo associato al grado di libertà  $j$ , allora  $K_{ij} = 0$ . Questo caso è molto frequente, ed infatti la matrice  $\mathbf{K}$  è in generale ricca di termini nulli (matrice *sparsa*). La somma di tutte le forze agenti sul grado di libertà  $i$ , a causa del movimento dei nodi (ovvero la somma delle reazioni) è data da

$$R_i = \sum_j K_{ij} u_j$$

dove la sommatoria è estesa a tutti i gradi di libertà della struttura ( $j=1, n$ ).

Sia  $f_i$  la somma delle azioni sul grado di libertà  $i$ . Perchè vi sia equilibrio l'azione deve essere eguale e contraria alla reazione, ovvero:

$$R_i = f_i$$

e quindi occorre risolvere il sistema, che ha per incognite gli  $n$  spostamenti  $u_i$

$$\sum_j K_{ij} u_j = f_i \quad (*)$$

Nell'approccio energetico l'assemblaggio è sostanzialmente visto come il procedimento che somma i contributi di ciascun elemento all'energia di deformazione elastica, ed al potenziale dei carichi (con il contributo dei carichi distribuiti).

In effetti l'energia di deformazione dell'intera struttura è data dalla somma delle energie di deformazione dei pezzi di cui è composta, e ciò semplicemente in base alla proprietà additiva degli integrali. Ognuno dei contributi  $E_e$  all'energia di deformazione totale viene espresso in funzione del vettore degli spostamenti nodali incogniti, nella veste di forma quadratica associata a una matrice quadrata di ordine pari al numero complessivo dei gradi di libertà, ovvero del tipo

$$E_e = \frac{1}{2} \mathbf{u}^T \cdot \mathbf{K}_e \cdot \mathbf{u} \quad (^{\wedge})$$

dove  $\mathbf{u}$  è il vettore degli spostamenti nodali incogniti, di dimensione  $n$ , e il generico elemento  $e$   $\mathbf{K}_e$  la *matrice di rigidezza espansa* del singolo elemento finito. Il motivo per cui l'energia di deformazione del singolo elemento finito dipende da una matrice, secondo quanto scritto nell'equazione precedente, verrà chiarito in seguito. Accettata la (^) l'energia di deformazione per l'intera struttura diventa

$$E = \sum_e \frac{1}{2} \mathbf{u}^T \cdot \mathbf{K}_e \cdot \mathbf{u} = \frac{1}{2} \mathbf{u}^T \cdot \mathbf{K} \cdot \mathbf{u}$$

Analogo principio vale per il potenziale dei carichi. Infatti per ogni elemento si può scrivere

$$P = \sum_e \mathbf{u}^T \cdot \mathbf{f}_e = \mathbf{u}^T \cdot \mathbf{f}$$

Impiegando il *principio di minimo dell'energia potenziale totale*  $\Pi$ , dove

$$\Pi = E - P$$

si vede che tale principio è soddisfatto se è vero che  $\mathbf{u}$  soddisfa la equazione matriciale (ovvero il sistema di equazioni algebriche)

$$\mathbf{K} \cdot \mathbf{u} = \mathbf{f} \quad (*)$$

dove  $\mathbf{K}$  è data proprio dalla somma delle matrici di rigidezza espanse dei singoli elementi.

In qualsiasi modo lo si ottenga, il sistema di equazioni (\*) dà il vettore degli spostamenti nodali incogniti, coi quali, in base al principio astrologico è possibile ottenere sforzi e deformazioni all'interno degli elementi.

Ritorniamo più avanti, e più in dettaglio, sull'assemblaggio. Qui basterà dire che il sistema (\*), in entrambe le forme in qui è stato scritto, è l'espressione discretizzata di principi fisici ben conosciuti, e che l'assemblaggio costruisce tale sistema in base a regole che dipendono da quei principi.

### 1.3.9. Soluzione

Una volta costruita la matrice del sistema e completati i vettori termine noto con l'effetto dei carichi distribuiti, un generico programma di calcolo risolve il sistema, calcolando tanti vettori di  $n$  incognite quante sono le condizioni di carico. Ognuno di tali vettori contiene  $n$  valori, che rappresentano gli spostamenti dei nodi secondo gli  $n$  gradi di libertà della struttura. Al termine della soluzione è pertanto noto di quanto si sia spostato ogni nodo in ogni condizione di carico. Lo spostamento è riferito al sistema di coordinate globale, è perciò uno spostamento assoluto: lo spostamento *relativo* di due nodi può tuttavia essere facilmente ottenuto a partire dai due spostamenti assoluti.

Della soluzione di sistemi sparsi, simmetrici ed a elevato numero di equazioni parleremo meglio più avanti. Qui basterà dire che la fase di soluzione vera e propria (solving) comporta problemi di occupazione della memoria RAM e di occupazione su disco che sono affrontati in un'ampia varietà di modi dai solutori disponibili sul mercato. Talvolta (spessissimo con certi programmi) la fase di solving è persino più rapida di quella successiva di *stress recovery*, pertanto un'eccessiva enfasi nel sottolineare la difficoltà del compito sembra oggi sporporzionata: risolvere un sistema di mille o tremila equazioni è oggi quasi lo stesso, e, si può dire, è un problema relativamente poco oneroso.

Se nel corso dell'attribuzione dei vincoli sono stati commessi degli errori, questi si evidenziano, ove ciò sia possibile, proprio nella fase di solving. È questa la situazione in cui "qualcosa non funziona", "il programma dà strani messaggi" e così via. Spesso il non esperto si ritrova fuori dal programma solutore e non sa perchè. Lasciando da parte le digressioni sulla amichevolezza del software, che pure sarebbero molto interessanti, diremo qui che quando questa circostanza si verifica essa è spessissimo dovuta a problemi di labilità. In effetti per evidenziare il problema è necessario assemblare la matrice di rigidità globale, perchè solo così si può constatare che non è invertibile, e che quindi il sistema non ha soluzione.

Terminata la fase di solving gli spostamenti vengono memorizzati su disco, e può cominciare la fase successiva: la *stress recovery*.

#### **1.3.10. Stress recovery**

Con la parola inglese *stress recovery* si suole intendere il procedimento che porta dagli spostamenti nodali agli sforzi negli elementi. In un certo senso tale procedimento può essere visto come un assemblaggio al contrario, una sorta di *disassemblaggio*, per dire che si va dai dati generali, propri a tutta la struttura, ai dati propri ai singoli elementi finiti, che vengono a questo punto considerati l'uno indipendentemente dall'altro, come piccoli microcosmi a sè stanti.

Nella stress recovery chi gioca un ruolo decisivo è il *principio astrologico*: dopo aver risolto il sistema, infatti, sono noti gli spostamenti che decidono cosa avviene all'interno dell'elemento finito: è sufficiente applicare le regole semplificate usando questi spostamenti per sapere, nei limiti dell'approssimazione del Metodo, quali siano gli sforzi le deformazioni e gli spostamenti di tutti i punti appartenenti all'elemento.

Poichè il principio astrologico prevede di conoscere gli spostamenti dei nodi dell'elemento, la prima cosa che occorre fare è estrarre dal vettore che dà gli spostamenti di tutti i nodi della struttura, il vettore, più piccolo, che dà gli spostamenti dei soli nodi dell'elemento. Spesso il *principio astrologico* usa spostamenti espressi secondo un sistema di riferimento particolare, il sistema di riferimento dell'elemento, o *sistema locale*: pertanto, una volta costruito il vettore che dà gli spostamenti dei nodi dell'elemento, occorre trasformarlo per avere quegli spostamenti nel sistema locale.

Eseguita la trasformazione non resta che applicare agli spostamenti nodali dell'elemento le regole semplificate ad esso proprie, per conoscere gli sforzi all'interno dell'elemento stesso. In genere gli sforzi vengono calcolati in un numero predefinito di punti all'interno dell'elemento, che possono o meno coincidere con i nodi dell'elemento stesso. Tutti questi sforzi vengono poi memorizzati, elemento per elemento, e costituiscono il risultato della stress recovery, nonchè una buona metà del risultato complessivo cercato. Non ha ovviamente senso cercare di conoscere spostamenti o sforzi al di fuori dell'elemento, usando le regole proprie all'elemento stesso ed i suoi spostamenti nodali in particolare: fareste mai l'oroscopo a Tizio con la posizione dei pianeti di Caio?

#### **1.3.11. Output e interpretazione dei risultati**

La fase di output, svolta automaticamente dal programma, conclude la soluzione di *un* problema, ma non la fase di analisi *del* problema, che, anzi, con l'output raggiunge l'inizio della sua parte più interessante.

L' output è dato in genere sotto forma di due insiemi di file: i file ASCII ed i file binari. I risultati, vale a dire gli spostamenti e gli sforzi, possono figurare in entrambi gli insiemi di file, ma generalmente i risultati sui file ASCII sono inservibili. Essi sarebbero inservibili anche se l'output di un'analisi agli elementi finiti fosse effettivamente il risultato cercato, poichè non è umanamente pensabile gestire in modo efficiente migliaia e migliaia di numeri organizzati in giganteschi tabulati, ma, in particolare, essi sono inservibili perchè raramente i risultati di un'analisi agli elementi finiti sono proprio il risultato cercato. Spesso il risultato cercato si può ottenere indirettamente dai risultati di un'analisi agli elementi finiti, che comunque vanno in ogni caso validati.

Nei file ASCII è invece opportuno controllare che non vi siano messaggi di "warning" o altre anomalie che possano far pensare a problemi nel corso della lettura dei dati di input, o dell'assemblaggio, o della soluzione vera e propria. Spesso i file di diagnostica sono piccoli file ASCII perfettamente gestibili.

Resta dunque evidente che i risultati scritti nei file binari sono quelli i più interessanti, e ciò perchè possono agevolmente essere ulteriormente processati, dando loro un'interpretazione grafica e consentendo un accesso immediato ai valori di interesse. Questo punto è oggi ineludibile: è la fase di *restituzione grafica* dei risultati.

Perfettamente funzionale alla precedente è l'importantissima fase di *controllo dei risultati*, che ci deve garantire del fatto che la soluzione rispetti le caratteristiche del problema da risolvere. Occorre quindi controllare la spostata, sia in termini qualitativi che in termini quantitativi; controllare le reazioni vincolari, che devono essere equilibrate ai carichi che volevamo mettere; controllare l'andamento e l'intensità degli sforzi misurati, che non devono essere contrari al senso comune: i casi particolari sono sempre sospetti; e così via, controllare tutto ciò che si può. L'errore è sempre in agguato, l'uso di strumenti precisi ed affidabili non implica il loro corretto uso, allo stato attuale dell'arte. Molto spesso l'esito di questi controlli è un *ritorna al punto 5*, ma talvolta occorre tornare al punto 1: naturalmente più si è acquisita esperienza più ciò accade di rado...

## 2. Gli elementi

### 2.1. Introduzione

Come si è detto gli elementi finiti sono i mattoni fondamentali in cui suddividiamo la struttura per studiarne il comportamento. Ognuno di questi mattoni segue in generale regole differenti e serve ad uno scopo differente. E' perciò della massima importanza comprendere bene come ciascun mattone funzioni, al fine di impiegarlo correttamente nelle analisi.

Qui verrà descritto solo un numero minimo di elementi finiti, quelli più largamente impiegati dai programmi in circolazione. Si può dire che gli elementi possano essere catalogati secondo almeno due criteri: il primo criterio è quello della *equazione governante*, vale a dire, l'insieme di equazioni che l'elemento finito è chiamato a sposare; il secondo criterio è quello della *formulazione*, vale a dire il criterio adottato per sposare l'equazione governante.

In accordo al primo criterio, e classificando solo le analisi più frequenti, gli elementi si possono dividere secondo la seguente tabella:

EQUAZIONE GOVERNANTE	ELEMENTO
Continuo tridimensionale (Navier Stokes)	Solido
Piastra sottile (Germaine-Kirchhoff)	Piastra
Piastra spessa (Mindlin)	Piastra
Stato piani di sforzo	Piano, Membrana spaziale
Stato piano di deformazione	Piano
Teoria tecnica della trave (Eulero Bernoulli)	Trave, biella
Trave su suolo elastico	Trave
Trave alla Timoshenko	Trave

In accordo al secondo criterio ogni elemento della seconda colonna della tabella precedente può essere ulteriormente classificato, come per esempio nel modo seguente:

ELEMENTO	FORMULAZIONE 1	FORMULAZIONE 2	FORMULAZIONE 3	.....
				...
SOLIDO	tetraedrico a 4 nodi	brick a 8 nodi	brick a 20 nodi	..... ...

Nella tabella precedente la quarta colonna è stata lasciata in bianco ad indicare che, stabilita l'equazione governante, vi sono in generale numerosi elementi disponibili, i quali hanno, in generale, vantaggi e svantaggi.

In generale si può dire che gli elementi con maggior numero di nodi sono più precisi, ma rendono più difficile la creazione della mesh, specialmente nelle zone a geometria fortemente variabile. Spesso è necessario usare, all'interno di un unico modello ad elementi finiti, non solo elementi aventi equazioni governanti diverse (travi e piastre), ma anche elementi aventi analoga equazione governante ma formulazione differente (elementi tetraedrici e brick, elementi piani triangolari e quadrangolari, eccetera). Quest'ultima circostanza deriva spesso proprio dalla necessità di sposare la geometria della struttura anche nelle zone fortemente variabili.



Nel seguito verranno illustrati in dettaglio alcuni elementi finiti tra quelli più universalmente impiegati dai vari programmi agli elementi finiti disponibili.

## 2.2. Biella

### 2.2.1. Lineamenti generali

Per *biella* intendiamo un elemento finito rettilineo capace di trasmettere solo una azione assiale.

Questo comportamento è legato alla ipotesi che si fa sul campo di spostamenti dei punti del solido schematizzato dall'elemento. Si fanno infatti le seguenti ipotesi:

- 1) Il solido è un prisma retto ed omogeneo lungo L
- 2) Tutti i punti del solido si limitano a traslare nella direzione dell'asse del prisma.
- 3) Tutti i punti di una medesima sezione del prisma traslano allo stesso modo.

Se  $u(x, y, z)$ ,  $v(x, y, z)$ ,  $w(x, y, z)$  sono i tre spostamenti di ogni punto del prisma le precedenti ipotesi si scrivono semplicemente:

$$\begin{aligned} u(x, y, z) &= u(x) \\ v(x, y, z) &= 0 \\ w(x, y, z) &= 0 \end{aligned} \quad (2.1)$$

Per le ipotesi cinematiche fatte, l'equazione governante il problema si semplifica notevolmente, e diviene, essendo E il modulo di Young, A l'area del prisma, e  $p_x$  il carico distribuito per unità di lunghezza:

$$EAu''(x) + p_x(x) = 0 \quad (2.2)$$

Questa è l'equazione che governa il problema della biella. E' una equazione differenziale del secondo ordine che, nella ipotesi in cui

$$p_x(x) = 0 \quad (2.3)$$

ammette la soluzione generale

$$u(x) = ax + b \quad (2.4)$$

In termini pratici possiamo dire che, se le ipotesi (2.1) sono soddisfatte, e se non vi sono carichi applicati, lo spostamento dei punti della biella è lineare e dipende da due soli parametri. Se chiamiamo per definizione

$$\begin{aligned} u_1 &= u(0) \\ u_2 &= u(L) \end{aligned} \quad (2.5)$$

la (2.4) si può scrivere

$$u(x) = u_1 + (u_2 - u_1)x/L \quad (2.6)$$

L'equazione (2.6) risolve esattamente la (2.2) in assenza di carichi distribuiti. La (2.6) è anche un *principio astrologico*: se si conoscono le traslazioni delle sezioni iniziale e finale, allora si conoscono gli spostamenti di tutti i punti dell'elemento. Lo sforzo è ottenuto dalla legge di Hooke ( $=E$ ) esprimendo la deformazione come derivata prima dello spostamento, e, detta N l'azione assiale, essa diviene

$$N(x) = N = EA(u_2 - u_1)/L \quad (2.7)$$

L'azione assiale è dunque proporzionale a  $(u_2 - u_1)$ , la costante di proporzionalità (detta *rigidezza*) essendo

$$K = EA/L$$

ed inoltre non dipende da  $x$ , è costante lungo tutto l'asse del prisma.

I risultati che abbiamo ottenuto sono esatti (risolvono esattamente l'equazione 2.2) solo se non vi sono carichi distribuiti. Infatti:

- a) Se esistono carichi trasversali all'asse del prisma non sono più accettabili le (2.1) e la (2.2) non modella correttamente il problema
- b) Se esistono carichi diretti come l'asse del prisma la (2.4) non è più valida, e con essa la (2.6) e la (2.7).

[il lavoro di stesura è in progress]

## 5.5 Guida pratica alla analisi modale(in progress)

### Guida pratica all'analisi modale

**Paolo Rugarli**

Queste informazioni non possono essere divulgate, fotocopiate o diffuse presso terze parti senza il consenso dell'Autore.

Il lavoro qui presentato in forma iniziale è stato poi ampliato ed è divenuto un libro di spiegazioni sugli elementi finiti.

Il testo è:

**Paolo Rugarli**

**Analisi Modale Ragionata**

**EPC libri, ROMA, 2005**

Esso include una versione limitata di Sargon fino a 50 nodi

**Indice**

- 1) **Introduzione**
- 2) **Brevi richiami**
- 3) **L' aspetto modellistico**
  - 3.1) **Modellazione delle masse**
  - 3.2) **Modellazione delle rigidzze**
  - 3.3) **Modellazione degli smorzamenti**
- 4) **L' aspetto matematico: subspace iteration e parametri di controllo**
  - 4.1) **Numero dei modi**
  - 4.2) **Ordine del sottospazio**
  - 4.3) **Massimo numero di iterazioni**
  - 4.2) **Tolleranza**
- 5) **Analisi della risposta: periodi, masse partecipanti, forme modali**
- 6) **Analisi strutturale attraverso l'analisi modale**
- 7) **Le verifiche strutturali**
- 8) **Riferimenti**

## **1) Introduzione**

Questa non è la ripetizione delle formule sulla analisi modale, con notazione diversa ed eventuale riproposizione. Questa è una guida rapida ed essenziale su alcuni degli aspetti fondamentali che occorre aver ben chiari allorchè ci si trovi a fare una analisi modale.

Il punto di partenza è che occorre capire cosa si sta facendo, altrimenti si produrrà una delle infinite analisi modali possibili, senza avvicinarsi ai risultati corretti. Una analisi modale coinvolge varie discipline, per cui non tutti hanno il background necessario ad affrontarla.

Per fare una analisi modale occorre un modello agli elementi finiti, con le conseguenti matrici delle masse e delle rigidezze (nel caso di smorzamento alla Rayleigh  $v'$  è anche la matrice degli smorzamenti). Le informazioni necessarie al troglodita (il computer) per montare le matrici in questione le forniamo noi. Pertanto attenti agli atteggiamenti fideistici: ogni cosa va decisa e controllata. Per la macchina produrre spazzatura o l'analisi giusta è la stessa cosa. Per ogni programma correttamente funzionante ogni analisi che non porti ad un errore è corretta. Per noi non dovrebbe essere così.

L'analisi modale ha interesse sia nel campo dell'analisi sismica, sia nell'ambito della fondazione di macchine, sia in generale come strumento ulteriore di test sulla bontà di un modello analizzato in campo statico. Come vedremo essa è in grado, se ben condotta, di scovare le zone cedevoli e le quasi labilità, e pertanto va considerata una analisi che è necessario saper fare se ci si vuole occupare di ingegneria strutturale.

## **2) Brevi richiami**

Adotteremo la seguente terminologia:

<b>M</b>	matrice delle masse
<b>K</b>	matrice delle rigidezze

$C$	matrice degli smorzamenti
$\mathbf{x}(t)$	vettore degli spostamenti
$p$	coordinata principale
$\Psi$	autovettore (forma modale)
$T$	periodo (in secondi)
$\omega$	pulsazione (rad/sec)
$\nu$	smorzamento relativo al critico
$n$	ordine del problema
$m$	numero dei modi richiesti
$g$	fattore di partecipazione modale
$M$	massa totale
Per gli indici:	
$i, j$	indice di modo o di grado di libertà o di iterazione
$x, y, z$	indice di direzione rispetto agli assi di riferimento globali

Con queste posizioni il problema delle oscillazioni libere di un sistema privo di smorzamento diviene

ed esso ammette come è noto soluzioni del tipo:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{x}} + \mathbf{K}\mathbf{x} = \mathbf{0}$$

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{p}(t)$$

ove in generale

$$p(t) = A \sin(\omega t + \varphi)$$

I vettori  $\mathbf{e}$  e le pulsazioni  $\omega$  si trovano in corrispondenza al problema agli autovalori

$$(\mathbf{K} - \omega^2 \mathbf{M}) \Psi = \mathbf{0}$$

Se le matrici delle masse e di rigidezza sono nonsingolari, di soluzioni ce ne sono  $n$ . In caso contrario, detto  $r$  il rango di  $\mathbf{M}$ , di soluzioni ce ne sono  $r$ . Di fatto, tranne casi particolari, la matrice delle rigidezze è sempre nonsingolare (il che vuol dire che non ci sono moti rigidi). La matrice delle masse invece può essere spesso singolare, a causa del fatto che i momenti di inerzia rotazionali sono correntemente trascurati (cfr. ove si parla di modellazione delle masse). Se ad esempio si studia una mensola con un solo elemento finito, avendo in tutto sei gradi di libertà, non ci si aspetti di trovare sei modi se esistono solo le tre masse traslazionali

del nodo libero. Né in genere le masse dei nodi vincolati vengono assemblate. In un caso del genere potremo ottenere al più tre modi. Se ne vogliamo di più, e se vogliamo una soluzione attendibile, dovremo modellare la mensola con più nodi, e quindi più elementi finiti e gradi di libertà.

Delle formule precedenti è importante capire che la dipendenza dal tempo e quella dalla posizione sono state disaccoppiate. Nel corso di una oscillazione principale la forma della oscillazione non cambia: cambia solo, in funzione del tempo, l'ampiezza della oscillazione.

Il comportamento dinamico di una struttura viene ricondotto alla somma di un certo numero di oscillazioni elementari, ognuna delle quali avviene secondo il proprio periodo. Inoltre in generale le varie oscillazioni non sono in fase tra loro, *il che implica che i massimi vengano raggiunti in istanti diversi*. Potete immaginare molti pendoli di lunghezze differenti oscillare in modo caotico seguendo ciascuno la legge di Huygens? Il comportamento complessivo risulta dalla somma di tutti i modi elementari:

$$x(t) = \sum_{i=1}^n p_i(t) \Psi_i \quad (i=1, n)$$

L'analisi modale serve a trovare un certo numero  $m$  ( $m \ll n$ ) di questi pendoli, ed a sapere tutto di loro. In più, rispetto al caso elementare dei pendoli, abbiamo che la forma della oscillazione non è nota a priori, è una specie di sorpresa: dall'analisi della forma della oscillazione possiamo infatti capire molte cose.

La vera oscillazione libera del modello (quella della struttura è un'altra cosa ancora) si ottiene imponendo le condizioni iniziali, in modo tale da trovare le ampiezze e le fasi di ciascuna delle oscillazioni. Talvolta si fa effettivamente questo. Più spesso si fa, per le analisi sismiche, una specie di media pesata di tutte queste oscillazioni, pervenendo ad un risultato in termini di spostamenti e deformazioni che è un oggetto strano, una specie di chimera. Questa procedura si chiama analisi con lo spettro di risposta. Ne parleremo più avanti.

### **3) L' aspetto modellistico**

In questo paragrafo verranno brevemente discussi quegli aspetti che vanno tenuti in conto nel preparare un modello per analisi dinamica. Da un punto di vista numerico, il problema è posto una volta poste le matrici **M**, **K** e **C**. Ognuna di queste matrici significa e descrive un

aspetto della struttura reale. In nessun caso la struttura reale *é* il suo modello oppure *ha* queste matrici. I ragionamenti che faremo pertengono esclusivamente la modellazione nell'ambito di una teoria che *è* quella della elasticità lineare. La realtà, sia chiaro, *é* un'altra cosa. Ancora: a parità di idealizzazione, di una struttura si possono fare modelli diversissimi (a *plate*, a *beam*, con più o meno gradi di libertà, eccetera).

Noi introduciamo idealizzazioni e semplificazioni praticamente ad ogni piè sospinto, solo che mentre alcune sono plausibili, altre sono un azzardo ed altre ancora pura fantasia. La scelta del tipo di elemento, del numero e della collocazione degli elementi finiti e dei nodi, della dimensione del problema, sono spesso ereditate dall'analisi statica, che *é* parente stretta dell'analisi modale. Tuttavia, come vedremo, in campo dinamico possono rendersi necessarie talune ulteriori modifiche al modello.

### **3.1) Modellazione delle masse**

La matrice delle masse *é* una matrice quadrata che in generale *é* sparsa, simmetrica ed a banda. In molti importanti casi essa *é* anche diagonale. La matrice delle masse viene costruita automaticamente dai programmi a partire dalle informazioni che noi forniamo. Una delle più importanti informazioni riguarda il tipo della matrice, se *lumped* o *consistent* (chi scrive non ritiene che l'uso di tradurre necessariamente ogni parola inglese sia la cosa migliore. Anzi molte volte *é* fuorviante. Nella letteratura tecnica i termini *lumped* e *consistent* sono usatissimi: prendiamoli come abbiamo preso *week-end* o *disk-jockey*). Se la matrice *é* *lumped* essa sarà diagonale; se *é* *consistent* essa sarà sparsa ed a banda. *È* detto inoltre *lumping* il procedimento in base al quale una matrice *consistent* viene diagonalizzata.

Da un punto di vista formale, una matrice *consistent* *é* più rigorosa di una matrice *lumped*: essa infatti *é* derivata dall'assemblaggio di matrici *consistent* al livello dello elemento, le quali, a loro volta, vengono ottenute ipotizzando deformate dinamiche coerenti con quelle statiche (tramite le funzioni di forma o *shape functions* ([1], vol. 2 pag. 316). Tuttavia, studi numerici hanno mostrato che tali vantaggi vengono talvolta perduti dai maggiori problemi presenti a causa della maggior complessità numerica del problema da risolvere. In generale si può dire che con elementi trave, biella e con elementi bidimensionali con tre o quattro nodi, l'approccio *lumped* *è* tanto affidabile quanto quello *consistent*. Anzi, in taluni casi emergerebbe l'opportunità di usare un approccio *lumped*, a tutto vantaggio della semplicità e della rapidità della soluzione.

Non tutti i solutori consentono di scegliere tra l'approccio lumped e quello consistent: quando nulla vien detto si deve ritenere che l'approccio sia lumped (esso é infatti anche il primo ad essersi presentato, storicamente, ed é comunque il piú semplice). A meno che nel modello non siano presenti elementi a sei od a otto nodi, o addirittura di ordine superiore, l'approccio lumped dovrebbe essere considerato del tutto soddisfacente.

Le differenze tra l'approccio lumped e quello consistent riguardano esclusivamente il modo in cui viene simulata numericamente la densità di peso del materiale. Tali approcci non riguardano il modo in cui vengono simulate le masse concentrate.

Oltre alla densità di peso del materiale (che può simulare "spalmandoli" opportunamente anche carichi portati), é spesso necessario simulare la presenza di masse dovute a macchinari o ad altri diversi dispositivi o sistemi costruttivi. Ciò si fa aggiungendo delle masse ai nodi che interessano, secondo criteri diversi: le masse possono essere attribuite secondo il metodo delle aree di influenza, oppure possono essere consegnate in corrispondenza a ben determinati punti di attacco. In entrambi i casi occorre definire, per ogni nodo di interesse, un insieme di sei numeri: tre masse traslazionali e tre masse rotazionali (momenti di inerzia). Questi ultimi sono generalmente nulli, a meno che si simuli un macchinario o un amminicolo con una rilevante estensione geometrica e/o una massa rilevante. È responsabilità dell'analista stabilire se una certa massa rotazionale possa o meno essere trascurata. In assenza di momenti di inerzia rilevanti e concentrati le masse rotazionali sono generalmente nulle. In particolare, nella schematizzazione di ordinari edifici civili le masse rotazionali vengono spesso omesse: é infatti la componente traslazionale ad imporre movimenti dell'edificio nel suo complesso, che, tramite le rotazioni dei nodi e le traslazioni, generano momenti flettenti. Non si deve quindi ritenere che l'assenza di momenti di inerzia porti a non avere rotazioni nei nodi o momenti flettenti.

Il fatto che vi siano masse rotazionali nulle porta una corrispondente diminuzione nel rango della matrice delle masse, cosicché essa é in genere sempre singolare. Questo fatto porta ad una riduzione nel numero dei modi che si possono estrarre pari al corrispondente numero di masse rotazionali. Se, ad esempio, si studia una trave doppiamente incastrata con tre elementi finiti, vi saranno due nodi liberi e pertanto 12 gradi di libertà. I modi che si possono estrarre sono però solo la metà: 6. Se si vogliono estrarre tutti i modi occorre definire anche tutti i momenti di inerzia. Normalmente ciò non si fa, ed é facile vedere che già con pochi elementi si converge ai valori della teoria tecnica della trave.



Ancorché banale merita un cenno il problema delle unità di misura: è infatti molto facile commettere errori se non si fanno frequentemente analisi modali. Certi programmi poi, consentono l' introduzione di masse in unità forza, certi altri no. In generale la massa si ottiene dividendo la forza peso ad essa associata per l' accelerazione di gravità. In certi casi però  $g$  è fittiziamente pari ad 1, e ciò può indurre in errore.

Dopo aver descritto per linee generali il fatto che la massa viene aggiunta ai nodi indirettamente come densità di peso, e direttamente come massa applicata, siamo in grado di approfondire la questione seguente: quanta massa?

Il problema è davvero fondamentale, perché influenza direttamente tutti i successivi risultati. In generale si può dire che tanto maggiore è la massa tanto più alti sono i periodi, ovvero la struttura oscilla più lentamente. Ciò è intuitivo, ma si può anche ricordare facilmente facendo mente locale alla formula dell' oscillatore semplice ( $\omega^2 = k/m$ ). Altrettanto generale è la circostanza che vede aumentare le forze apparenti all'aumentare della massa: è molto più difficile giocare alla fionda con una palla di cannone che con una biglia. Ovvero anche: per far cambiare direzione di moto ad una massa elevata sono necessarie forze di richiamo elastico maggiori di quelle necessarie per far cambiar direzione di moto ad una massa trascurabile. La comprensione di questo semplice meccanismo è basilare, anche se molto spesso capita di vedere persone perdersi nella nebbia di proposizioni astruse anziché riflettere sul principio di D' Alembert.

Quando si analizzano strutture che possono accogliere carichi variabili nel tempo e dovuti alle masse (gravità, forze centrifughe), è quindi necessario decidere quanta massa applicare al modello: la massa massima, quella minima, una media tra le due, un valore a sentimento, cosa? In certi casi le norme fissano dei valori (tipicamente per gli edifici), in altri no. Questa decisione è una delle tante lasciate libere all' analista, il quale può, entro certi limiti, ampliare o ridurre la massa applicata sul suo modello. Inutile negare che questo margine di incertezza può essere usato in una direzione o nell' altra, a seconda delle opportunità (ridurre o aumentare quel che interessa). Tuttavia, un'analisi condotta seriamente dovrebbe stabilire il *range* di variabilità nel quale ci si trova, e stabilire un estremo superiore ed uno inferiore per le grandezze che interessano. Non ha comunque senso dare a tutti i piani di un edificio per una analisi sismica la massa che competerebbe loro per folla compatta, a meno che l' edificio non sia una palazzo congressi. Se infatti l' analista può dirsi " deve accadere un terremoto proprio quando le sale sono tutte piene" può anche dirsi " se avviene un terremoto in questa zona tra le

8 e le 19, le mie sale congressi saranno piene o saranno vuote?". In molti casi é la legge che impone, in altri occorre comunque avere senso critico. Una biblioteca sarà ragionevolmente sempre piena di libri, ad esempio. Occorre anche pensare alla possibilità che la situazione muti nel tempo, per cui magari una palazzina venga adibita a scuola, e così via.

Si noti che a priori nelle analisi sismiche non é possibile dire che effetto avrà l'aggiunta di una massa su una sollecitazione o uno spostamento: vi sono infatti fattori, come il coefficiente di risposta, che beneficiano di un aumento del periodo di oscillazione. *Molto spesso comunque ad un aumento della massa corrispondono maggiori spostamenti e maggiori sollecitazioni.*

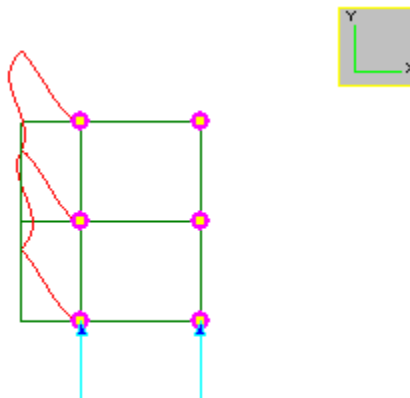
Molto importante e negletta é la ricerca degli errori. Non bisogna fidarsi dei dati di input sinché un buon numero di diversi fattori non testimonia a favore. Per esempio, se trovo un periodo di 100 secondi come primo modo di un edificio, é molto probabile (certo) che abbia sbagliato qualcosa nelle unità di misura delle masse, o che vi sia un cedevolezza concentrata o, in somma, che ci sia un errore. Se poi il modello deriva da un modello usato per le analisi statiche, ed in quella sede non c'erano anomalie, allora é certo che l'errore é stato fatto nella discretizzazione delle masse. Quando gli errori sono grossolani é facile avvedersene. Più difficile accorgersi di aver dimenticato una massa o le masse di un piano, per esempio. *Le masse applicate al modello dovrebbero pertanto sempre essere confrontate con quelle che si sarebbe voluto mettere.* Infatti, nessuno può dire a priori che é sbagliato un periodo di 1.23 secondi che sarebbe dovuto essere 1.47 perché non sono state messe le masse su un piano. Per errori clamorosi ma con conseguenze scarse negli indicatori principali noi siamo vulnerabili: attenzione.

Preziosi per la ricerca degli errori sono pertanto quei programmi che dicono quanta massa é applicata zona per zona su una struttura, e che riportano le masse partecipanti. Sottolineo, per concludere, che occorre sempre sottoporre il proprio modello ad un vero e proprio *terzo grado* per convincersi della sua affidabilità.

### **3.2) Modellazione delle rigidzze**

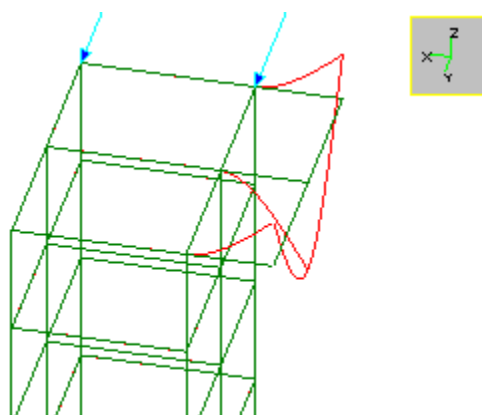
Sebbene la modellazione delle rigidzze sia in comune con le analisi statiche, spesso il modello strutturale adatto per l'analisi modale é diverso da quello adatto per l'analisi statica. Ciò é dovuto al fatto che in una analisi modale ha spesso interesse l'analisi del comportamento delle strutture principali, e non di quelle secondarie.

In una analisi modale viene chiesto un numero di modi generalmente molto inferiore all'ordine del problema. Questi modi non devono essere sprecati. Non ha quindi alcun senso modellare zone secondarie della struttura (figg. 1 e 2), che, per la loro particolare cedevolezza, tendono a comportarsi in modo disaccoppiato rispetto alle parti principali. Talvolta capita di vedere modelli nei quali i modi richiesti coinvolgono solo parti estremamente limitate della struttura, quelle più cedevoli, mentre l'intero insieme delle strutture principali resta immobile.



**Figura 1:** il terrazzo oscilla da solo.

La percentuale di massa partecipante su questo modo è molto bassa



**Figura 2:** il terrazzo oscilla da solo.

La percentuale di massa partecipante su questo modo è molto bassa

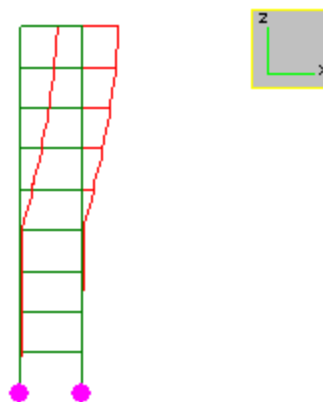
Per capire se un modo è realmente significativo si può vedere la deformata modale e, in associazione, la percentuale di massa partecipante. In tutti i casi in cui la massa partecipante è percentualmente scarsa occorrerebbe agire con cautela. Non si può escludere a priori che modi

siffatti siano significativi per la struttura (si pensi ad un sistema tale per cui tutta la massa è concentrata in pochi punti), tuttavia ciò è improbabile.

Molti fanno modelli strutturali come se dipingessero, aggiungono cioè una serie di dettagli che aumentano il realismo del modello e che al tempo stesso, a loro insaputa, ne minano la attendibilità: un modello strutturale non è un quadro, chi lo fa non sta dipingendo. Questo approccio *artistico* alla modellazione agli elementi finiti è piuttosto diffuso, ed è un indice indiretto di scarsa padronanza del Metodo degli Elementi Finiti. Purtroppo ci sono analisi modali eseguite senza alcun controllo su modelli *pittoreschi*, con massa partecipante scarsissima, di scarsissima attendibilità, che vengono consegnati come se niente fosse all'ignaro committente (che anzi apprezza i dettagli).

Per evitare i problemi suddetti talvolta è necessario escudere o vincolare parti della struttura, al fine di poter avere analisi significative. L'altra alternativa è quella di aumentare il numero dei modi richiesti, il che comporta un aggravio dei costi e, in generale, può non essere una soluzione. A priori non è infatti possibile dire quale sarà il primo modo davvero significativo. L'esclusione di una parte secondaria si può ottenere anche ritoccando localmente il materiale, in modo da irrigidire la sottostruttura. Questo ultimo è un trucco da usare con molta cautela, solo quando indispensabile: ci sono casi, ad esempio, in cui una parte è trascurabile per l'analisi modale ma fondamentale per l'analisi statica. Se si vogliono combinare gli effetti statici e quelli dinamici, inoltre, il modello deve essere proprio lo stesso.

In altre circostanze il fatto che l'analisi modale produca deformate modali che coinvolgono solo parti limitate della struttura è un fatto inatteso, imprevedibile ed imprevedibile. In questi casi questa informazione è un importante indizio di un possibile errore di modellazione, oppure di una debolezza della struttura, di un modo di attivarla particolarmente pervio ovvero di un'importante valvola di sfogo (come nei filtri interposti tra struttura e terreno) o, al limite, di un fatto irrilevante: a seconda dei casi. Nella dinamica degli edifici là dove ci sono forti disaccoppiamenti essi sono sempre da guardare con attenzione e sospetto (edifici *a pilotis*, colonne a baionetta come in fig. 3, corpi di fabbrica nè congiunti nè disgiunti, e così via).



**Figura 3:** la brusca variazione di rigidezza delle colonne produce un disaccoppiamento pericoloso

Supponendo che il modello strutturale sia adeguato allo scopo, vale la pena di osservare che la discretizzazione non influisce solo sull'ordine della matrice di rigidezza, bensì anche sulla rigidezza nel suo complesso. Si può infatti dimostrare che il Metodo tende alla soluzione esatta con modelli più rigidi della struttura reale (ovvero della reale idealizzazione matematica della struttura reale). Volendo fare un'analisi accurata sarebbe pertanto opportuno eseguire un test di sensitività alla discretizzazione, per esempio suddividendo tutti gli elementi in due o più sotto-elementi.

### **3.3) Modellazione degli smorzamenti**

Il problema degli smorzamenti è uno dei più ostici della dinamica delle strutture, non tanto per la difficoltà matematica, quanto per la aleatorietà della sua corretta valutazione.

Lo smorzamento può riguardare le strutture stesse o l'interazione suolo-struttura. In alcuni casi esso può derivare da circostanze del tutto specifiche (smorzamento indotto da opportuni dispositivi).

Lo smorzamento strutturale riguarda gli elementi ed è compreso tra il 3% ed il 10% dello smorzamento critico, dipendentemente dal materiale, dai sistemi costruttivi e da altri fattori. Esso viene normalmente tenuto in conto con lo smorzamento alla Rayleigh, vale a dire esprimendo la matrice  $C$  nel seguente modo:

$$C = \alpha M + \beta K$$

dove  $\alpha$  e  $\beta$  sono due scalari.

Lo smorzamento alla Rayleigh ha il pregio fondamentale di consentire il disaccoppiamento delle equazioni del moto, ovvero di consentire l'analisi modale. Se lo smorzamento non è alla Rayleigh non è infatti in generale possibile eseguire un'analisi modale. In questo caso l'integrazione delle equazioni del moto deve essere fatta con gli ordinari metodi di risoluzione dei sistemi di equazioni differenziali, con un evidente aggravio di tempi e di costi.

Lo smorzamento alla Rayleigh gestito dai programmi di calcolo è pressochè sempre del tipo qui descritto, anche se lo smorzamento alla Rayleigh può essere più generale (si veda ad esempio il Clough [2]). Per definire lo smorzamento qui descritto occorre specificare i due parametri  $\alpha$  e  $\beta$ . Come determinarli?

Ad ogni modo corrisponde una equazione differenziale che può essere scritta così:

$$ap'' + (\alpha a + \beta b)p' + bp = 0$$

Dall'equazione precedente posta in forma canonica risulta:

$$2\omega \nu \quad \alpha + \beta \omega^2$$

Dati  $m$  modi si possono scrivere  $m$  di tali equazioni. Per avere un sistema determinato (le incognite sono  $\alpha$  e  $\beta$ ) occorre imporre lo smorzamento relativo al critico di due soli modi. I due modi vengono scelti in modo da essere significativi: in genere si scelgono i modi con maggiore massa partecipante. Sugli altri modi lo smorzamento sarà quello derivante dagli  $\alpha$  e  $\beta$  così calcolati. È pertanto della massima importanza fare in modo che la curva  $\nu(\omega)$  definita fissando  $\alpha$  e  $\beta$  non dia luogo ad assurdi, per esempio imponendo smorzamenti elevatissimi su modi significativi. *Ognuno dei modi impiegati nella analisi deve avere uno smorzamento  $\nu$  accettabile tenuto conto della sua massa partecipante e del suo periodo.*

Lo smorzamento alla Rayleigh viene impiegato allorchè si è interessati alle equazioni del moto senza voler risolvere il sistema di equazioni differenziali. Nelle analisi a spettro di risposta è bene chiarire che lo smorzamento alla Rayleigh non viene utilizzato. In tali analisi lo smorzamento è associato allo spettro stesso.

#### **4) L' aspetto matematico: subspace iteration e parametri di controllo**

Per *aspetto matematico* dell'analisi modale si intende qui l'esame dell'insieme di tutti quei parametri e di quegli indicatori che servono a tenere sotto controllo la soluzione numerica del problema. La soluzione di un problema agli autovalori di grande dimensione avviene per mezzo di metodi iterativi che richiedono una serie di delicate decisioni. I numerosissimi studi sull'argomento hanno consentito di fissare dei valori di riferimento per questi parametri, ma questi valori di riferimento possono non andare bene in certi casi. È pertanto della massima importanza capire esattamente il loro significato per potersi regolare nei casi in cui i valori di *default* debbano essere cambiati.

Tra le procedure numeriche impiegate per risolvere il problema agli autovalori che ci è di fronte con le caratteristiche ad esso proprie, due tecniche si sono in particolar modo affermate: il metodo *subspace iteration* e il metodo di Lanczos.

Il metodo più universalmente diffuso è la *subspace iteration* (iterazione nel sottospazio). Per sottospazio si intende uno spazio di dimensione ridotta rispetto alla dimensione dello spazio di partenza. La dimensione dello spazio di partenza è pari a  $n$ , mentre la dimensione del sottospazio è scelta dall'utente, in generale in funzione del numero dei modi richiesti. Subspace iteration funziona nel modo che segue.

1) Siano  $\mathbf{M}$  e  $\mathbf{K}$  le matrici delle masse e delle rigidezze di ordine  $n$ , ed  $r$  l'ordine del sottospazio (cfr. più oltre). Occorre seguire i seguenti passi.

2) Prendere una matrice  $(\mathbf{n}, \mathbf{r})$  di vettori di tentativo  $\mathbf{R}$

3) Formare le matrici  $(\mathbf{r}, \mathbf{r})$

$$\mathbf{M}^* = \mathbf{T}_T \mathbf{M} \mathbf{T}$$

$$\mathbf{K}^* = \mathbf{T}_T \mathbf{K} \mathbf{T}$$

dopo aver calcolato

$$\mathbf{T} = \mathbf{R} / \mathbf{K}$$

4) Risolvere il problema agli autovalori (di ordine  $r$ )

$$\mathbf{K}^* \mathbf{V} = \mathbf{M}^* \mathbf{V} \Omega$$

5) Formare la stima degli autovettori

$$\Psi = \mathbf{T} \mathbf{V}$$

6) Controllare la convergenza, e se non si è raggiunto il valore desiderato

7) Formare una nuova matrice

$$\mathbf{R} = \mathbf{M} \Psi$$

e tornare al punto 3).

Nel seguito verrà illustrato il significato dei parametri impiegati nel pilotare una subspace iteration ad uno ad uno, per mostrare l'impiego che se ne debba fare.

#### **4.1) Numero dei modi**

La prima cosa che occorre decidere è quale sia il numero dei modi che servono. In generale si può affermare che il numero dei modi che servono è quello che consente di avere nelle tre direzioni una massa partecipante eguale almeno ad una percentuale rilevante di quella totale. Per percentuale rilevante intendiamo l'80% o più. Come sempre deroghe e casi particolari sono ipotizzabili.

Se la struttura è stata ben modellata ed è abbastanza regolare  $m$  può essere compreso tra 6 e 10. Nel caso in cui l'oscillazione di massa in una direzione non interessi se ne terrà conto nel valutare la bontà di una analisi.



Se la struttura è complessa il numero dato precedentemente può crescere, anche se non è da attendersi che superi qualche decina. Se una struttura richiede moltissimi modi per raggiungere l'80% di massa partecipante si possono fare le seguenti ipotesi:

- 1) La struttura è stata modellata scorrettamente
- 2) La struttura deve essere analizzata con una analisi *step by step*.

Il numero dei modi richiesto non deve essere esorbitante. Su problemi di qualche migliaia di gradi di libertà, che sono ormai problemi del tutto ordinari, chiedere cento o più modi porterebbe ad un considerevole onere di calcolo, tale da rendere competitiva l'analisi passo-passo. In genere comunque strutture ben progettate e ben modellate si accontentano di 10 o 20 modi, raramente di più.

Se la percentuale di massa partecipante è già molto elevata non ha alcun senso il tentare di massimizzarla. Essa tende asintoticamente al 100% al crescere del numero dei modi richiesti, ma tale percentuale viene raggiunta solo quando il numero dei modi richiesti coincide con il numero dei modi possibili (pari al rango della matrice delle masse nei casi pratici). Chiedere 1000 modi è un atto generalmente insensato.

#### **4.2) Ordine del sottospazio**

Per ordine del sottospazio si intende il numero dei vettori che vengono impiegati per far convergere la soluzione a quella esatta. Secondo Clough [2] l'ordine del sottospazio deve essere pari a  $r$ , ove

$$r = \min(2m, m+8)$$

Molti codici usano questa stessa regola per fissare  $r$  una volta che l'utente ha scelto  $m$ . Altri codici usano invece la regola seguente:

$$r = 3m$$

In ogni caso l'utente può sempre scegliere l'ordine del sottospazio facendo a meno di queste regole e fissandolo direttamente. Si noti che, ovviamente,  $r$  non può mai essere superiore al rango della matrice delle masse.

Ciò detto, quali regole occorre seguire per fissare l'ordine del sottospazio, e che cosa influenza?

L'ordine del sottospazio influisce sulla RAM necessaria, e sull'occupazione di hard disk aumentandole.

Aumentando  $r$  cresce il numero di operazioni da compiere per ogni iterazione, ed in modo non lineare.

Al tempo stesso, aumentare l'ordine del sottospazio porta ad una maggior rapidità di convergenza, per cui il numero delle iterazioni necessarie per ottenere il raggiungimento della convergenza stessa può diminuire sensibilmente.

L'occupazione su disco e di RAM dipende dalle strategie di soluzione impiegate dai vari solutori, e non è quindi possibile fornire formule esatte. Al tempo stesso non è possibile dire a priori quale sarà il beneficio di un ordine di sottospazio più grande.

Quel che si può dire è che se si osserva una convergenza lenta (più di dieci o dodici iterazioni) e ci si avvicina alla ventina di iterazioni, un successivo run dovrebbe essere eseguito con un ordine di sottospazio maggiore. Si noti che la precisione che si ottiene sugli autovettori cresce considerevolmente aumentando l'ordine del sottospazio, anche se ciò non comporta sensibili variazioni nella tolleranza raggiunta (cfr. *tolleranza*). Se la convergenza è troppo lenta, o addirittura non la si raggiunge, aumentare l'ordine del sottospazio può risolvere il problema.

#### **4.3) Massimo numero di iterazioni**

Generalmente il massimo numero di iterazioni è fissato pari a 20. È illusorio credere di poter ottenere la convergenza semplicemente aumentando a dismisura questo numero. Allorché il numero di iterazioni necessario per la convergenza è prossimo al massimo conviene, nei run successivi, aumentare l'ordine del sottospazio.

Nel caso particolare in cui venga raggiunto il numero massimo di iterazioni senza che si sia raggiunta la convergenza i programmi generalmente stampano un messaggio di warning. La precisione ottenuta è infatti minore di quella richiesta.

#### **4.4) Tolleranza**

Questo numero esprime la variazione relativa della pulsazione da una iterazione a quella successiva. Precisamente, se  $i$  è l'indice di iterazione

$$TOL = (\omega_{i+1} + \omega_i) / \omega_i$$

Generalmente la tolleranza viene fissata pari a 0.00001, ma in alcuni programmi, soprattutto al fine di migliorare gli autovettori, è ancora più piccola (0.00000001 ad esempio).

Per facilitare la convergenza si può aumentare TOL, ma tale operazione può riverberarsi sulla precisione degli autovettori. Tolleranze al di sotto di 0.001 devono essere guardate con sospetto.

[il lavoro di stesura è in progress]

## 5.6 In margine alle Ordinanze 3274 e 3316

Paolo Rugarli – Ingegnere Strutturista – [staff@castaliaweb.com](mailto:staff@castaliaweb.com)

Pubblicato su *Ingegneria Sismica* – 3/2003

### Premessa

L'8-5-2003 la Gazzetta Ufficiale pubblica l'Ordinanza 3274 che cambia tutte le regole per il calcolo di strutture in zona sismica. L'esame del testo mostra la presenza di numerosi errori alcuni dei quali vengono immediatamente segnalati alle autorità competenti ed agli organi di informazione (il 31/7/2003 poi pubblicati in [1]). Alle segnalazioni risponde il Dipartimento della Protezione Civile, ammettendo l'esistenza di errori: "La normativa ha sicuramente bisogno di un'attenta revisione, inevitabile in un documento così complesso ed innovativo. La revisione era già prevista al momento della emissione della Ordinanza". Viene poi data notizia di un prossimo *errata corrige*, informando che a questo *errata corrige* avrebbero contribuito i professionisti e "tutte le componenti istituzionali e scientifiche interessate"([2]).

Una tavola rotonda tenutasi a Genova il 29/9 fa invece constatare pubblicamente che dell'*errata corrige* non erano neppure a conoscenza parti rilevanti del mondo istituzionale e scientifico. Il successivo 2/10 viene approvata l'Ordinanza 3316 che contiene ben 122 clausole di errore e di modifica ([3]).

### Osservazioni di merito 1

Un primo insieme di critiche di merito riguarda gli errori contenuti nel testo della Ordinanza 3274. Sebbene l'Ordinanza 3316 abbia formalmente posto rimedio correggendo numerose formule, parole, frasi, resta da capire come sia stato possibile pubblicare e

mantenere per cinque mesi sulla Gazzetta Ufficiale una norma contenente tutti questi errori. Si è detto che si tratta di errori di trascrizione, ma in tal caso il Normatore se ne sarebbe accorto subito, invece si ha l'impressione che la emanazione della norma in Gazzetta Ufficiale sia servita per avviare un periodo di rodaggio e di prova, e la platea dei professionisti e delle imprese come *beta tester*.

Ma anche dopo la pubblicazione della seconda Ordinanza, il testo ha tutta l'aria di restare, globalmente parlando, acerbo, privo di una adeguata riflessione, per la quale non v'è stato tempo. Possiamo senz'altro entrare meglio nel dettaglio elencando *alcune* delle prime obiezioni, senza nessuna pretesa di esaustività. In realtà la discussione andrebbe oltre i limiti e le possibilità di un articolo su una rivista, e moltissime sarebbero le cose da discutere.

Incominciamo dagli spettri. Si è osservato (Crespellani [4]) che l'esistenza di cinque categorie stratigrafiche come nell'EC8, delle quali però tre sono sempre trattate allo stesso modo nell'Ordinanza (B, C, E) è pedissequa: tanto valeva usare solo tre categorie stratigrafiche ed ampliare la definizione di una delle tre. Le cinque derivano da EC8, ma poi i numeri sono stati cambiati in modo da svuotare il senso originario, che prevedeva cinque categorie ben distinte.

Da un punto di vista analitico si deve rilevare che il codicillo “*Si assumerà comunque  $S_d(T) > 0.2ag$* ” (par. 3.2.5. Spettri di progetto per lo stato limite ultimo, direttamente preso da EC8) ha l'effetto di rendere impercorribili parti rilevanti degli spettri di risposta delle accelerazioni (“d” sta per “design”, non per “displacement”). Infatti se una struttura è posta ad esempio su suolo di categoria A la prescrizione precedente equivale a dire (nell'intervallo di valori  $TC < T < TD$ ) che periodi maggiori di  $5/q$  non portano ad alcun beneficio in termini di coefficiente di risposta. Proviamo ad immaginare una struttura duttile, con elevato coefficiente di struttura, ad esempio  $q=5$ . In tal caso avere periodi superiori a  $\underline{T}=1s$  non porterebbe ad alcun vantaggio in termini del calcolo delle azioni sismiche. Poiché a tale periodo corrispondono all'incirca costruzioni di 8 piani, di fatto costruire edifici più alti non comporta alcun vantaggio in termini di spettro di risposta. Il coefficiente di risposta sul modo dominante di un edificio di 8 piani è eguale a quello di un edificio di tredici o quindici piani. Le conseguenze nella progettazione di edifici alti sono considerevoli. In pratica per i vari suoli valgono le seguenti limitazioni *de facto* ai periodi, al di là dei quali non si hanno benefici in termini di coefficiente di risposta:

<b>SUOLO</b>	<b>q=2</b>	<b>Q=4</b>	<b>q=5</b>
<b>A</b>	2.24	1.25	1
<b>B,C,E</b>	2.80	1.95	1.56
<b>D</b>	3.67	2.6	2.32

Vale inoltre la seguente considerazione. Nel caso di una struttura molto duttile,  $q=5$ , su suolo tipo A in zona 1 ( $ag=0.35g$ ), con periodo fondamentale eguale a 2s si deve assumere  $S_d(T) = 0.2 ag = 0.07g$ . Se però la struttura fosse molto meno duttile, ad esempio si avesse  $q=2.5$ , dovrebbe essere calcolata con lo stesso identico valore della accelerazione di progetto  $S_d(T) = 0.07g$ . In altre parole, in questo caso, una struttura con  $q=5$  è trattata allo stesso modo di una struttura con  $q=2.5$ . Il rapporto tra i due  $S_d(T)$  è pari a 1 anziché 2 come avverrebbe senza la limitazione  $S_d(T) \leq 0.2ag$ . Ne deriva che sembrerebbe appropriato far variare la accelerazione limite  $0.2ag$  con il fattore  $q$ . Altrimenti, paradossalmente, nel caso di edifici alti realizzare strutture duttili non premia, in opposizione allo spirito del metodo del  $q$ -factor.

Le clausole che definiscono la regolarità di una struttura sono di dubbia interpretazione e di difficoltosa e macchinosa applicazione. Il concetto di “simmetria approssimata” è opinabile e si direbbe che non debba entrare in una normativa tecnica. Nella norma non c’è nemmeno una figura, in questa parte, che invece sembra molto importante. Pochissime, del resto, sono le figure in generale, e spesso, leggendo il testo, si ha l’impressione che la comprensione delle prescrizioni debba avvenire per telepatia: convenzioni, ipotesi ed assunzioni sono date per scontate, anche se, a ben voler vedere, proprio scontate non sono. Ad esempio il fatto che i solai possano essere considerati “infinitamente rigidi nel loro piano” è un fatto quantitativo, non qualitativo: mancano tuttavia, pur dopo attento esame, chiarimenti su cosa occorra fare per assicurarsi che detta condizione sia soddisfatta (mentre nell’EC8 vengono date chiare indicazioni quantitative). Per la regolarità in altezza, il criterio dei rapporti tra i coefficienti di sfruttamento tra piano e piano è stato corretto con la Ordinanza 3316. La formulazione originaria era, ad un’attenta lettura, priva di sufficiente comprensibilità ed appropriatezza logica: “il rapporto tra resistenza effettiva e resistenza richiesta dal calcolo non è significativamente diverso per piani diversi (rapporti compresi tra 0.85 ed 1.15)”. Tali rapporti (che sembrerebbero il reciproco del coefficiente di sfruttamento) dovendo essere

sempre  $>1$  come potevano valere 0.85? Ma la Ordinanza 3316 cambia il testo: “il rapporto tra la resistenza effettiva e quella richiesta calcolata ad un generico piano non deve differire più del 20% dall’analogo rapporto determinato per un altro piano”. Il 15% è stato portato al 20% (errore di stampa?). L’EC8 dà il criterio e non valutazioni quantitative. Si è fatto di meglio, e quindi non possiamo accettare come strutture regolari in altezza strutture che abbiano elementi con sfruttamento diverso per più del 20% da piano a piano. E’ un peccato che questo criterio comporti alcune conseguenze illogiche, inappropriate e potenzialmente opposte alle stesse intenzioni della norma. La prima è che la regolarità di una struttura non è determinabile a priori, ma solo a posteriori. Immaginiamo quindi di dover controllare tutti gli sfruttamenti e solo dopo, ad analisi conclusa, potremo avere la prova della regolarità in altezza della struttura. La seconda è che dando una limitazione secca, di fatto si obbliga ad iterare un numero imprevedibile di volte il progetto iniziale, *a prescindere dagli effettivi valori di sfruttamento*. La terza è che si parla di “resistenza richiesta dal calcolo” come se questa fosse unica e deterministica e non invece diversa da combinazione a combinazione, da metodo di calcolo a metodo di calcolo. Cosa occorrerà paragonare, ci si chiede: le resistenze richieste massime (gli involuppi) o quelle concomitanti? La quarta, più grave, è concettuale: “la resistenza richiesta dal calcolo” è in larga misura convenzionale, opinabile, soggetta ad approssimazioni ed ipotesi semplificative, talvolta in contrasto tra loro, date da tanti possibili metodi e strade, che ora sono tutti stati implicitamente e separatamente fatti assurgere al ruolo di criterio *deterministico* di progetto (massima variazione percentuale: 20%).

Il fatto poi che la sola regolarità in altezza valutata con questo sistema assai dubbio sia sufficiente per poter eseguire una analisi statica equivalente in luogo di una analisi modale, è motivo di forte perplessità: una struttura totalmente irregolare in pianta potrebbe essere calcolata con l’analisi statica equivalente.

Il metodo proposto per tenere in conto una eccentricità accidentale delle masse sembra difficilmente applicabile ed in parte è incomprensibile. Infatti l’idea sarebbe quella di scegliere tra le seguenti due possibilità: o amplificare gli effetti delle azioni sugli elementi resistenti di una quantità funzione della loro distanza dal baricentro geometrico dell’edificio (il 30% sugli elementi d’estremità di edifici simmetrici), oppure spostare il centro delle masse di una certa eccentricità predeterminata. Cominciamo dal primo. Intanto nonostante la correzione messa in atto dalla Ordinanza 3316 ancora il Normatore continua a scrivere “amplificando le forze da applicare agli elementi verticali” e non, come in EC8 e come scritto più sopra,

“amplificando gli effetti delle azioni nei singoli elementi resistenti”. C’è una netta differenza. Quali sono –ci si chiede– le “forze da applicare agli elementi verticali”, se in una analisi statica equivalente le forze si applicano *ai piani*, ed in una analisi modale di forze direttamente applicate *non ve ne sono*? Perché amplificare “le forze” e non “gli effetti delle azioni”? Perché solo sugli “elementi verticali”? Eppoi: *con asse verticale o giacenti in un piano verticale*? Forse un diagonale di facciata (asse non verticale) non si carica sotto torsione? E se il diagonale giace in un piano non verticale perché magari la facciata arretra (piano ed asse non verticali)?

Ed ora guardiamo il secondo, quello che consiste nello spostare il centro delle masse, e pensiamo di fare un’analisi modale. Abbiamo un modello con i suoi nodi, e le masse derivanti dai permanenti e dagli accidentali. Ora dobbiamo perturbare le masse corrispondenti alle ipotesi di carico in modo da spostare il centro delle masse di una data quantità. E come si fa senza variare la quantità di massa totale se non in modo arbitrario? A quale nodo levare ed a quale nodo dare massa? Sulla base di quale criterio? Si vuole implicitamente imporre che il piano sia rigido? Ma questo non è affatto obbligatorio in una struttura reale... Sarebbe più logico imporre che gli accidentali abbiano una configurazione anche asimmetrica, e quindi variare il centro delle masse perché obbligati a prendere in considerazione *a priori* distribuzioni asimmetriche di masse (tra l’altro, verrebbe da dire, assai più probabili). E’ da notare che in EC8 tale torsione accidentale *nella analisi modale* non si è obbligati a metterla, essa diviene di fatto un caso di carico statico chiaramente definito da involuppare con gli altri, derivanti dalla modale.

L’obbligatorietà di considerare tale eccentricità accidentale, e l’impossibilità logica di tenerne conto in modo univoco con entrambi i metodi previsti in caso di analisi modale sembra costituire di per sé un grave problema, e rende di fatto inapplicabile l’Ordinanza.

Si fa ora un rapido accenno ad un problema di interpretazione relativamente alla formula che dà il coefficiente di correlazione nella CQC (Complete Quadratic Combination). La formula è la seguente (i e j sono due generici modi):

$$\rho_{ij} = \frac{(8\xi^2(1+\beta_{ij})\beta_{ij}^{3/2})}{((1-\beta_{ij}^2)^2 + 4\xi^2\beta_{ij}(1+\beta_{ij})^2)}$$

e si dice che il coefficiente  $\beta_{ij}$  è eguale a “ $\omega_i/\omega_j$ ”, essendo  $\omega_i$  ed  $\omega_j$  le frequenze di ciascun modo. Il problema di interpretazione è il seguente. Il coefficiente di correlazione  $\rho_{ij}$  deve

essere simmetrico, il che implica  $\rho_{ij} = \rho_{ji}$ . Il coefficiente  $\beta$  però non è simmetrico in  $i$  e  $j$ , in quanto  $\omega_i/\omega_j \neq \omega_j/\omega_i$ . Sorge allora il seguente problema: occorre considerare sempre il caso  $\omega_i/\omega_j < 1$ , e quindi definire  $\beta$  nel seguente modo  $\beta_{ij} = \min\{\omega_i/\omega_j, \omega_j/\omega_i\}$ , oppure no? La norma non dice nulla a riguardo nella parte sugli edifici. Nella parte sui ponti, par. 7.1.2, viene invece detto (aggregando una definizione ed una delimitazione)

$$\beta_{ij} = T_j/T_i \quad 0.8 \text{ con } T_j < T_i$$

il che farebbe credere che debba essere sempre  $\beta < 1$ . Un recente articolo di Wilson ([5]) riporta una definizione che rafforza questa idea, e che riportiamo qui di seguito:

The cross-modal coefficients,  $\rho_{nm}$ , for the CQC method with constant damping are

$$\rho_{nm} = \frac{8\zeta^2(1+r)r^{3/2}}{(1-r^2)^2 + 4\zeta^2r(1+r)^2} \quad (15.10)$$

where  $r = \omega_n / \omega_m$  and must be equal to or less than 1.0. It is important to note that the cross-modal coefficient array is symmetric and all terms are positive.

L'articolo che ha proposto il metodo (dovuto originariamente a Der Kierughian) a riguardo non dice nulla. In effetti si può dimostrare che la formula che dà il coefficiente di correlazione è *invariante se al posto di  $\beta$  si mette il suo reciproco  $1/\beta$* . Quindi  $\beta$  può essere indifferente maggiore o minore di uno. Di seguito la dimostrazione:

$$\frac{8\zeta^2\left(1+\frac{1}{\beta}\right)\frac{1}{\beta^{3/2}}}{\left(1-\frac{1}{\beta^2}\right)^2 + \frac{4\zeta^2}{\beta}\left(1+\frac{1}{\beta}\right)^2} = \frac{\frac{8\zeta^2(1+\beta)}{\beta^{5/2}}}{\frac{(\beta^2-1)^2}{\beta^4} + \frac{4\zeta^2}{\beta}\left(1+\frac{1}{\beta}\right)^2} = \frac{\frac{8\zeta^2(1+\beta)}{\beta^{5/2}}}{\frac{(1-\beta^2)^2}{\beta^4} + \frac{4\beta\zeta^2}{\beta^4}(1+\beta)^2} = \frac{8\zeta^2(1+\beta)\beta^{3/2}}{(1-\beta^2)^2 + 4\zeta^2\beta(1+\beta)^2}$$

e quindi è del tutto irrilevante mettere  $\beta$  o il suo reciproco. Wilson nel suo articolo voleva evidentemente dire “and *they* must be equal to or less than 1.0”, e non “*it* must be equal to or less than 1.0”, come invece chi legge tende a capire.

Sempre relativamente alla parte sui ponti, si è implicitamente assunto uno smorzamento relativo al critico pari al 5%. Perché non lasciare libero il progettista di decidere lui che smorzamento usare, come fatto nel caso degli edifici?



Ancora nella parte sugli edifici, par. 4.4. Si dice che *“nel caso di edifici con struttura in cemento armato, composta acciaio-calcestruzzo e in muratura, la rigidezza degli elementi può essere valutata considerando gli effetti della fessurazione, considerando la rigidezza secante a snervamento”*. “Può”. Ci si chiede: si deve o non si deve? In EC8, troviamo “should in general”.

Nella parte relativa agli edifici, par. 5.3.1, parte sul calcestruzzo armato, si definiscono “strutture a nucleo” quelle nelle quali non viene soddisfatta la condizione  $r/l_s > 0.8$ , dove *“ $r_2$ =rapporto tra la rigidezza torsionale e flessionale di piano”* e *“ $l_s = (L^2 + B^2)/12$  con  $L$  e  $B$  dimensioni in pianta dell’edificio”*. Prima osservazione: che vuol dire “rigidezza flessionale di piano”? Dobbiamo calcolare come si inflette il piano? Assolutamente no. EC8 dice “rigidezza laterale di piano”, è la rigidezza *laterale* dell’edificio *al piano* considerato che occorre valutare, ed inoltre in tutte le “relevant directions”. Quanto poi alla definizione di  $l_s$  data dalla Ordinanza, essa è valida solo per edifici di forma rettangolare: negli altri casi la definizione è inapplicabile (non bastano  $L$  e  $B$  per dare le dimensioni in pianta dell’edificio) o sbagliata (caso mai venisse in mente di usare il rettangolo circoscritto alla pianta dell’edificio).

## Osservazioni di merito 2

Si è detto che finalmente si vedono nell’Ordinanza le accelerazioni del terreno vere, quelle veramente misurate *in situ* durante un terremoto (Tavola Rotonda 29-9-2003, Genova). In realtà queste accelerazioni nei calcoli più frequenti, vale a dire quelli con analisi statica equivalente ed analisi modale con spettro di risposta, non sono quelle “vere”, ma sono quelle “vere” ridotte in modo artificioso mediante il metodo del q-factor. L’unica importante differenza rispetto a quanto si faceva prima, è che la riduzione tiene conto in qualche modo delle tipologie costruttive e della loro capacità di dissipare energia. Il metodo del q-factor non è un metodo rigoroso, ma è un metodo largamente approssimato, in quanto l’accelerazione di picco corrispondente al collasso della struttura non è valutata direttamente. *“La esatta valutazione del q-factor deve essere fatta per mezzo di analisi dinamiche non lineari. Come alternativa molti autori hanno proposto metodi approssimati per la valutazione del q-factor a fini di progetto, ma i risultati corrispondenti sono molto spesso differenti e qualche volta contraddittori. La caratteristica delle normative di nuova generazione è di alleggerire i*

*progettisti da calcoli molto ardui, assegnando il valore di  $q$  per le tipologie principali*”[6]. Questo è il metodo del  $q$ -factor, non è un metodo rigoroso, non è un metodo qualitativamente diverso dal precedente, che comunque usava uno spettro addomesticato a valori ridotti. La attribuzione del  $q$ -factor per mezzo di tipologie strutturali serve ad aggirare la necessità di fare calcoli che sarebbero troppo ardui: questa è la realtà dello stato dell’arte.

Finchè non faremo calcoli dinamici nonlineari mediante un gran numero di accelerogrammi reali o realistici, finchè non terremo correttamente in conto la configurazione deformata, finchè non seguiremo fino a collasso il fluire plastico della struttura, noi faremo approssimazioni pesanti e difficilmente quantificabili. Quindi fino ad allora è nostro interesse usare metodi semplici, applicabili ed a favore di sicurezza. Chi lavorando sul  $q$ -factor mette in piedi sistemi complicati o addirittura astrusi, dimenticando il modo sostanzialmente approssimato col quale questi  $q$ -factor vengono valutati, e dimenticando il fatto che lo stesso metodo dello spettro di risposta è assai approssimato, usa una raffinatezza di valutazione che è puramente fittizia.

Come autorevolmente dice Wilson [5] *“gli ingegneri devono chiaramente capire che il metodo dello spettro di risposta è un metodo approssimato, [...] che ha significative limitazioni”*. *“L’Autore [Wilson] ritiene che in futuro saranno eseguite più analisi di time-history e che le molte approssimazioni legate al metodo dello spettro di risposta saranno evitate”*. Il metodo dello spettro di risposta *“non sarà mai accurato per l’analisi nonlineare e per sistemi a molti gradi di libertà”*. E allora, ci si chiede, perché renderlo ulteriormente più difficile con complicazioni tipo il calcolo di una duttilità funzione *“della distanza tra il punto di nullo del diagramma del momento e la cerniera plastica”*, quando poi l’estensione della cerniera plastica non è valutabile in modo rigoroso, e la sua posizione, come la posizione del punto di nullo del momento, non vengono correntemente valutate in modo preciso? E cosa vuol dire far dipendere dal valore della azione assiale il numero che ci deve dire se siamo in duttilità alta o bassa, e quindi che valore di  $q$  usare, e quindi che azioni di progetto usare, impiegando un metodo che comporta decine e decine di combinazioni per magari centinaia di elementi, se non sottrarre al controllo del progettista il dominio del suo progetto, per trasferirlo a procedure automatiche sempre più *inutilmente* complesse, sempre più difficilmente dominabili? Ma allora che si faccia il vero salto di qualità e si renda obbligatoria la time history nonlineare, allora si avrà una complessità, ma la si avrà *utile*. Non è il metodo dello spettro di risposta la via maestra, ma la via maestra è ancora troppo complessa per poter

essere percorsa dai più, questa è la situazione. Ha senso ammantare metodi pesantemente approssimati con complicazioni che rendono tutti i nostri calcoli macchinosi e impossibili da controllare?

Uno dei motivi per i quali questa Ordinanza ha avuto ed avrà un grande impatto è il fatto che essa abolisce il metodo delle tensioni ammissibili. Tra il metodo degli stati limite e quello delle tensioni ammissibili si dice che non debbano esservi dubbi: sarebbe da preferire il metodo degli stati limite, più moderno, efficace e corretto.

In linea di principio questo è indubbiamente vero, ma in pratica perdurano una serie di sostanziali perplessità. Finchè il metodo degli stati limite verrà applicato utilizzando i risultati di una analisi elastica lineare, ovvero i risultati di una analisi ottenuta senza alcuna redistribuzione delle azioni interne, in ipotesi di piccoli spostamenti, parlare di metodo degli stati limite e di stato limite ultimo, o anche di “collasso” è improprio e mistificatorio. Infatti benchè si adottino i moduli di resistenza plastici, e si faccia uso di parabole-rettangolo, benchè a livello sezionale si faccia un calcolo basato sulla plasticità, in pratica le azioni interne di calcolo vengono correntemente calcolate con l’elasticità lineare (e le norme lo consentono). Le redistribuzioni plastiche, se ci sono, sono applicate fortunosamente (e sia consentito dire: in modo alquanto convenzionale e pasticciato) mediante il sistema di smussare i picchi dei diagrammi di momento o traslando rigidamente i diagrammi. I meccanismi di collasso e le corrispondenti cerniere plastiche non sono calcolati, ma solo stimati in modo indiretto mediante metodi che saranno anche validi, ma certo solo per strutture “ideali” (per geometria, carichi, vincoli), e non per strutture “reali”.

*“Tutti gli stati limite comunque, [...] incluso il cosiddetto stato limite ultimo, non hanno implicato una reale penetrazione nell’ambito nonlineare. Questo fatto, in combinazione con la natura statica dei carichi di gravità, ha condotto a correzioni pratiche minori al tradizionale approccio alla predizione della risposta strutturale, lineare (‘ut tensio sic vis’) e basato su forze” [7].*

Ma v’è di più, infatti sempre nel 1998 veniva scritto: *“solo recentemente è cominciato a diventare chiaro che è più razionale, e potenzialmente più affidabile, sviluppare delle procedure di progetto direttamente basate sugli spostamenti, definendo stati limite basati sugli spostamenti o sulle deformazioni, e quindi riguardanti direttamente il controllo del*

danno” [7]. La sensazione è che l’impianto dell’EC8 possa nascere in ritardo sostanziale, prima ancora di essere reso cogente.

Del resto allo stato attuale dell’arte – purtroppo- i metodi abordabili dalla gran parte dei professionisti sono relativamente semplici: già un’analisi modale, duole dirlo, è un calcolo fortemente complesso per la maggior parte degli ingegneri, i quali non sono stati minimamente preparati a farlo. Ed allora ha forse più senso spianare rapidamente la strada ai metodi davvero rigorosi come le analisi dinamiche non lineari (con la ricerca, con la pubblicazione di seri e curati testi esplicativi, e con il reale supporto ai professionisti, non con corsi frettolosamente organizzati presso gli Ordini professionali, incapaci di soddisfare le reali aspettative), consentendo nel frattempo nei casi più ordinari l’impiego di metodi approssimati chiari, semplici, ed a favore di sicurezza. Un approccio concreto e rispettoso dei principi di base, consapevole di quelle che sono le vere difficoltà e teso a non crearne di inutili. Un approccio, in una parola, sincero. Sotto questo profilo né l’Ordinanza, né lo stesso EC8, pur molto più chiaro e dettagliato della sua frettolosa riduzione in “Ordinanza”, appaiono a chi scrive adeguati allo scopo.

## Problemi reali

Queste nuove Norme Tecniche sono state collegate al crollo della scuola di San Giuliano come se da esse dipendesse il non ripetersi di eventi di quel tipo. Ciò sembra una forzatura. Scriveva autorevolmente Gavarini nel 1989 un importante articolo (“Verso la Nuova Normativa Sismica Nazionale”) nel quale vi è una serie di cose che sembrano estremamente attuali. Ci sia consentito di darle citazione lasciando a lui la parola [8].

*“Vi è una diffusa ignoranza dell’elevato grado di convenzionalità insito in molte ipotesi e verifiche nonché della esigenza che i modelli di calcolo adottati (e relativi codici per computer) siano aderenti alla realtà progettuale, prima, costruttiva, dopo. Tutto sommato non appare esagerato il dire che si attribuisce, di fatto, un vero potere magico al calcolo in sé. [...] In definitiva quasi nessuno in questo Paese crede o è messo in condizioni di credere, agli altri fattori di controllo del rischio”. E sotto la voce “controllo dei materiali”, “qui appena si esce dal campo delle costruzioni più importanti la situazione si può definire tragica”. E sotto la voce “esecuzione” “anche qui sono note le carenze, spesso clamorose, che caratterizzano le modalità esecutive ed i relativi controlli, con prassi*

*perverse diffuse, accettate alla luce del giorno*". E qui Gavarini citava tutte le pessime prassi che nullificano i vari ruoli previsti dalla legge, Progettista, Direttore dei Lavori, Collaudatore. E poi ancora *"Se la scossa è abbastanza severa nulla sfugge, e non valgono né i permessi sottratti con l'inganno o con la complicità di controlli frettolosi o meramente formali, né i bolli sulle carte, né i tabulati usciti da potenti elaboratori sulla base di modelli sbagliati o semplicemente vanificati da una infedele esecuzione"*. E nemmeno i condoni edilizi ottenuti per costruzioni abusive.

Infatti Gavarini citava, nel suo articolo, un documento dedicato alle costruzioni non ingegneristiche, e scriveva *"non è soltanto alle Nazioni in via di sviluppo che bisogna pensare in proposito, bensì anche ai settori minori e sommersi della edilizia di qualsiasi Paese: autocostruzione, costruzioni rurali, abusivismo; e tali settori hanno un peso non trascurabile nella formazione del rischio sismico, come è stato riconosciuto da tutti i presenti in una riunione tenuta a margine della recente 9a conferenza Mondiale di Ingegneria Sismica, peso al quale non corrisponde altrettanta attenzione da parte degli studiosi e delle Autorità."*

## Critiche di Metodo

Un ultimo insieme di osservazioni riguarda il metodo seguito per cambiare le norme. Il metodo della "Ordinanza" senza che preventivamente fosse possibile discutere.

Il testo è stato redatto in 100 giorni, approvato e direttamente posto in Gazzetta Ufficiale. Poi si sono fatti i convegni per spiegare cosa fosse, ed in contemporanea corsi ai quali sarebbe affidato l'arduo compito di formare rapidamente una nuova generazione di progettisti. Libri e documenti di studio sono assenti. Le software house rincorrono, alcune già sbandierano.

Ma in realtà *prima* bisogna fare i testi, i documenti di studio, i convegni, raccogliere le osservazioni. *Poi* si devono fare i corsi che danno notizia dei documenti di studio. *Poi* si deve lasciar passare un tempo sufficiente all'aggiornamento e si deve fare una Norma soggetta ad indagine pubblica. *Infine* si deve emanare una Norma cogente che sia inattaccabile: questo in un Paese che voglia progredire davvero.

## Riferimenti

- [1] Rugarli P., “Norme sismiche, precisazioni sulle novità legislative”, *Giornale dell’Ingegnere*, 1/11/2003
- [2] Dipartimento della Protezione Civile, Lettera Prot. DPC/SSN/0039603 del 17/9/2003
- [3] Ordinanza PCM 3316, “Modifiche ed integrazioni all’ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/3/2003”.
- [4] Crespellani T., intervento nel forum *on line* della Regione Emilia Romagna
- [5] E.L.Wilson “Dynamic Analysis Using Response Spectrum Loading”, CSI Web Site, Technical Papers, [www.csiberkeley.com/Technical\\_Papers.html](http://www.csiberkeley.com/Technical_Papers.html)
- [6] ECCS Manual of Design of Steel Structures in Seismic Zones, 1st ed., 1994, a cura di F.M. Mazzolani., V. Piluso.
- [7] Calvi G. M., Performance-based approaches for seismic assessment of existing structures, 11 European Conference Earthquake Engineering, Proceedings, Parigi 1998.
- [8] Gavarini C., “Verso la Nuova Normativa Sismica Nazionale”, atti del IV Convegno Nazionale “L’Ingegneria Sismica in Italia”, Milano 4-6 Ottobre 1989.
- [1], [2], [3], [4], [5] reperibili in [www.castaliaweb.com/ita/norme\\_sismiche.asp](http://www.castaliaweb.com/ita/norme_sismiche.asp)

### 5.7 Combinazioni di verifica agli stati limite

## COMBINAZIONI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE: IL NON DETTO DELLE NORMATIVE

Paolo Rugarli

*Ingegneria Sismica, n° 2 2004*

### Sommario

Questo articolo si riferisce alla determinazione delle combinazioni di verifica da adottare in accordo al metodo semi-probabilistico agli stati limite. Il lavoro intende porre in

evidenza che le combinazioni suggerite dalle norme italiane per gli stati limite ultimi, diverse da quelle previste dall'EC1, non sono a favore di sicurezza. Inoltre, le formule relative alle combinazioni di verifica per gli stati limite ultimi in presenza di carichi accidentali (sisma), presenti nelle norme italiane ed in quelle europee, non sono a favore di sicurezza. Verrà inoltre messo in luce che le formule previste dalle norme italiane e da quelle europee per le combinazioni relative agli stati limite di servizio, in generale, non sono a favore di sicurezza. Scopo del lavoro, inoltre, è quello di descrivere in modo comprensibile le numerose difficoltà riscontrate affrontando il problema in modo realmente conforme, e, per confronto, le considerevoli sottovalutazioni del problema oggi diffuse, e mostrare come, a voler essere realmente coerenti, le prescrizioni delle norme attualmente in vigore in Europa portino a una sostanziale abdicazione verso il calcolatore elettronico del lavoro di controllo e verifica del progetto, con tutte le conseguenze del caso, in gran parte inesplorate.

## Summary

*This paper deals with the rules used to set up limit states load combinations according to european and italian standards. The work shows that the combination rules for limit states suggested in italian norms, different from those in Eurocode 1, may be unsafe. Also, the combination rules used for ultimate limit states concerning accidental actions, as described in Eurocodes and italian norms, may be unsafe. The same holds for damage limit states load combinations, in both european and italian standards.*

*Moreover, it will be shown that these rules, when consistently applied, lead to hundreds or thousands of load combinations in quite frequent structural problems. This, in turn, leads to still unexplored problems of large-data management and large-data checks, and tends to shift the leading design action from the designer to computers.*

### Parole Chiave

Combinazioni, Stati limite, Eurocodici

### Keywords

Combination rules, Limit States, Eurocodes

## 1 Introduzione, notazione

Chiamiamo “caso di carico” una riunione di azioni aventi tutte una medesima causa fisica e che debbano considerarsi agenti contemporaneamente. Nella analisi di modelli di calcolo strutturale è uso definire un certo numero di casi di carico base che vengono poi combinati tra loro per generare delle situazioni significative ai fini delle verifiche. La combinazione dei casi di carico base viene introdotta per tenere in conto il verificarsi contemporaneamente di azioni che siano statisticamente indipendenti. Distinguiamo pertanto in modo ben marcato tra “casi” e “combinazioni”.

L’aver raggruppato le azioni dovute ad una causa comune in un unico caso di carico, comporta il fatto che un eventuale fattore amplificativo o riduttivo dei valori caratteristici, introdotto per tener conto delle aleatorietà, si applichi a tutte le azioni presenti in un caso, e quindi implica che le azioni di un caso vengano tutte amplificate o tutte ridotte allo stesso modo.

Sia dato un generico problema strutturale nel quale compaiano  $n$  casi di carico differenti. Ciascuno dei casi di carico abbia una sua etichetta che ne distingua la tipologia secondo almeno tre grandi famiglie: casi relativi ad azioni permanenti (sia  $ng$  il numero di questi casi), a carichi variabili ( $nq$ ), a carichi accidentali ( $na$ ). Sia dunque

$$n = ng + nq + na$$

Per “accidentale” noi qui intendiamo, in ossequio a EC1, quelle azioni che in italiano troviamo anche tradotte con “eccezionali”: urti, esplosioni, sismi, ecc.. Accidentale *non* è quindi il carico variabile “normale”, ma un carico di natura eccezionale ed intrinsecamente assai raro.

Ad ogni caso di carico non permanente sia associata una terna di moltiplicatori atti a ottenere i valori rari (0), frequenti (1) e quasi permanenti (2) delle azioni raggruppate in un certo caso di carico.

Le regole di generazione delle combinazioni suggerite dalle normative italiane ([2], [3], [4]) assomigliano a quelle previste dagli Eurocodici, ed in particolare a quelle previste da Eurocodice 1 parte 1.1 ([1]), con alcune importanti differenze che varrà qui la pena di rilevare. Nelle nostre norme troviamo le seguenti regole di combinazione valide per lo stato limite



ultimo, escludendo per ora le azioni accidentali ed eliminando, per semplicità di trattazione, i carichi dovuti alla precompressione ([2]):

$$\gamma_g G_k + \gamma_q Q_{1k} + \sum_{i=2}^{nq} \gamma_q (\psi_{0i} Q_{ik}) \quad (1)$$

dove il pedice “k” sta per caratteristico, il pedice “g” per permanente ed il pedice “q” per variabile.

In pratica combinazioni di questo tipo devono essere generate prendendo a turno uno dei casi di carico variabili come base della combinazione e sommando poi tutti gli altri ridotti al valore “raro” mediante il pertinente coefficiente  $\psi_{0i}$ .

Nel caso in cui siano presenti anche carichi di tipo accidentale, alle combinazioni di tipo (1) occorre aggiungere combinazioni di tipo

$$G_k + \gamma_{1a} E_a + \sum_{i=1}^{nq} (\psi_{1i} Q_{ik}) \quad (2)$$

dove l’indice “a” sta per accidentale e occorre tenere in conto, a turno, tutti i possibili carichi di tipo accidentale.

## 2 Osservazioni sulle formule di normativa

### 2.1 Carichi permanenti

Una prima osservazione riguarda la parte permanente del carico; osserviamo che la norma italiana assume:

$$\gamma_g G_k$$

e non

$$\gamma_{gi} G_{ki}$$

come invece scritto nell’EC1. La norma italiana fa come se vi fosse un’unica condizione di carico di tipo permanente.

In realtà questo non è vero: normalmente i carichi “permanenti” sono composti da una serie di contributi che tra loro sono statisticamente indipendenti, e che dovranno pertanto essere messi in casi di carico differenti. Pertanto dovremo ad esempio distinguere tra peso

proprio strutturale e carichi permanenti portati, poiché questi possono variare indipendentemente, e magari uno può essere massimo mentre l'altro è minimo, o viceversa.

E' da tenere ben presente che tali casi di carico non hanno la medesima distribuzione spaziale, in generale non si ottengono l'uno dall'altro mediante una semplice amplificazione o riduzione: sono a tutti gli effetti carichi diversamente distribuiti e diversamente collocati sulla struttura. Si noti che l'EC1 impone di considerare sia il valore superiore ( $\gamma_g = 1.4$ ) sia il valore inferiore ( $\gamma_g = 1$ ) di ciascun caso di carico permanente, proprio al fine di individuare le situazioni più pericolose.

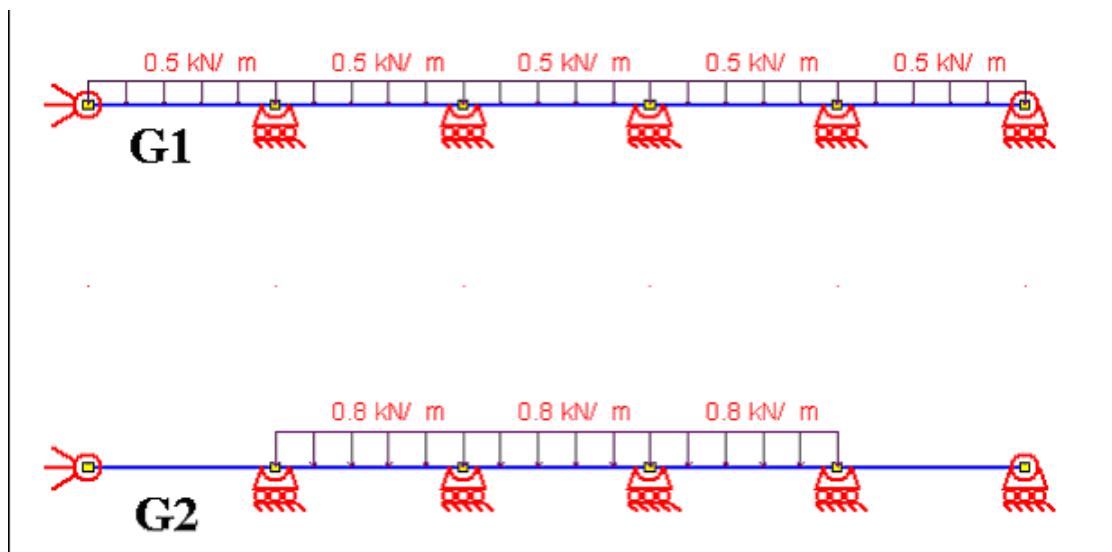


Fig. 1: Valori caratteristici dei carichi permanenti collocati in due casi di carico “base”: si immagina che i carichi in G1 o in G2 dipendano da un unico fattore ( $\gamma_{g1}$  o  $\gamma_{g2}$ )

Prendiamo ad esempio una trave continua di 5 campate ed esaminiamo il peso proprio strutturale ( $G1=0.5\text{kN/m}$ ) applicato sulle cinque campate ed i permanenti portati ( $G2=0.8\text{kN/m}$ ), applicati alle sole tre campate centrali (fig. 1). Mettiamo nel caso 1 il peso proprio e nel caso 2 i permanenti. Dovremo considerare per lo meno le seguenti situazioni:

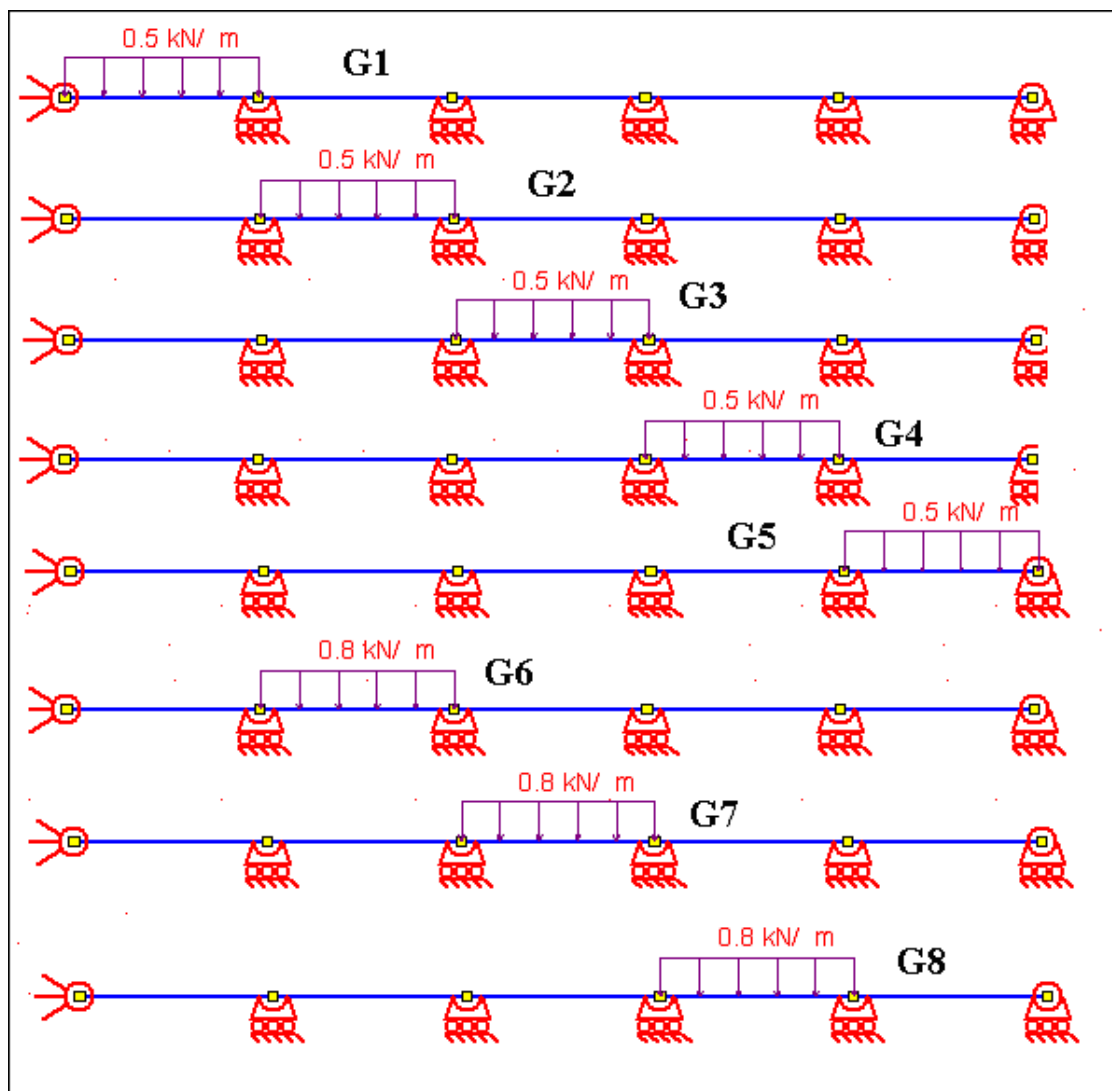
$$1,4G1+1,4G2$$

$$1,4G1+1,0G2$$

$$1,0G1+1,4G2$$

$$1,0G1+1,0G2$$

Se ammettiamo che tutte le azioni all'interno del medesimo caso di carico siano statisticamente collegate ad un unico fattore  $\gamma_{gi}$ , abbiamo tenuto in conto tutte le possibilità.



**Fig. 2:** Se si impone che il carico su ogni campata sia statisticamente indipendente dagli altri si hanno 8 casi di carico base, ciascuno dei quali ha un suo  $\gamma_{gi}$ .

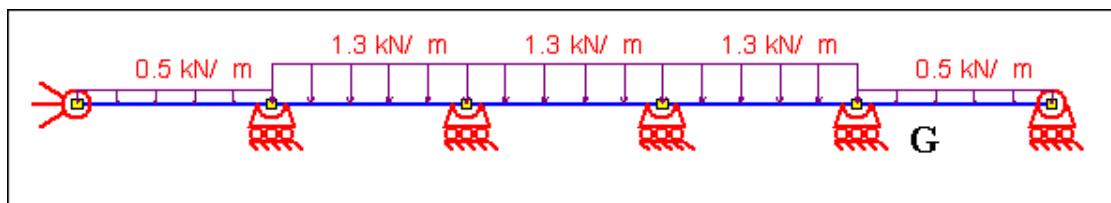
Se invece ammettiamo che all'interno del caso di carico le singole azioni possano dipendere da un proprio  $\gamma_{gi}$  (e potremmo desiderare di far ciò per ottenere le scacchiere di carichi permanenti più sfavorevoli), allora non avremmo dovuto tenere in conto solo 2 condizioni di carico base, bensì 8: 5 condizioni di carico relative, ciascuna, ad una campata

soggetta ai carichi permanenti dovuti al peso proprio, e 3 casi di carico relativi ai permanenti applicati ad una singola campata delle tre caricate (fig. 2).

In questo ultimo caso avremmo dovuto considerare tutte le possibili combinazioni di  $\gamma_g$  eguali a 1,4 oppure a 1,0, applicate a tutte e otto le condizioni di carico permanenti così trovate. Solo così facendo avremmo ritrovato, per tutte le campate, le situazioni più sfavorevoli. E' chiaro che un simile ragionamento è *in larga misura convenzionale*: infatti nessuno può dire quale sia la scala alla quale fermarsi: carichi completi, carichi su una campata, carichi su metà campata, su un terzo, o chi sa cosa e come.

A rigore la circostanza che decide quante condizioni di carico assumere è questa: sono davvero statisticamente correlate ad un unico fattore le singole azioni presenti in caso di un dato carico base?

Se sì il caso di carico va bene, se no esso dovrà essere ulteriormente suddiviso in casi elementari.



**Fig. 3: la nostra norma assume che tutti i permanenti stiano in un unico caso di carico**

E' ben chiaro (fig. 3), comunque, che attribuire a tutte le azioni permanenti presenti sulla struttura un unico valore di  $\gamma_g$ , come fa la nostra norma (a differenza dell'EC1) rappresenta il massimo della semplificazione possibile, e di fatto ciò diminuisce di molto il numero delle combinazioni da indagare ( ed anche l'efficacia della richiesta di indagare il valore superiore ed il valore inferiore delle azioni permanenti).

## 2.2 Carichi variabili

Una analoga semplificazione si ha nella nostra norma per i carichi variabili: tutti i casi di carico variabili hanno in comune il fattore  $\gamma_q$  (che le nostre norme pongono eguale a 1,5 oppure eguale a 0, a seconda che il carico corrispondente diminuisca o aumenti la sicurezza), mentre in EC1 troviamo:

$$\sum_{i=1}^{nq} \gamma_{gi} G_{ki} + \gamma_{q1} Q_{1k} + \sum_{i=2}^{nq} \gamma_{qi} \psi_{0i} Q_{ik} \quad (1bis)$$

che è ben diversa dalla (1) della nostra normativa, in quanto il termine  $\gamma q$  dipende da  $i$  e non è eguale per tutti i carichi variabili. La differenza non è affatto trascurabile e porta a rilevanti semplificazioni non giustificate: a ben vedere la (1) è *errata* in quanto esclude che *solo alcuni* dei carichi variabili si presentino contemporaneamente al carico variabile fondamentale, ed esclude che i carichi variabili siano statisticamente indipendenti. Ciò porta, *anche in casi elementari*, a pericolose sottostime delle azioni interne, sottostime che nei casi elementari il buon senso ingegneristico, pur non imbrigliato in formule statistiche, porta senz'altro ad escludere.

Si darà più avanti un esempio esplicito a dimostrazione del fatto che tali formule (1) sono errate, affermazione della quale non sfugge a chi scrive né la gravità né le pesanti implicazioni.

Si deve infatti osservare che se le (1) sono errate perché a sfavore di sicurezza per qualche elemento strutturale, allora il loro uso diretto o la loro implementazione automatica in qualche software di calcolo, ed il loro successivo fiducioso impiego da parte dei progettisti, può portare a situazioni assai pericolose.

Si chiede pertanto che le norme vengano al più presto corrette, ponendo fine ad una imprecisione che dura da quasi un quarto di secolo. Va infatti incidentalmente detto che la formula (1) è presente nelle nostre norme da gran tempo: in [7], 1982, era scritto

*“si adotteranno le combinazioni del tipo”*

mentre nella più recente circolare del 1996 è scritto, in modo più mitigato ma pur sempre fuorviante

*“si adotteranno le combinazioni espresse simbolicamente come segue [formula (1)] ed il coefficiente  $\gamma q$  (pari a 1,5 oppure a 0) va applicato a ciascun carico  $Q_{ik}$  con il valore appropriato”*

In pratica si tenta di dire che non è la (1) ma la (1bis) da considerare, ma lo si dice in modo involuto e poco comprensibile, stante il fatto che la formula (1) ha il  $\gamma q$  a fattor comune. Inoltre si continua a dire che “si adotteranno” le combinazioni mentre, come vedremo, le combinazioni (1) *non sono* da adottare.

La formula (1) è infatti reperibile nel *Code Modele* del 1978 ([8]). E nel *Code Modele*, dopo la formula (1) veniva scritto:

*“Questa equazione è simbolica e non è, in generale, direttamente applicabile”.*

Non a caso pochi paragrafi dopo veniva invece proposta la (1bis), quella che ancora oggi è presente in ECI. Del resto in quegli anni di calcolatori per uso personale non v’era l’ombra, e gli estensori del *Code Modele* trovavano modo di scrivere

*“Molto spesso, nel calcolo, il numero di azioni individuali da considerare è evidente, e sarà raramente necessario tenere in conto più di due azioni variabili”.*

affermazioni che oggi fanno sorridere chiunque abbia a che fare con modelli reali di strutture reali (tralasciamo gli esempietti usati per dimostrare una semplicità che non esiste).

Non è dato sapere perché relativamente alla stessa equazione (1) la frase *“questa equazione è simbolica e non è in generale direttamente applicabile”* qui in Italia sia diventata *“si adotteranno le combinazioni espresse simbolicamente come segue”*: sarebbe interessante capirlo. Che senso ha dire “si adotteranno le combinazioni” facendo riferimento ad una formula errata?

### **2.3 Carichi variabili nelle combinazioni relative ai carichi accidentali**

Consideriamo ora le combinazioni relative ai carichi accidentali, le (2). E’ da notare che il coefficiente  $2_i$  in alcuni casi può valere 0: questo avviene quando si assume nullo il valore quasi permanente di una certa azione. Se questo accade il corrispondente carico variabile non è presente nel corso dell’azione accidentale. Per la normativa italiana questo è vero, ad esempio, per il vento. La presenza di un coefficiente  $2_i$  nullo diminuisce il possibile numero di combinazioni (2) da aggiungere a quelle di tipo (1). Alla base di ciò v’è il fatto che è molto improbabile che l’evento accidentale massimo si verifichi in concomitanza con azioni variabili in sé rare.

E’ da notare che il coefficiente  $\gamma_q$  è sparito: esso è implicitamente stato posto eguale a 1 per tutti i casi di carico variabili, *quindi di fatto è a fattor comune*. Ciò porta a scartare la possibilità che una azione variabile con effetto favorevole per qualche elemento strutturale

abbia la ventura *di non esserci* nel corso della azione eccezionale. Secondo la (2) ha da esserci per forza.

Si tratta di una assunzione non a favore di sicurezza, che compare anche nell'EC1, e che anche è stata confermata dalle recenti norme [4] (la ben nota “Ordinanza 3274” sulle costruzioni sismiche).

Se si pensa ad esempio agli effetti di ribaltamento, si vede che la completa assenza di carichi variabili che potrebbero essere stabilizzanti (*completa assenza non prevista dalla (2)*) può portare per qualche elemento strutturale a situazioni peggiori: era la combinazione di sisma+permanententi senza i variabili, che sempre i progettisti in gamba prevedevano, perché a favore di sicurezza. Bene, tale combinazione è di fatto esclusa dalla (2), e non pare che questo sia corretto, perché sebbene una azione variabile possa avere un valore quasi permanente non nullo, *dato che essa è “variabile” può anche darsi che non ci sia*, cosa che, lo ribadiamo, è esclusa dalla (2) a causa del  $\gamma_q = 1$  a fattor comune.

Infatti un conto è valutare il valore quasi permanente di un'azione che può variare nel tempo, stabilendo con ciò il valore *non nullo* più probabile che si possa assumere come “quasi permanente”, un conto è sostenere che non vi sono rilevanti intervalli di tempo nei quali essa è nulla. Sono due cose nettamente diverse. In effetti, per fare uno degli innumerevoli esempi possibili, di notte e di sera i carichi variabili negli uffici non ci sono, ed un sisma può ben avvenire di notte, no? I teatri al mattino sono vuoti. Gli stadi nei giorni feriali sono vuoti. I carichi variabili avranno pure un valore “quasi permanente” pari a 0.3 volte il valore caratteristico, ma per la metà del tempo (o più) non ci sono affatto. *La metà del tempo o più.*

Pertanto a parere di chi scrive la (2) dovrebbe essere corretta come segue:

$$\sum_{i=1}^{n_g} G_{ik} + \gamma_{Ia} E_a + \sum_{i=1}^{n_q} (\gamma_{qi} \psi_{2i} Q_{ik}) \quad (2bis)$$

con la specificazione che “ $\gamma_{qi}$  può assumere il valore 0 o 1 a seconda di quale situazione risulti individualmente peggiore per la struttura”.

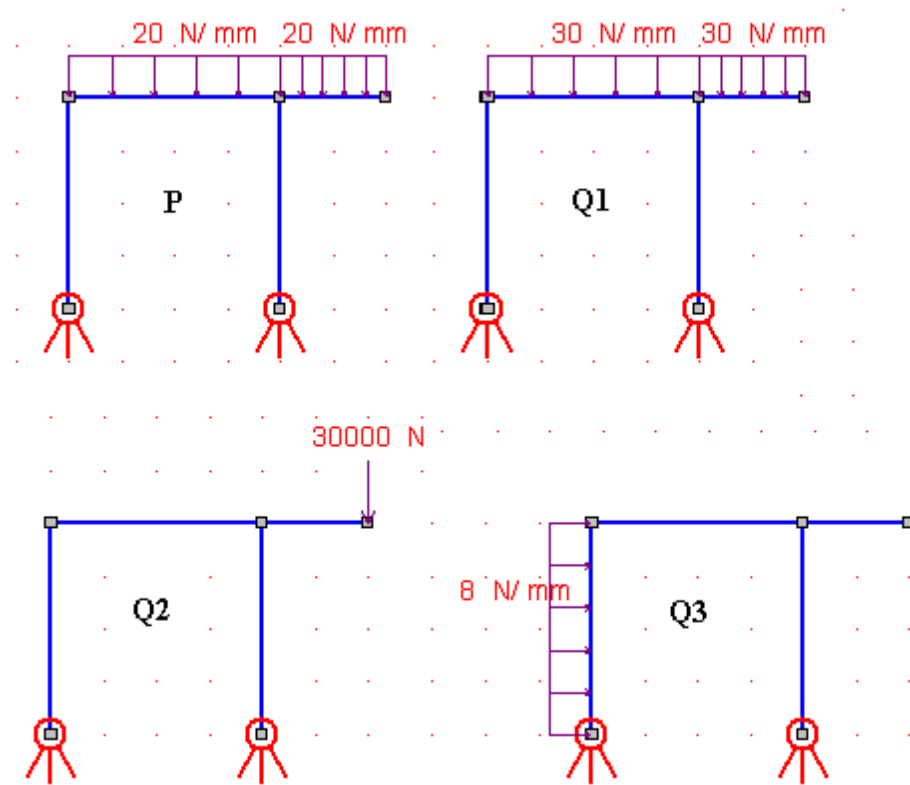
## 2.4 Esempi a confutazione delle formule di normativa

### 2.4.1 Stati limite ultimi

Nel seguente semplice esempio si vede come il mettere a fattore comune il  $\gamma_q$  porti a pericolose sottostime delle azioni interne, leggibili invece con la formula corretta che prevede di non mettere a fattore comune  $\gamma_q$ .

Abbiamo (fig. 4) un semplice portale alto 4m, luce di 4m e sbalzo di 2m. Le colonne sono in Rck250 30x30cmq, le travi sono 30x45cmq. I carichi permanenti (P) siano modellati con un carico uniforme di 20kN/m=20N/mm. Siano presenti tre carichi variabili:

1. **Q1** un carico uniforme di 30N/mm su tutto il traverso;
2. **Q2** un carico appeso all'estremità dello sbalzo e pari a 30000N;
3. **Q3** un carico distribuito pari a 8N/mm (ad esempio il vento).



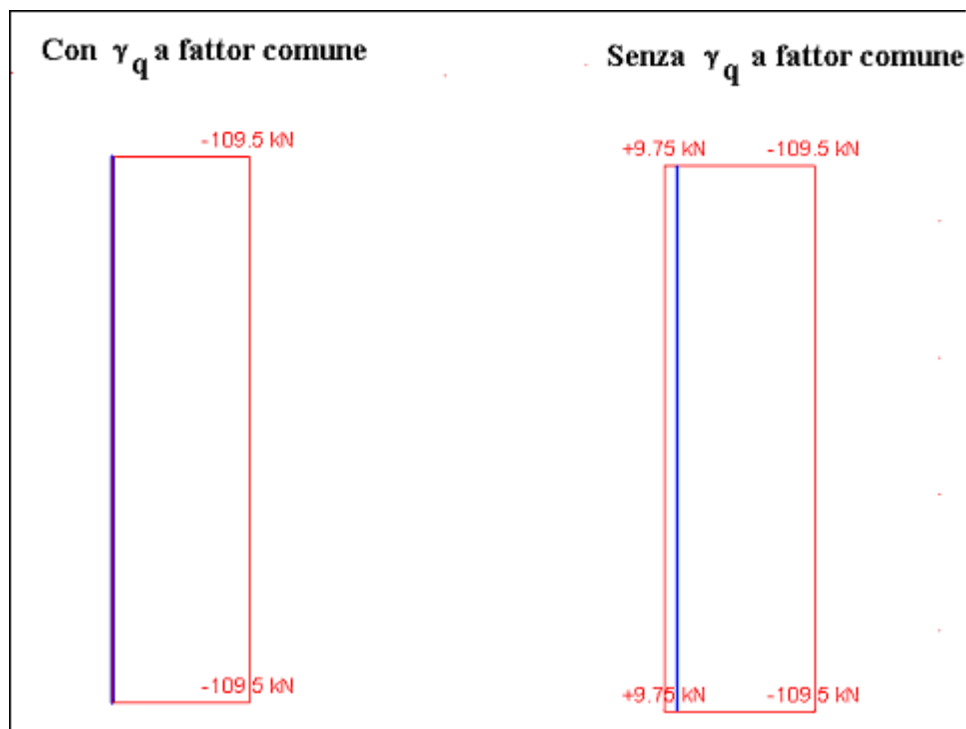
**Fig.4: Struttura esemplificativa: un carico permanente, tre carichi variabili: è allo studio la trazione (eventuale) nella colonna di sinistra.**



Con le formule della nostra normativa si generano le seguenti combinazioni (omettiamo di variare il segno di  $Q_3$  e supponiamo di tenere distinti il primo  $\gamma_q$  da quello a fattor comune nella sommatoria):

C1	$1,4P + 1,5Q_1 + 1,5(0,7 Q_2 + 0,7 Q_3)$
C2	$1,4P + 1,5Q_2 + 1,5(0,7 Q_1 + 0,7 Q_3)$
C3	$1,4P + 1,5Q_3 + 1,5(0,7 Q_1 + 0,7 Q_2)$
C4	$1,4P + 1,5Q_1$
C5	$1,4P + 1,5Q_2$
C6	$1,4P + 1,5Q_3$
C7	$1,0P + 1,5Q_1 + 1,5(0,7 Q_2 + 0,7 Q_3)$
C8	$1,0P + 1,5Q_2 + 1,5(0,7 Q_1 + 0,7 Q_3)$
C9	$1,0P + 1,5Q_3 + 1,5(0,7 Q_1 + 0,7 Q_2)$
C10	$1,0P + 1,5Q_1$
C11	$1,0P + 1,5Q_2$
C12	$1,0P + 1,5Q_3$

Se si esamina l'involuppo della azione assiale della colonna di sinistra (fig.5 a sinistra), si osserva che essa non va mai in trazione.



**Fig.5: Involuppo dell'azione assiale nella colonna di sinistra. Le combinazioni di normativa (a sinistra) non mettono in evidenza la trazione, correttamente predetta evitando di mettere a fattor comune il  $\gamma_q$ .**

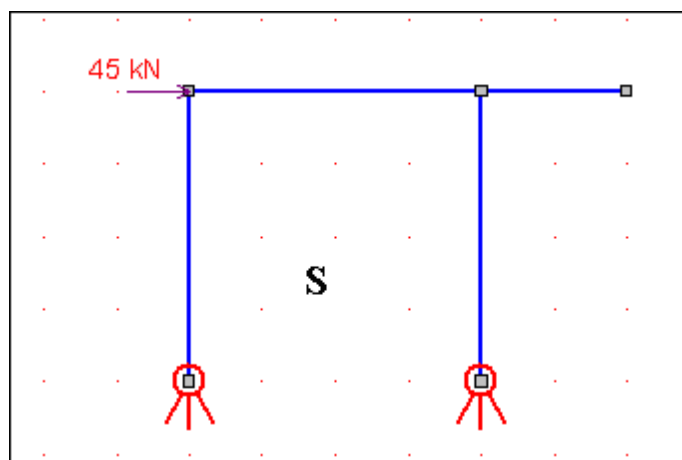
Esaminiamo ora le stesse combinazioni, ma aggiungiamo in più la combinazione seguente

**C13**

$$1,0P + 1,5Q3 + 0,0 \times 0,7 Q1 + 1,5 \times 0,7 Q2$$

Questa combinazione non ha il  $\gamma_q$  a fattor comune, essa usa un  $\gamma_q$  eguale a 0 per il carico Q1 ed un  $\gamma_q$  eguale a 1,5 per il carico Q2. Questa combinazione, *non prevista dalle formule della nostra normativa*, comporta una trazione nella colonna di sinistra (fig. 5 a destra), trazione che non avremmo potuto prevedere se avessimo usato le formule indicate da [2]. E' da notare che modificando opportunamente lo sbalzo o l'entità dei carichi avremmo potuto agevolmente avere valori di trazione assai superiori.

Si vuole ora esaminare il caso delle combinazioni sismiche, ed in particolare le regole di combinazione ribadite dalla recente Ordinanza, tratte da EC1 (senza modifiche se non quelle relative alla mancanza della sommatoria sui carichi permanenti). Stiamo parlando della formula (2).



**Fig. 6: il caso di carico "sisma"**

Aggiungiamo alla struttura che abbiamo trattato una nuova condizione di carico "sismica", schematizzata con una forza orizzontale agente al piano, valutata con la analisi

statica equivalente (fig. 6). Immaginiamo di aver calcolato tale forza pari a 45kN (prendiamo una forza relativamente alta in modo da rendere la condizione sismica significativa).

A questo punto aggiungiamo la condizione sismica **S** e, accanto alle combinazioni precedenti generiamo con le formule delle nostre norme (decreto ministeriale, Ordinanza 3274 o EC8 fa lo stesso) la seguente *unica* combinazione aggiuntiva (si noti che il vento Q3 non è concomitante in quanto il suo  $2=0$ ):

$$\mathbf{S1} \qquad \qquad \qquad \mathbf{1,0P+1,0S+(1x0,3Q1+1x0,3Q2)}$$

Se analizziamo questa combinazione, e la involuppiamo con le altre non sismiche, otteniamo una trazione nella colonna di sinistra stimata pari a +6kN.

Adesso aggiungiamo le combinazioni previste dalla (2bis) e scartate dalla (2), ovvero *combinazioni nelle quali alcuni carichi variabili non ci sono*:

$$\begin{array}{ll} \mathbf{S2} & \mathbf{1,0P+1,0S+(0,0x0,3Q1+1,0x0,3Q2)} \\ \mathbf{S3} & \mathbf{1,0P+1,0S+(1,0x0,3Q1+0,0x0,3Q2)} \\ \mathbf{S3} & \mathbf{1,0P+1,0S+(0,0x0,3Q1+0,0x0,3Q2)} \end{array}$$

Considerando anche queste combinazioni (*non previste dalle norme attualmente in vigore, inclusa l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274*), otteniamo che la azione assiale di trazione nella colonna di sinistra passa a +19,5KN, vale a dire un valore più che triplo di quanto stimato con le combinazioni di normativa.

Resta quindi evidenziato che le formule di combinazione per i carichi accidentali possono non essere a favore di sicurezza.

#### 2.4.2 Stati limite di servizio

Anche le formule previste per gli stati limite di servizio mettono a fattor comune  $\gamma_q$  ed anche loro non sono in generale a favore di sicurezza. Le formule di combinazione per gli stati limite di servizio sono le seguenti

$$\text{Combinazioni rare} \qquad \qquad \qquad G_k + Q_{ik} + \sum_{i=2}^{nq} \psi_{0i} Q_{ik}$$

Combinazioni frequenti

(3)

$$G_k + \psi_{1i} Q_{ik} + \sum_{i=2}^{nq} \psi_{2i} Q_{ik}$$

Combinazioni quasi permanenti

$$G_k + \sum_{i=1}^{nq} \psi_{2i} Q_{ik}$$

In tutte queste formule c'è tacitamente un fattore  $\gamma_q=1$  a fattore comune. Il seguente esempio, tratto da [10], di prossima pubblicazione, mette molto efficacemente in evidenza il problema.

Sia data una copertura non praticabile per la quale i carichi di riferimento siano

Permanente	G	
0.2kN/mq		
Variabile da Neve	Qn	0.55kN/mq
Variabile da Vento	Qv	-0.65kN/mq

Caso	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Vento	0.7	0.2	0
Neve	0.7	0.2	0

Il variabile da vento sia una depressione (da qui il segno negativo). Secondo le norme in vigore sono da considerare le seguenti combinazioni (per semplicità di lettura in grassetto sono i valori degli ):

RARE

$$0.2 + 0.55 + [0.7 \times (-0.65)] = 0.295 \text{ kN/mq}$$

$$0.2 - 0.65 + [0.7 \times 0.55] = -0.065 \text{ kN/mq}$$

FREQUENTI

$$0.2 + 0.2 \times 0.55 + [0 \times (-0.65)] = 0.310 \text{ kN/mq}$$

$$0.2 + 0.2 \times (-0.65) + [0 \times 0.55] = 0.07 \text{ kN/mq}$$

QUASI PERMANENTI

$$0.2 + 0 \times 0.55 + 0 \times (-0.65) = 0.2 \text{ kN/mq}$$

Con queste formule il carico di calcolo sarebbe *con le attuali normative*:

MAX	0.310kN/mq
MIN	-0.065kN/mq.

Proviamo ora a considerare le combinazioni rare, ed ammettiamo che il  $\gamma_q$  non sia a fattor comune e che possa assumere anche il valore nullo (come è sacrosanto dato che si tratta di azioni variabili):

Aggiungeremo le combinazioni

$$\begin{aligned} \text{RARE} \quad & 0.2+0.55+[0 \times (-0.65)]=0.75\text{kN/mq} \\ & 0.2-0.65+[0 \times (0.55)] = -0.45\text{kN/mq} \end{aligned}$$

E pertanto i carichi da assumere per il calcolo sarebbero i seguenti:

MAX	0.75kN/mq
MIN	-0.45kN/mq.

*Decisamente maggiori di quelli previsti dalle formule di normativa.*

Rimarchiamo il fatto che queste formule (3), *in generale non a favore di sicurezza*, sono ubiquie: si trovano nel Decreto Ministeriale del 1996, si trovano nell'EC1, nell'EC3, nell'EC2. Esse dovrebbero essere corrette, a parere di chi scrive, con le seguenti:

Combinazioni rare	$\sum_{i=1}^{nG} G_{ki} + Q_{ik} + \sum_{i=2}^{nQ} \gamma_{qi} \psi_{0i} Q_{ik}$
Combinazioni frequenti (3bis)	$\sum_{i=1}^{nG} G_{ki} + \psi_{1i} Q_{ik} + \sum_{i=2}^{nQ} \gamma_{qi} \psi_{2i} Q_{ik}$
Combinazioni quasi permanenti	$\sum_{i=1}^{nG} G_{ki} + \sum_{i=1}^{nQ} \gamma_{qi} \psi_{2i} Q_{ik}$

con la specificazione “ $\gamma_{qi}$  deve assumere il valore 0 o 1 a seconda di quale situazione risulti individualmente peggiore per la struttura”.

### 3 Il numero delle combinazioni

Passiamo ora ad esaminare il problema del numero di combinazioni che occorrerebbe generare secondo le formule (1bis) e (2bis). Ad una prima lettura può apparire che il numero di combinazioni richiesto dalla (1bis) (la (1) la mettiamo da parte) sia pari a **nq**, ovvero una per ogni distinto carico variabile. Per la (2bis) si può credere che il numero di combinazioni sia eguale a **na**.

In realtà le cose sono molto molto diverse. Nei prossimi paragrafi verrà chiarito come, a causa di una serie di motivi, il numero di combinazioni di cui occorre tener conto sia molto più elevato.

### 3.1 *La matrice di contemporaneità*

Una prima ragione per la quale il numero di combinazioni cresce è che i carichi variabili collocati nelle varie condizioni di carico base possono dover essere mutuamente esclusivi. In altre parole può accadere che in presenza di un certo caso di carico variabile I i casi di carico J, K... non debbano essere presenti.

Del resto in [1] troviamo esplicitamente scritto: “actions which cannot occur simultaneously, for example, due to physical reasons, should not be considered together in combinations”.

Volendo fare un esempio, possiamo considerare il caso di un carico che assume differenti configurazioni, per esempio m, poste in m distinti casi di carico: si pensi alle differenti posizioni di un carico mobile, o alle differenti “scacchiere” di un carico variabile posto su una struttura.

Nella circolare [2] a spiegazione della norma [3], il punto non è esplicitamente chiarito. Resta tuttavia ben evidente che, ad esempio, un carico mobile non può essere contemporaneamente in due posizioni diverse.

Per tener conto di questo problema occorre generare una matrice quadrata booleana, la quale dica, per ogni generico caso di carico variabile I, se i casi di carico variabili J (con J diverso da I) siano o meno ammessi ad essere contemporaneamente agenti rispetto ad I.

Per fissare le idee consideriamo il seguente primo insieme di condizioni di carico.

Caso	Nome sintetico	Tipo
1	G1	Permanente (peso strutture)

2	G2	Permanente (carichi portati)
3	V1	Variabile "V" (prima scacchiera)
4	V2	Variabile "V" (seconda scacchiera)
5	V3	Variabile "V"(carichi pieni)
6	W1	Variabile "W" (vento x)
7	W2	Variabile "W" (vento y)
8	T1	Variabile "T" (termico)

Introduciamo la *matrice di contemporaneità* per la struttura in esame:

	Caso 3 V1	Caso 4 V2	Caso 5 V3	Caso 6 W1	Caso 7 W2	Caso 8 T1
Caso 3 V1	-	0	0	1	1	1
Caso 4 V2	0	-	0	1	1	1
Caso 5 V3	0	0	-	1	1	1
Caso 6 W1	1	1	1	-	0	1
Caso 7 W2	1	1	1	0	-	1
Caso 8 T1	1	1	1	1	1	-

**Tabella 1: matrice di contemporaneità per la struttura in esame.**

In questa matrice il termine  $C_{ij}$  sta ad indicare se il caso di carico presente nella colonna  $j$  può presentarsi quando si presenta il caso di carico presente nella riga  $i$ . Il numero "0" indica che non si può presentare, il numero "1" indica che si può presentare. La matrice è simmetrica.

La matrice che abbiamo scritto nel nostro esempio ci dice che nessun carico di tipo VI può presentarsi contemporaneamente ad un carico di tipo VJ. Si noti che la contemporanea presenza di vento X ed Y è esclusa: se si vuole un vento diretto con un certo angolo, occorrerà aggiungere una condizione di carico che lo preveda esplicitamente (e che escluda le altre). La mancanza del vento in direzione inclinata è voluta: si intende far vedere che anche in un caso

molto semplice il numero di combinazioni che otterremo è molto elevato. A fine lavoro verranno dati i risultati anche per casi più realistici e approfonditi.

Tenendo conto della impossibilità della presenza contemporanea dei vari casi di carico e di tutte le permutazioni possibili, si ottengono 19 combinazioni, la prima delle quali prevede solo i permanenti e nessun variabile.

Infatti si ottengono:

- A1) 1 combinazione con solo i permanenti
- A2) 2 combinazioni con a base il caso 3 (concomitanti termico + vento x oppure + vento y);
- A3) 2 combinazioni con a base il caso 4 (come sopra)
- A4) 2 combinazioni con a base il caso 5 (come sopra);
- A5) 3 combinazioni con a base il caso 6 (concomitanti T1 e V1, V2 o V3);
- A6) 3 combinazioni con a base il caso 7 (come sopra);
- A7) 6 combinazioni con a base il caso 8 (ognuna delle tre V con ognuna delle due W);

### **3.2 Effetto segno**

E' possibile che alcune delle condizioni di carico base si presentino o con il segno positivo o con il segno negativo. In questo caso ciascuna combinazione precedentemente definita dovrà essere ulteriormente suddivisa in altre combinazioni, in modo da considerare tutte le possibili permutazioni possibili. Se immaginiamo che i casi 6, 7, ed 8 possano avere segno positivo o segno negativo, il numero delle combinazioni cresce e da 19 va a 73.

Precisamente avremo:

- B1) 1 combinazione coi soli permanenti
- B2) 8 combinazioni con a base il caso 3 (concomitanti termico o vento x o y, tutti col più o il meno:  $2^3=8$ );
- B3) 8 combinazioni con a base il caso 4 (come sopra);
- B4) 8 combinazioni con a base il caso 5 (come sopra);



- B5) 12 combinazioni con a base il caso 6 (concomitanti T1 e V1, V2 o V3, le 3 viste in precedenza in A5 si sdoppiano due volte, a causa di T ed a causa di W1, ovvero dello stesso caso 6);
- B6) 12 combinazioni con a base il caso 7 (come sopra);
- B7) 24 combinazioni con a base il caso 8 (le precedenti 6 viste in A7 si sdoppiano due volte: a causa di T1 ed a causa di W1 o W2).

### 3.3 Effetto inf-sup

Le norme si premurano di spiegare che nel caso in cui un carico permanente produca un effetto favorevole, il suo coefficiente  $\gamma$  deve valere 1 e non 1.4. Questo vuol dire che ciascun carico permanente indipendente deve assumere il suo valore superiore ( $\gamma_g = 1,4$ ) o il suo valore inferiore ( $\gamma_g = 1$ ). Di questo non abbiamo tenuto conto nel nostro esempio, sino ad ora.

Si noti che in una struttura reale non è affatto possibile dire a priori che *per tutti gli elementi strutturali* un carico permanente al valore superiore rappresenti il massimo cimento: al contrario si deve sostenere che in ogni struttura reale esistono uno o più componenti che devono essere verificati anche per combinazioni che comportino i valori inferiori dei carichi permanenti. Si pensi ad esempio alla possibilità di trazione nelle colonne o alla verifica delle fondazioni sotto effetti ribaltanti quali normalmente producono vento o sisma.

Ricordiamo che non è affatto corretto assumere che il valore superiore o inferiore dei carichi permanenti debba presentarsi in contemporanea tra essi: ogni condizione di carico permanente è indipendente dalle altre ed ha una distribuzione spaziale diversa, e quindi si possono dare casi in cui il peggio avviene per particolari sequenze di sup/inf nei vari casi di carico di tipo permanente.

Se si tiene conto della variabilità inf/sup di ciascuno dei due carichi permanenti che sono stati ipotizzati per la nostra struttura, si ottiene che il numero di combinazioni passa a 291. Il numero è sostanzialmente ottenibile moltiplicando per 4 il numero di precedenti combinazioni (73), e togliendo 1 (quella coi carichi permanenti da soli già esistente). Il numero 4 deriva dal fatto che si possono dare le seguenti possibilità per i casi 1 e 2:

- sup/sup
- sup/inf

- inf/sup
- inf/inf

mentre in precedenza avevamo considerato il solo caso sup/sup. Si ribadisce che i carichi permanenti possono in generale essere applicati a zone differenti della struttura: per esempio il peso proprio strutturale può essere equidistribuito sulla struttura, mentre i carichi permanenti portati possono riguardare una parte specifica della struttura (vedi fig. 1).

A questo punto dobbiamo constatare che analogo ragionamento sui valori superiore ed inferiore deve essere fatto per ciascun carico variabile, nessuno escluso (ed è questo il motivo per cui il  $\gamma_q$  a fattor comune della (1) è errato). Infatti data la arbitraria disposizione dei carichi nello spazio (stiamo parlando ovviamente di strutture reali, civili, industriali, non di schemi semplificati) occorre anche in questo caso osservare che un valore ridotto può, in taluni componenti strutturali, generare situazioni peggiorative, né a priori siamo in grado di escluderlo. *Non è affatto detto che tutti i carichi variabili agenti contemporaneamente producano un effetto peggiore di quello prodotto da alcuni carichi (terne, quaterne...) agenti senza altri.* Ad esempio abbiamo visto che nei riguardi del rischio di trazione delle colonne, in un banale portale, la situazione peggiore è quella con il vento massimo, i permanenti minimi, i variabili verticali nulli, una situazione che si ottiene annullando gli effetti dei variabili e minimizzando quelli dei permanenti.

Tornando al nostro esempio-test, con 8 condizioni di carico base dovremo pertanto sdoppiare ogni evenienza di ciascun carico variabile, mettendo sia il suo valore superiore ( $\gamma_{qi} = 1,5$ ) sia quello inferiore ( $\gamma_{qi} = 0$ ). E dovremo naturalmente considerare tutte le permutazioni possibili. Quindi il numero delle combinazioni passa a 675.

Nel generare le combinazioni (con l'ausilio di un calcolatore elettronico) siamo naturalmente stati attenti a non generarne di ridondanti. In particolare:

- non vengono aggiunte combinazioni se già aggiunte in precedenza;
- non vengono aggiunte combinazioni se queste sono ottenibili da un'altra aggiunta in precedenza e per la quale i moltiplicatori possano essere ottenuti mediante un unico fattore moltiplicativo.

Questa ultima condizione deve essere spiegata. Supponiamo di aver generato una combinazione “F” definita dai valori degli  $n$  moltiplicatori dei casi di carico base  $F_i$ . Se tra le combinazioni già aggiunte figura una combinazione “G” definita dai moltiplicatori  $G_i$ , e se per ogni “i” risulta

$$F_i = K G_i$$

allora le due combinazioni sono simili. Se  $K < 1$  la combinazione “G” è peggiore di quella “F” e sarà tenuta, scartando F. Se invece  $K > 1$  allora la peggiore è “F” e sarà tenuta “F”, scartando “G”.

Abbiamo ottenuto 675 combinazioni per una struttura avente 8 casi di carico base, una struttura che certo non vuole essere specialmente ostica: non abbiamo tenuto in conto la neve, né il sisma. Abbiamo preso in considerazione le sole direzioni X ed Y e non abbiamo tenuto in conto direzioni inclinate rispetto agli assi di riferimento: l’unica caratteristica alla quale non abbiamo rinunciato è la genericità della struttura, la sua spazialità e la sua non completa simmetria, condizioni, queste, che quasi sempre si verificano nella realtà dei progetti.

Poi abbiamo applicato rigorosamente le formule ed i principi.

## 4 Esempi sul numero di combinazioni

Produciamo ora una serie di esempi su possibili altre configurazioni di carico.

### 4.1 Esempio 1: aggiungiamo il sisma

In questo esempio aggiungiamo due condizioni di carico di tipo accidentale (sisma). Occorrerà aggiungere alle combinazioni di tipo (1bis) anche le combinazioni di tipo (2bis).

Caso	Nome sintetico	Tipo
1	G1	Permanente (peso strutture)
2	G2	Permanente (carichi portati)
3	V1	Variabile “V” (prima scacchiera)
4	V2	Variabile “V” (seconda scacchiera)
5	V3	Variabile “V” (carichi pieni)
6	W1	Variabile “W” (vento x)
7	W2	Variabile “W” (vento y)
8	T1	Variabile “T” (termico)
9	E1	Accidentale “E” (sisma X)

10	E2	Accidentale "E" (sisma Y)
----	----	---------------------------

La matrice di contemporaneità sia la seguente:

	Caso 3 V1	Caso 4 V2	Caso 5 V3	Caso 6 W1	Caso 7 W2	Caso 8 T1	Caso 9 E1	Caso 10 E2
Caso 3 V1	-	0	0	1	1	1	1	1
Caso 4 V2	0	-	0	1	1	1	1	1
Caso 5 V3	0	0	-	1	1	1	1	1
Caso 6 W1	1	1	1	-	0	1	1	1
Caso 7 W2	1	1	1	0	-	1	1	1
Caso 8 T1	1	1	1	1	1	-	1	1
Caso 9 E1	1	1	1	1	1	1	-	0
Caso 10 E2	1	1	1	1	1	1	0	-

Inoltre i segni dei casi 9 e 10 potranno variare (trattandosi di sisma).

Nella seguente tabella si danno i risultati ottenuti facendo crescere gradualmente i criteri tenuti in conto (come per l'esempio precedentemente svolto):

Tenendo in conto	Numero combinazioni
Contemporaneità	25
Contemporaneità + segni	97
Contemporaneità + segni+ inf/sup sui permanenti	315
Contemporaneità + segni+ inf/sup sui permanenti+inf/sup sui variabili	734

## 4.2 Esempio 2: aggiungiamo tre possibili configurazioni per la neve

Abbiamo ora i seguenti casi di carico:

Caso	Nome sintetico	Tipo
1	G1	Permanente (peso strutture)
2	G2	Permanente (carichi portati)
3	V1	Variabile "V" (prima scacchiera)
4	V2	Variabile "V" (seconda scacchiera)
5	V3	Variabile "V"(carichi pieni)

6	W1	Variabile "W" (vento x)
7	W2	Variabile "W" (vento y)
8	T1	Variabile "T" (termico)
9	E1	Accidentale "E" (sisma X)
10	E2	Accidentale "E" (sisma Y)
11	S1	Variabile "S" (neve su metà copertura)
12	S2	Variabile "S" (neve su altra metà copertura)
13	S3	Variabile "S" (neve su tutta la copertura)

La matrice di contemporaneità sia la seguente:

	Caso 3 V1	Caso 4 V2	Caso 5 V3	Caso 6 W1	Caso 7 W2	Caso 8 T1	Caso 9 E1	Caso 10 E2	Caso 11 S1	Caso 12 S2	Caso 13 S3
Caso 3 V1	-	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Caso 4 V2	0	-	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Caso 5 V3	0	0	-	1	1	1	1	1	1	1	1
Caso 6 W1	1	1	1	-	0	1	1	1	1	1	1
Caso 7 W2	1	1	1	0	-	1	1	1	1	1	1
Caso 8 T1	1	1	1	1	1	-	1	1	1	1	1
Caso 9 E1	1	1	1	1	1	1	-	0	1	1	1
Caso 10 E2	1	1	1	1	1	1	0	-	1	1	1
Caso 11 S1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	0	0
Caso 12 S2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	-	0
Caso 13 S3	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	-

Inoltre i segni dei casi 11 e 12 e 13 non potranno variare (trattandosi di neve).

Si ottengono i seguenti risultati:

Tenendo in conto	Numero combinazioni
Contemporaneità	79
Contemporaneità + segni	313
Contemporaneità + segni+ inf/sup sui permanenti	1179
Contemporaneità + segni+ inf/sup sui permanenti+inf/sup sui variabili	3578

### 4.3 Esempio 3: un caso più articolato

Aggiungiamo un altro variabile R, le direzioni inclinate e sdoppiamo il termico per evitare la contemporaneità del riscaldamento con la neve. Abbiamo i seguenti casi di carico base:

Caso	Nome sintetico	Tipo
1	G1	Permanente (peso strutture)
2	G2	Permanente (carichi portati)
3	V1	Variabile "V" (prima scacchiera)
4	V2	Variabile "V" (seconda scacchiera)
5	V3	Variabile "V" (carichi pieni)
6	R1	Variabile "R"
7	W1	Variabile "W" (vento x)
8	W2	Variabile "W" (vento y)
9	W3	Variabile "W" (vento +45°)
10	W4	Variabile "W" (vento -45°)
11	T1	Variabile "T" (termico +25°C)
12	T2	Variabile "T" (termico -25°C)
13	E1	Accidentale "E" (sisma X)
14	E2	Accidentale "E" (sisma Y)
15	E3	Accidentale "E" (sisma +45°)
16	E4	Accidentale "E" (sisma -45°)
17	S1	Variabile "S" (neve su metà copertura)
18	S2	Variabile "S" (neve su altra metà copertura)
19	S3	Variabile "S" (neve su tutta la copertura)

E la seguente matrice di contemporaneità (si noti la non contemporaneità del riscaldamento con la neve):

	Caso 3 V1	Caso 4 V2	Caso 5 V3	Caso 6 R1	Caso 7 W1	Caso 8 W2	Caso 9 W3	Caso 10 W4	Caso 11 T1	Caso 12 T2	Caso 13 E1	Caso 14 E2	Caso 15 E3	Caso 16 E4	Caso 17 S1	Caso 18 S2	Caso 19 S3
<b>Caso 3 V1</b>	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Caso 4 V2</b>	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Caso 5 V3</b>	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Caso 6 R</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Caso 7 W1</b>	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Caso 8 W2</b>	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Caso 9 W3</b>	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Caso 10 W4</b>	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Caso 11 T1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0
Caso 12 T2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Caso 13 E1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1
Caso 14 E2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1
Caso 15 E3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1
Caso 16 E4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1
Caso 17 S1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0
Caso 18 S2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0
Caso 19 S3	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1

I risultati che si ottengono per le combinazioni degli stati limite ultimi sono i seguenti:

Tenendo in conto	Numero combinazioni
Contemporaneità	457
Contemporaneità + segni	913
Contemporaneità + segni+ inf/sup sui permanenti	3507
Contemporaneità + segni+ inf/sup sui permanenti+inf/sup sui variabili	11422

## 5 HAL9000

I risultati presentati mostrano con plastica evidenza che gli algoritmi previsti dalle norme europee attualmente in vigore, se applicati con coerenza, portano a dover considerare un numero di combinazioni così alto da escludere in modo categorico, anche per le strutture più semplici e per le configurazioni di carico più elementari, la possibilità di fare i calcoli a mano. Nei casi più frequenti è di fatto inibito al progettista anche il controllo sui risultati della elaborazione, a meno che non si intenda il controllo in senso meramente statistico, al pari delle combinazioni generate.

L'applicazione rigorosa delle formule di EC1/EC2/EC3 porta ad affidare al calcolatore elettronico il ruolo fondamentale ed ineludibile di generare tutti i miliardi di numeri necessari ad eseguire le verifiche. Non sembra esagerato riferirsi alla ben nota rappresentazione di Stanley Kubrick, che nel film *2001 Odissea nello Spazio* descrisse in modo romanzato i problemi derivanti da un inappropriato funzionamento di un elaboratore elettronico (HAL9000) il quale aveva smesso di funzionare correttamente.

Nel caso dei calcoli strutturali v'è l'aggravante che un eventuale cattivo funzionamento di una routine, potrebbe non comportare violazioni così plateali da essere immediatamente riscontrate. Se si vogliono realmente esaminare tutte le combinazioni potenzialmente sfavorevoli generabili con ragionamenti statistici per tutte le componenti strutturali, è necessario introdurre una intera gamma di nuovi controlli e di nuovi test volti a controllare i risultati ottenuti mediante l'elaboratore. Sebbene tale metodo non possa consentire di escludere la possibilità di errori e di imprecisioni nel calcolo, esso sembra indispensabile al fine di ridurre entro margini accettabili la probabilità che i numeri generati da un tale marchingegno siano effettivamente affidabili.

E' inoltre quanto mai necessario elaborare dei metodi atti a raffrontare tra loro stati di sforzo differenti al fine di scartare quelli sicuramente non rilevanti *prima* della esecuzione delle verifiche. E' infatti ben evidente che su strutture normali (centinaia di elementi) la necessità di verificare centinaia o migliaia di combinazioni porta a tempi di calcolo formidabilmente alti.

E' appena il caso di dire, poi, che se si esce dal campo lineare la necessità di indagare tutte le combinazioni potenzialmente rilevanti porta a tempi di calcolo del tutto fuori scala rispetto alle attuali – pur potenti – possibilità di elaborazione.

## 6 Rigore a tratti

Resta da capire come mai non sia corrente la segnalazione di questo genere di problemi nell'applicazione del metodo degli stati limite e delle regole di generazione delle combinazioni previste da EC1 e, di conseguenza, dalle varie normative nazionali.

Abbiamo visto che la identificazione dei casi di carico permanenti in un unico caso statisticamente omogeneo porta la normativa italiana a semplificare e notevolmente ridurre il numero di combinazioni attese.

Analogamente il mettere a fattor comune il  $\gamma_q$  porta ad avere assai meno combinazioni di quelle necessarie, e soprattutto, porta a scartare alcune importanti configurazioni dei carichi.

Tali semplificazioni sono solo artifici atti a ridurre il numero di combinazioni che diventerebbe, in caso contrario, nettamente più alto. Non vi sono, a parere di chi scrive, ragioni di principio né di metodo per considerare statisticamente indipendenti azioni che, pur essendo tutte “permanenti”, o “variabili”, hanno in realtà origini ben distinte.



Questo è un classico esempio di semplificazione brutale introdotta a fianco di un metodo che vorrebbe essere preciso e rigorosamente fondato su basi statistiche. Ci si chiede che senso abbia introdurre semplificazioni del genere e perché queste semplificazioni debbano avere crisma di attendibilità, mentre al progettista è di fatto negato il diritto di scegliere le combinazioni più rilevanti per la sua struttura. Non vi è una differenza qualitativa tra questa semplificazione ed altre, tipiche della progettazione tradizionale.

Citiamo ora da EC1, annesso A ([1]):

*A.(4) In linea di principio ci sono due modi per determinare i valori numerici dei fattori parziali:*

- a) Sulla base della calibrazione rispetto ad una lunga e efficace storia di tradizioni di costruzione; questo è il principio base per la maggior parte dei fattori proposti dalle versioni attuali degli Eurocodici.*
- b) Sulla base di valutazioni statistiche di dati sperimentali ed osservazioni sul campo; ciò deve essere fatto all'interno della cornice della teoria probabilistica della affidabilità.*

*A.(5) In pratica i due metodi possono anche essere usati in combinazione. In particolare un mero approccio statistico (probabilistico) di solito fallisce a causa della mancanza di dati sufficienti. **Qualche riferimento ai metodi di progetto tradizionali deve sempre essere fatta.** [...]*

Dunque non serve essere grandi esperti per capire che alla base dei metodi “probabilistici” che ci vengono presentemente indicati dal pensiero accademico prevalente come i migliori e più affidabili, ci sono pazienti ed approfondite analisi volte a cercare di sposare retroattivamente quei metodi semplificati che hanno mostrato la loro validità, e che poi formalmente si vogliono abolire in quanto arretrati ed inappropriati. In altre parole, ciò che è oggetto di attente calibrature da una parte, dall'altra viene bandito come metodologia vecchia ed inappropriata. E' peraltro significativo che la affermazione in grassetto sia scomparsa dalla più recente EN [9].

Ma v'è ancora da dire.

I metodi previsti dalle normative per la generazione delle combinazioni sono sistematicamente disattesi e non applicati sulla base di considerazioni che sono prive di rigore logico, e che di fatto introducono pesanti semplificazioni, giustificate unicamente dal tentativo

di rendere abordabili metodologie che invece snaturano il percorso progettuale trasferendone la responsabilità ai calcolatori elettronici.

E' classico, nei testi che esemplificano il metodo degli stati limite (molti i casi, ad esempio i manuali ECCS [5], [6] ma anche molti testi italiani, alcuni dei quali recentissimi) introdurre semplificazioni come la totale simmetria della struttura; la trascurabilità di un certo caso a confronto di altri; il non tenere in conto la simultaneità, per cui ad un carico variabile assunto come base corrispondono sempre *tutti* gli altri a valori ridotti; l'effetto inf/sup; ecc. ecc., semplificazioni che devono servire a mostrare la semplicità di un metodo che tutto è tranne che semplice. Tali semplificazioni o si riferiscono a strutture così elementari da non essere un realistico banco di prova (totalmente simmetriche, piane o addirittura lineari), o sono semplificazioni a stretto rigore non lecite (omessa analisi di contemporaneità, omessi valori superiore ed inferiore, omessa variabilità dei segni in virtù della simmetria non a caso ipotizzata), perché evitano di considerare combinazioni che hanno importanza come le altre, ma che se aggiunte con coerenza porterebbero alla palmare evidenza della necessità di HAL9000.

Il rigore preteso dalle normative agli stati limite italiane ed europee è pertanto un "rigore a tratti", introdotto dove è utile introdurlo, fatto sparire dove invece esso sarebbe d'impiccio.

## 7 Conclusioni

Si è mostrato che le normative italiane contengono da gran tempo indicazioni relative alla generazione di combinazioni che *non sono* a favore di sicurezza. Si chiede pertanto la loro modifica.

Anche le combinazioni per gli stati limite ultimi previste da EC1, dal Decreto Ministeriale e dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274, e relative ai carichi accidentali non sono a favore di sicurezza, dato che si esclude la selettiva nullità delle azioni variabili. Analogo discorso vale per le combinazioni relative agli stati limite di servizio. A tale riguardo si è proposta una modifica alla formula di EC1, del Decreto Ministeriale e dell'Ordinanza 3274 PCM, relativa alle combinazioni accidentali.

Si è evidenziato con chiarezza che le prescrizioni relative alla generazione delle combinazioni, sia per gli stati limite ultimi che per quelli di servizio, attualmente previste dalle normative europee, portano a generare centinaia o migliaia di combinazioni in casi strutturali del tutto correnti. Ciò tende a snaturare il lavoro del progettista.

Si propone pertanto di lasciare libero il progettista di decidere le combinazioni a proprio giudizio, ferma restando la necessità di impiegare i coefficienti parziali di sicurezza previsti dalla normativa. Può darsi che ciò comporti la generazione di combinazioni così improbabili da risultare impossibili, *ma tale approccio può portare a calcoli a favore di sicurezza con un numero assai inferiore di combinazioni.*

Le formule per la generazione delle combinazioni previste dalle normative devono essere ritirate per lasciar posto alla libertà (e responsabilità) del progettista. *In alternativa esse devono essere applicate rigorosamente*, con tutto quello che questo comporta: non sembrano essere corrette le attuali vie di mezzo, né le banalizzazioni così oggi alla moda.

## 8 Riferimenti

- [1] Eurocode 1 – Basis of design and actions on structures – Part 1: Basis of design, ENV1991-1, September 1994
- [2] Circolare 4 luglio 1996, N.156AA.GG./STC “Istruzioni per l’applicazione delle ‘Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi’ di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996”.
- [3] Decreto Ministeriale 16-1-1996 “Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi”, G.U. 5-2-1996, n. 29
- [4] Ordinanza Presidenza del Consiglio dei Ministri n°3274 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”, S.O. G.U. n.105, 8-5-2003.
- [5] Chantrain Ph., Schleich J.B., Conay Y., Mauer Th, „Manuale di progettazione per Edifici in Acciaio Controventati o a Nodi Fissi relativo all’Eurocodice 3“, ECCS, N°85 IT, prima ed. 1996
- [6] Examples to Eurocode 3, ECCS N°71, 1993
- [7] Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici, 24 maggio 1982, n. 22631 “Istruzioni relative ai carichi, sovraccarichi ed ai criteri generali per la verifica della sicurezza delle costruzioni”.
- [8] Code Modele, CEB-FIP Pour Les Structures En Beton, Septembre 1977 (pubblicato Avril 1978).
- [9] Eurocode- Basis of structural Design, prEN1990, final draft, July 2001

[10] Bernuzzi, C. “Proporzionamento di Costruzioni in Acciaio”, POLIPRESS, 2004, di prossima pubblicazione.

## **5.8 Spettro di risposta con fattore di errore**

### **Spettro di Risposta con Fattore di Errore**

Paolo Rugarli - Ingegnere Strutturista – Castalia srl

#### **Sommario**

Questo articolo esplicita gli errori commessi sugli spostamenti e sulle azioni interne in funzione degli errori commessi sulla intensità di massa, di rigidezza, sul fattore di struttura e sulla frequenza. Viene proposto un metodo ingegneristico per modificare i risultati di una analisi a spettro di risposta al fine di involuppare gli errori sugli spostamenti e sulle azioni interne.

#### **Summary**

This paper deals with mass intensity and stiffness intensity error consequences, while using response spectrum analysis. Explicit formulae showing displacements and internal stresses dependency on errors on mass and stiffness are presented. A simplified method to keep into account errors without re-running modal analyses is proposed.

#### **Parole Chiave**

Spettro di risposta, errore, Eurocodici, EC8

#### **Keywords**

Response spectrum, error, Eurocodes, EC8

## 1 Premessa

Il metodo dello spettro di risposta è oggi il metodo di riferimento per i calcoli di verifica delle strutture in zona sismica. Come è noto il metodo viene impiegato eseguendo una o più analisi modali con il metodo degli elementi finiti. Calcolati in questo modo i periodi dei modi di vibrare, le ascisse, vengono poi valutate le ordinate impiegando le curve di spettro proposte dalle varie normative. In questo modo si valutano i massimi effetti del sisma di progetto su ciascun modo, effetti che vengono poi combinati tra loro per mezzo di formule di combinazione, in genere di tipo quadratico (SRSS con *cluster factor*, CQC).

Le numerose incertezze presenti sui dati di partenza (masse, rigidezze, dimensioni geometriche, fattore di struttura) fanno sì che sia le ascisse dello spettro  $T$ , sia le ordinate a parità di ascissa  $C(T, q)$  siano in realtà solo plausibili approssimazioni.

Si propone pertanto di tener conto ingegneristicamente della presenza di errori nella valutazione dei periodi mediante la introduzione di opportuni fattori di errore, che tengano in conto la possibilità che masse, rigidezze e fattore di struttura abbiano valori intorno a quelli nominali ma non coincidenti con essi.

La precisione con la quale i programmi di calcolo valutano la risposta sismica è ampiamente fuorviante. Le ascisse devono essere considerate volenterose approssimazioni e non valori “esatti”. Ne consegue che si dovrà indagare quel che succederebbe anche nel caso di periodi prossimi (superiori o inferiori) a quelli nominalmente calcolati.

In questo lavoro viene proposto un metodo ingegneristico per tener conto di questo fatto senza dover rieseguire n analisi modali.

## 2 Fattori di errore

Supponiamo di aver quantificato una certa grandezza “d” nel modo che a noi analisti, in una certa fase del progetto, potrà sembrare il migliore. Contrassegniamo con un “\*” questa grandezza nominale  $d^*$ , e invece immaginiamo che la grandezza “d” assuma un certo altro valore a noi ignoto, che meglio potrebbe, nell’ambito del modello adottato, sposare le misure sperimentali. Sia “d” tale valore ottimo incognito.

Possiamo definire “fattore di errore su d, fed” un numero (sperabilmente prossimo ad 1) tale per cui

$$d = fedd^*$$

Il fattore di errore così definito dipende, per ciascuna grandezza “d”, da una moltitudine di circostanze. Volendo, in certi casi, sarà possibile eseguire una campionatura statistica pertinente (ovvero direttamente legata al caso allo studio) ed in tal modo stimare certi numeri convenzionali che chiamiamo “probabilità”. In altri casi si pretenderà, in base ad un giudizio soggettivo, che altre campionature statistiche, eseguite in altre situazioni, siano pertinenti ed adattabili al caso allo studio, e quindi si assegneranno a “d” le medesime caratteristiche statistiche valutate per grandezze identiche in altri casi o per grandezze più o meno vagamente simili, sempre in altre situazioni. In altri casi ancora non si disporrà di alcuna campionatura statistica, non sarà economicamente possibile farla, non ci sarà modo di farla per ragioni di tempo, oppure, ancora, non la si potrà fare perché mancherà il fondamentale requisito della ripetibilità e della campionabilità.

Non è questa la sede per fare un ragionamento sulla probabilità, anche se chi scrive ritiene che farne uno sarebbe quanto mai urgente. Basti dire che la pretesa di cancellare il “giudizio ingegneristico” dalla lista delle accettabili modalità per emettere un parere o fare una stima, lasciando il posto unicamente a campionature statistiche delle quali si pretenderebbe maggior rigore, non è a parere di chi scrive condivisibile.

Il fattore di errore è una stima ingegneristica della nostra ignoranza. Una stima sostanzialmente soggettiva, che deve essere usata dal progettista per prendere le opportune distanze dai risultati del modello. Tutto qui.

### 3 Natura degli errori e conseguenze

Supponiamo che siano definiti i fattori di errore su masse e rigidezze, fem ed fek. In tal caso nella semplice ipotesi di oscillatore semplice, potremo scrivere

$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{k^*}{m^*}}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{k}{m}} = 2\pi \sqrt{\frac{f_{ek} k^*}{f_{em} m^*}} = T^* \sqrt{\frac{f_{ek}}{f_{em}}}$$

La precedente relazione si può esprimere sinteticamente nel seguente modo:

$$f_{\varepsilon T} \equiv \frac{T}{T^*} = \sqrt{\frac{f_{\varepsilon k}}{f_{\varepsilon m}}}$$

Poiché è del tutto normale che nelle situazioni reali dei progetti la massa e la rigidezza siano note solo con (ampi) margini di approssimazione, ne consegue che il periodo sarà affetto da altrettanti possibili errori. Sviluppando in serie nell'intorno di  $f=1$ , si ottiene la seguente stima semplificata:

$$f_{\varepsilon T} = 1 + 0.5(f_{\varepsilon m} - f_{\varepsilon k})$$

Naturalmente analoga formula è ottenibile per  $f_{\varepsilon \omega}$ :

$$f_{\varepsilon \omega} = 1 + 0.5(f_{\varepsilon k} - f_{\varepsilon m})$$

Ad esempio supponiamo di avere un errore del 10% sia su massa che su rigidezza, ma tale per cui la massa sia minore di quella stimata e la rigidezza maggiore. Il periodo nominale  $T^*$  sarà affetto da un errore del 10% circa anch'esso, il che vuol dire che se avremo calcolato ad esempio  $T^*=1.0$  sec, in realtà potremmo avere  $T=0.9$ sec.

Passando in rapida rassegna alcune delle possibili cause di errore nei modelli di calcolo che costruiamo, troviamo i seguenti.

- La massa “ $m^*$ ” viene a dipendere dalla massa dei permanenti più la massa dei variabili. A parte le ignoranze sugli effettivi valori delle masse dei permanenti, le masse dei variabili nel momento pertinente (o nei momenti pertinenti) sono ignote per definizione. Mentre per certe tipologie di strutture tali masse “variabili” sono una minima quota rispetto alle totali, per altre questo non è vero affatto (teatri, biblioteche, serbatoi, scaffalature industriali, ecc. ecc.).
- Anche immaginando di conoscere l'intensità delle masse presenti sul modello, queste possono distribuirsi in molti modi diversi sulla struttura, non solo perché così avviene fisicamente- vedi anche il problema della eccentricità “accidentale”-, ma anche perché così può avvenire nella modellazione (approccio *lumped* e *consistent*, *ad hoc lumping*, *optimal lumping*, metodo del “maxi nodo”ecc. ecc.).
- Le rigidezze “ $k$ ” dipendono direttamente dalle caratteristiche del materiale. Tali caratteristiche sono relativamente precise nel caso dell'acciaio, relativamente imprecise, o,

a voler essere sinceri, un puro atto di fede nel caso del calcestruzzo armato, dove gli errori su E e su G possono essere assai rilevanti [2].

- Le rigidezze “k” dipendono dal grado di infittimento della mesh, in specie se sono presenti pareti di taglio e nuclei di controvento. Esse dipendono inoltre dal tipo di elemento finito adoperato e dalla sua distorsione nella mesh (gli errori dovuti alla distorsione degli elementi possono arrivare a diversi punti percentuali, in specie sui modi più alti).
- Come è noto le rigidezze dipendono fortemente dal modo in cui è fatto il modello, in specie se sono o no stati tenuti in conto gli estremi rigidi degli elementi. Ad esempio si sono trovati errori sulle frequenze fino al 14% con elementi alti 1/20 della luce per il solo fatto di modellare o meno gli estremi rigidi ([1]).
- L’effetto delle partizioni interne e della ampiezza delle oscillazioni sul periodo delle strutture reali è marcato ([3]). Tali partizioni interne o non sono tenute in conto, o, se lo sono, attualmente sono prese in considerazione solo mediante rozzi schemi semplificativi.
- L’interazione suolo struttura viene a dipendere da fattori di assai difficile valutazione come quelli geotecnici, e comunque con risultati ampiamente incerti. Detto G il modulo di elasticità tangenziale del semispazio elastico equivalente, il fattore di errore sul periodo accoppiato viene a dipendere dalla radice quadrata del fattore di errore su G (cfr. [1]).

Tutte queste ragioni, ed altre ancora, devono far chiaramente intendere che usiamo modelli approssimati e largamente convenzionali, e quindi i periodi calcolati dai programmi sono solo volenterose approssimazioni.

Le approssimazioni sul periodo non sono purtroppo le uniche. L’uso di spettri di risposta di progetto ottenuti mediante il fattore di struttura “q” introduce un’altra causa di errore e certo non trascurabile. E’ infatti ben noto che la valutazione del fattore di struttura è oltremodo difficile e può dare luogo solo a valutazioni di massima. Vorremo quindi introdurre, accanto ad un fattore di struttura  $q^*$  di miglior stima, un prudenziale fattore di errore  $feq$ , in modo che il valore ottimale incognito sia  $q^* feq$ .



Contrariamente a quanto avviene per le altre azioni, l'azione sismica non viene fattorizzata, o meglio, viene fattorizzata mediante un coefficiente  $\gamma_I$  che tiene in conto l'importanza dell'opera, ma in nessun modo gli errori sul modello. D'altro canto le ordinate dello spettro e la sua forma tengono in conto errori di altra natura, non gli errori nella valutazione dei periodi, che sono in quella sede un dato, non un risultato.

Le azioni interne valutate col metodo dello spettro di risposta entrano quindi direttamente nelle combinazioni di verifica, e queste dipendono direttamente dai periodi calcolati senza che siano normalmente introdotte correzioni di alcun tipo.

Nel seguito vedremo invece come errori sul periodo possano portare a sensibili scarti nelle quantità calcolate.

## 4 Spettri di risposta EC8 con fattori di errore

### 4.1 Fattore di errore su C

In questo paragrafo verranno scritte le formule che danno il coefficiente di risposta secondo EC8 esplicitando i fattori di errore su massa e rigidezza. In quanto segue "C" è il coefficiente di risposta, ovvero un numero adimensionale. Ragioniamo per ora ancora sull'oscillatore semplice.

per  $0 < T < T_b$

$$C_g = a_{g \max} S \left[ \frac{2}{3} + \sqrt{\frac{f_{sm}}{f_{sk}}} \frac{T^*}{T_B} \left( \frac{2.5}{q^* f_{eq}} - \frac{2}{3} \right) \right]$$

per  $T_b < T < T_c$

$$C_g = a_{g \max} S \cdot \frac{2.5}{q^* f_{eq}}$$

per  $T_c < T < T_d$

$$C_g = a_{g \max} S \cdot \frac{2.5}{q^* f_{eq}} \left[ \sqrt{\frac{f_{sk}}{f_{sm}}} \frac{T_c}{T^*} \right]$$

per  $T_d < T$

$$C_g = a_{g \max} S \cdot \frac{2.5}{q^* f_{eq}} \left[ \frac{f_{sk}}{f_{sm}} \frac{T_c T_d}{T^{*2}} \right]$$

Da quanto precede è possibile valutare il rapporto tra  $C^*$  e  $C$ , e quindi dare il fattore di errore su  $C$ ,  $f_{eC}$ , in funzione dei fattori di errore su massa, rigidezza e fattore di struttura.

Immaginiamo che il periodo  $T^*$  (che dà  $C^*$ ) vari a causa degli errori su  $m$  e  $k$ , in modo da dare un periodo  $T$  diverso da  $T^*$  e quindi un coefficiente di risposta  $C$  diverso da  $C^*$ . Quale sarà il rapporto  $f_{eC} C/C^*$ ? In che modo varierà  $C^*$ ?

Per semplicità faremo l'ipotesi che  $T$  cada nello stesso intervallo di  $T^*$ , è evidente che così in generale non sarà. Chi scrive ha messo a punto un programmino che fa questo lavoro tenendo in conto i salti di intervallo (cfr. paragrafo successivo), ma questo aspetto non è davvero importante per i ragionamenti che si devono fare.

per  $0 < T < T_b$

$$f_{eC} = \frac{\left[ \frac{2}{3} + \sqrt{\frac{f_{em}}{f_{ek}}} \frac{T^*}{T_B} \left( \frac{2,5}{q^* f_{eq}} - \frac{2}{3} \right) \right]}{\left[ \frac{2}{3} + \frac{T^*}{T_B} \left( \frac{2,5}{q^*} - \frac{2}{3} \right) \right]}$$

per  $T_b < T < T_c$

$$f_{eC} = \frac{1}{f_{eq}}$$

per  $T_c < T < T_d$  (senza tener conto della limitazione  $C < 0.2 \text{ agmax/g}$ )

$$f_{eC} = \frac{1}{f_{eq}} \sqrt{\frac{f_{ek}}{f_{em}}}$$

per  $T_d < T$  (senza tener conto della limitazione  $C < 0.2 \text{ agmax/g}$ )

$$f_{eC} = \frac{f_{ek}}{f_{eq} f_{em}}$$

Abbiamo espresso il fattore di errore su  $C$  in funzione degli errori su  $m$  e  $k$  ed in funzione dell'errore su  $q$ .

La formula più complicata è anche quella più inutile: raramente il periodo è così breve da essere inferiore a  $T_B$ .

## 4.2 Fattore di errore sullo spostamento massimo

Ricordando come funziona il metodo dello spettro di risposta, possiamo dire che lo spostamento massimo dell'oscillatore, X, sarà ottenuto mediante la relazione seguente:

$$X = Cmg/k = Cg/\omega^2 = CgT^2/(4\pi^2)$$

dalla quale è facile estrarre il fattore di errore sullo spostamento massimo  $f_{eX}$  in funzione degli altri fattori di errore

$$f_{eX} = f_{eC} f_{eT^2}$$

Sostituendo le espressioni trovate per  $f_{eC}$  nella espressione precedente troviamo

per  $0 < T < T_b$

$$f_{eX} = \frac{\left[ \frac{2f_{em}}{3f_{ek}} + \frac{f_{em}}{f_{ek}} \sqrt{\frac{f_{em}}{f_{ek}}} \frac{T^*}{T_B} \left( \frac{2.5}{q^* f_{eq}} - \frac{2}{3} \right) \right]}{\left[ \frac{2}{3} + \frac{T^*}{T_B} \left( \frac{2.5}{q^*} - \frac{2}{3} \right) \right]}$$

per  $T_b < T < T_c$

$$f_{eX} = \frac{f_{em}}{f_{eq} f_{ek}}$$

per  $T_c < T < T_d$  (senza tener conto della limitazione  $C < 0.2 \text{ agmax/g}$ )

$$f_{eX} = \frac{1}{f_{eq}} \sqrt{\frac{f_{em}}{f_{ek}}}$$

per  $T_d < T$  (senza tener conto della limitazione  $C < 0.2 \text{ agmax/g}$ )

$$f_{eX} = \frac{1}{f_{eq}}$$

Dove la complicatezza della prima formula è elisa dal fatto che è raramente utile.

### 4.3 Fattore di errore sulla forza di richiamo elastico massima

La massima forza di richiamo elastico subita dall'oscillatore è data da

$$F = kX = Cmg$$

pertanto il fattore di errore sulla forza di richiamo F è dato da

$$f_{eF} = f_{em} f_{eC}$$

Sempre nell'ipotesi in cui non ci siano salti di intervallo, possiamo scrivere le seguenti formule per il fattore di errore:

per  $0 < T < T_b$

$$f_{eF} = \frac{\left[ \frac{2f_{em}}{3} + f_{em} \sqrt{\frac{f_{em}}{f_{ek}}} \frac{T^*}{T_B} \left( \frac{2,5}{q^* f_{eq}} - \frac{2}{3} \right) \right]}{\left[ \frac{2}{3} + \frac{T^*}{T_B} \left( \frac{2,5}{q^*} - \frac{2}{3} \right) \right]}$$

per  $T_b < T < T_c$  (senza tener conto della limitazione  $C < 0.2 \text{ agmax/g}$ )

$$f_{eF} = \frac{f_{em}}{f_{eq}}$$

per  $T_c < T < T_d$  (senza tener conto della limitazione  $C < 0.2 \text{ agmax/g}$ )

$$f_{eF} = \frac{1}{f_{eq}} \sqrt{f_{ek} f_{em}}$$

per  $T_d < T$

$$f_{eF} = \frac{f_{ek}}{f_{eq}}$$

#### 4.4 Valutazione automatica dei fattori di errore

In quanto precede si è fatta l'ipotesi che nel passare dal periodo nominale  $T^*$  al periodo ottimo  $T$  non si dovesse cambiare formula nella identificazione del coefficiente di struttura.

Tenere contemporaneamente in conto il possibile salto di intervallo e le limitazioni su  $C$  (quando sarebbe  $C < 0.2 \text{ ag/g}$ ) è abbastanza complicato, si tratta di calcoli noiosi e quindi chi scrive ha approntato un programmino, denominato, non a caso, SPE (Spectrum Error).

Il programma funziona così. Prima si scrivono i valori nominali di  $T$  e di  $q$ ,  $T^*$  e  $q^*$ . Poi si danno i valori minimo e massimo per i fattori di errore sulla massa, sulla rigidezza e sul coefficiente di struttura. I fattori di errore “minimi” sono numeri  $\leq 1$ , e tengono in conto la possibilità che in realtà i valori “giusti” siano inferiori ai valori di miglior stima. I fattori di errore “massimi” sono numeri  $\geq 1$  e tengono in conto la possibilità che i valori “giusti” siano superiori a quelli di miglior stima.

Ad esempio, un fattore di errore su  $q$  minimo pari a 0.95 ed un fattore di errore su  $q$  massimo pari a 1.1, implicano che:

$$0.95q^* \leq q \leq 1.1q^*$$

Prendiamo ad esempio i dati della figura seguente:

SPE - Castalia srl

Valori nominali:

T\* Periodo  Agnasci in unità g (per esempio 0.35)

q\* Fattore di struttura

Fattori di errore:

fmin  fmax

fkmin  fkmax

fmmin  fmmax

Fattori di errore corrispondenti:

Spostamento (min)

Spostamento (max)

Forza richiamo (min)

Forza richiamo (max)

Spettro

☒ Spettro EC8 tipo 1

☐ Spettro EC8 tipo 2

Tipo di suolo

☐ Suolo tipo A

☐ Suolo tipo B

☒ Suolo tipo C

☐ Suolo tipo D

☐ Suolo tipo E

Calcola fattori di errore

OK

Figura 1

Immaginiamo di aver calcolato per il periodo di oscillazione il valore  $T^*=1\text{sec}$ . Questo calcolo è stato fatto immaginando di conoscere la massa  $m$  con un fattore di errore compreso tra 0.9 ed 1.1, il che vuol dire stimare d'aver fatto un errore del 10% al massimo sulla massa; per la rigidezza si immagina che il fattore di errore sia compreso tra 0.95 e 1.05, ovvero che sulla rigidezza ci sia un errore del 5%.

Sulla base della tipologia strutturale, ed applicando le regole della norma, abbiamo stimato un fattore di struttura pari a 3, ma immaginiamo che ci possa essere un errore del 10% ( $2.7 < q < 3.3$ ).

Non paiono numeri irragionevoli, tenuto conto del modo in cui sono ottenuti i dati sui quali lavoriamo. Supponiamo che lo spettro sia di tipo 1, ed il suolo di tipo C, che la PGA sia 0.35. Quale errore ci aspettiamo di commettere sugli spostamenti e sulle forze di richiamo elastico massimi?

Premendo il bottone “Calcola fattori di errore!” si ottiene la risposta che si vede nella figura seguente:

Figura 2

Questo risultato, un semplice esempio, sembra molto interessante: l'errore sugli spostamenti va da +16% a -20%, e la forza massima di richiamo elastico potrebbe egualmente essere del 14% *maggiore* come del 12% *minore*.

Un 20% di errore sul valore dello spostamento non è poco. Se anziché partire da  $T=1\text{sec}$  partissimo da  $T=0.5\text{sec}$  – a parità di tutti gli altri dati - otterremmo i risultati della figura seguente

Figura 3

## 5 Estensione al caso di sistemi a molti gradi di libertà

Il caso di un sistema a molti gradi di libertà è ovviamente assai più complesso di quello di un oscillatore semplice. Esistono tuttavia alcune importanti cause di errore sulla stima della frequenza o del periodo che possono essere ridotte ad un errore sulla quantità di massa e di rigidezza, mentre nel caso più generale ci dovremo accontentare di valutare questo errore sulla frequenza direttamente mediante stima.

## 5.1 Errori scalari lato massa, o assimilabili

Se si immagina che a partit  di distribuzione di massa si abbia a che fare , anzich  con una matrice delle masse  $\mathbf{M}^*$ , con una matrice delle masse variata  $a\mathbf{M}^* = \mathbf{M} = \text{fem}\mathbf{M}^*$ , dove “a”   uno scalare che di fatto   il fattore di errore sulla massa gi  visto,   facile dimostrare che i modi non variano e che i periodi di tutti i modi cambiano nel seguente modo:

$$T = \sqrt{f_{em}} T^*$$

e quindi, come per l’oscillatore semplice in caso di errore sulla sola massa

$$f_{eT} = \sqrt{f_{em}}$$

Nel caso in cui la variazione di massa dovuta all’errore commesso non sia tale da rispettare la distribuzione, si pu  vedere con qualche passaggio che, detta  $\mathbf{M}^*$  la matrice delle masse nominale, detta  $\Delta\mathbf{M}$  la variazione di massa dovuta all’errore, detto  $\Psi^*$  il vettore che d  la forma del modo nominalmente calcolata, e detto  $\Psi$  il vettore che d  la forma del modo “esatta”, risulta

$$f_{eT} = \frac{1}{f_{e\omega}} = \sqrt{1 + \frac{\Psi^{*T} \Delta\mathbf{M} \Psi}{\Psi^{*T} \mathbf{M}^* \Psi}}$$

Se la variazione di massa   tale da non far variare in modo significativo la forma del modo (ipotesi molte volte ragionevole per il primo modo di edifici), si pu  stimare tale fattore di errore nota  $\Delta\mathbf{M}$  e nota la forma del modo nominale con la seguente formula:

$$f_{eT} = \frac{1}{f_{e\omega}} = \sqrt{1 + \frac{\Psi^{*T} \Delta\mathbf{M} \Psi^*}{\Psi^{*T} \mathbf{M}^* \Psi^*}} \equiv \sqrt{f_{em}}$$

Nella precedente formula si   *definito* fem in funzione di opportuni prodotti matriciali e scalari tra matrici e vettori. In questo caso, analogamente a quanto visto per l’oscillatore semplice, esiste uno scalare associato alla massa, fem, che d  conto della variazione di frequenza dovuta alla variazione di massa causata da un possibile errore.

Nel caso di edifici, immaginando la forma del modo lineare, i piani di eguale altezza, e dando ad  $m_i^*$  il significato di massa di piano ed a  $\Delta m_i$  il significato di variazione della massa di piano, la precedente formula porta alla seguente stima del fattore di errore sul periodo

$$f_{\varepsilon T} = \sqrt{1 + \frac{\sum_{i=1}^n i^2 \Delta m_i}{\sum_{i=1}^n i^2 m_i^*}}$$

ed il fattore di errore sulla massa – uno scalare- può essere in questo caso definito come

$$f_{\varepsilon m} = 1 + \frac{\sum_{i=1}^n i^2 \Delta m_i}{\sum_{i=1}^n i^2 m_i^*}$$

Questi fattori di errore hanno un senso ingegneristico, e vogliono stimare la variazione di periodo dovuta ad errori sulla massa.

## 5.2 Errori scalari lato rigidezza

Il modulo di elasticità assunto per il materiale entra direttamente nella espressione della matrice di rigidezza. Se lo schema resistente prevede un unico materiale (come spesso avviene) si può facilmente mostrare che, detto  $f_{\varepsilon E}$  il fattore di errore sul modulo di Young, risulta su tutti i modi

$$f_{\varepsilon T} = \sqrt{\frac{1}{f_{\varepsilon E}}} = \sqrt{\frac{1}{f_{\varepsilon k}}}$$

ovvero il fattore di errore sul modulo di Young gioca il ruolo che il fattore di errore su  $k$  gioca nel caso di oscillatore semplice.

L'errore sul modulo di Young nel caso del calcestruzzo può essere molto forte. E' noto che le formule di normativa fanno dipendere  $E$  dalla resistenza cubica o cilindrica caratteristica, ma le leggi che fissano tale dipendenza sono soggette a dispersioni significative. Inoltre il reale valore di resistenza è in larga parte ignoto, dipendendo da una miriade di fattori molti dei quali assolutamente imprevedibili o non governabili, di fatto, da parte del progettista. Pertanto su  $E$  sono da attendersi errori anche del 20 o del 30%.

Nel caso dell'acciaio gli errori sono certamente minori, ma comunque non inferiori ad un 3-5%. Basti dire che mentre le CNR10011 danno ad  $E$  il valore di 206000N/mmq, l'EC3 usa il valore 210000N/mmq, con uno scarto tra le due norme pari al 2%.



Nel caso in cui la struttura sia costituita da materiali diversi, se non è possibile attribuire comunque un materiale di riferimento alle parti resistenti alle azioni orizzontali, è possibile stimare ingegneristicamente (del resto, questo stiamo facendo) il fattore di errore complessivo mediante modelli di molle in parallelo ( $k=k_1+k_2$ ) o in serie ( $k=k_1k_2/(k_1+k_2)$ ).

### 5.3 Il modello di errore complessivo

Terremo conto degli errori di modellazione su sistemi a molti gradi di libertà mediante i seguenti fattori di errore:

1.  $f_{em}$ . Dà una misura dell'errore nella stima della quantità di massa (non dell'errore nella sua distribuzione, a meno che le forme modali non possano reputarsi sostanzialmente invariate al variare della distribuzione di massa).
2.  $f_{eE}$ . Dà una misura dell'errore sulla rigidezza legato all'errore sul modulo di Young.
3.  $f_{ea}$ . Dà una misura degli errori aggiuntivi sulla stima della frequenza dovuti ad altri fattori. A rigore occorre sempre fare l'ipotesi che questi errori non comportino variazioni nella forma del modo.
4.  $f_{eq}$ . Dà una misura degli errori sul fattore di struttura.

Con queste ipotesi il fattore di errore sul periodo risulta

$$f_{eT} = \frac{1}{f_{ea}} \sqrt{\frac{f_{em}}{f_{eE}}}$$

Se generalizziamo i ragionamenti fatti nel caso dell'oscillatore semplice a questo modello di errore sui sistemi a molti gradi di libertà, otteniamo le seguenti formule di errore per gli spostamenti modali e per la risultante delle forze apparenti modali (si omette di dare il risultato per l'intervallo  $T < T_B$ ):

**Periodo**

**Periodo**  
 $f_{eT}$

**Spostamenti**  
 $f_{eX}$

**Taglio alla**  
**Base**  
**Azioni interne**  
 $f_{e\varphi}$

$T_B < T < T_c$	$\frac{1}{f_\omega} = \frac{1}{f_{\epsilon\alpha}} \sqrt{\frac{f_{\epsilon M}}{f_{\epsilon E}}}$	$\frac{f_{\epsilon M}}{f_{\epsilon q} f_{\epsilon\alpha}^2 f_{\epsilon E}}$	$\frac{f_{\epsilon M}}{f_{\epsilon q}}$
$T_c < T < T_D$	$\frac{1}{f_\omega} = \frac{1}{f_{\epsilon\alpha}} \sqrt{\frac{f_{\epsilon M}}{f_{\epsilon E}}}$	$\frac{1}{f_{\epsilon q} f_{\epsilon\alpha}} \sqrt{\frac{f_{\epsilon M}}{f_{\epsilon E}}}$	$\frac{f_{\epsilon\alpha}}{f_{\epsilon q}} \sqrt{f_{\epsilon M} f_{\epsilon E}}$
$T_D < T$	$\frac{1}{f_\omega} = \frac{1}{f_{\epsilon\alpha}} \sqrt{\frac{f_{\epsilon M}}{f_{\epsilon E}}}$	$\frac{1}{f_{\epsilon q}}$	$\frac{f_{\epsilon E} f_{\epsilon\alpha}^2}{f_{\epsilon q}}$
per $T < T_c$	$\frac{1}{f_\omega} = \frac{1}{f_{\epsilon\alpha}} \sqrt{\frac{f_{\epsilon M}}{f_{\epsilon E}}}$	$\frac{f_{\epsilon M}}{f_{\epsilon q} f_{\epsilon\alpha}^2 f_{\epsilon E}}$	$\frac{f_{\epsilon M}}{f_{\epsilon q}}$

**Tabella 1: fattori di errore sul periodo, lo spostamento e la forza di richiamo in funzione dei fattori di errore sulla massa, la rigidezza, il fattore di struttura e la frequenza**

L'ultima riga della tabella corrisponde alla situazione in cui debba scattare la limitazione prevista dalle norme, che impongono che  $C$  sia maggiore o eguale di 0,2 volte la PGA in unità g. Di fatto questa limitazione impone un nuovo “pianerottolo” e quindi le formule della ultima riga coincidono con quelle della prima.

## 6 Esempi

Per verificare la validità di quanto trovato è stato messo a punto un semplice modello di portale, sul quale sono stati simulati errori sulla massa e sul modulo di elasticità del materiale. Si sono poi raffrontati i diversi valori ottenuti mediante un programma di calcolo con i valori stimati mediante le formule proposte.

### 6.1 Studio numero 1: tratto BC dello spettro (plateau)



**Figura 1 Mesh relativa al portale allo studio**

Consideriamo un portale con luce di 5m ed altezza di 4m, realizzato con profili quadrati 30x30cm, materiale nominale calcestruzzo con  $E=28500\text{N/mm}^2$ ,  $\nu=0.2$ . La massa è posta sul traverso e corrisponde ad un carico distribuito nominale di  $30\text{kN/m}$ , per un totale di  $150\text{kN}$ ,  $15291\text{Kg}$ . Pilastri e trave sono stati modellati ciascuno con 2 elementi finiti, per un totale di 6 elementi finiti di tipo beam. Si sceglie di studiare la struttura sotto l'azione di un sisma orizzontale impiegando gli spettri di tipo 1 dell'EC8, accelerazione di riferimento pari a  $0.35g$ , suolo di tipo B e fattore di struttura  $q^*$  pari a 3. Il periodo corrispondente al primo e fondamentale modo in X (vedi figura 1) è pari a  $0.359\text{sec}$ , e quindi tale da corrispondere al pianerottolo dello spettro per il tipo di suolo in esame ( $C=0.35 \times 2.5 \times 1.2 / 3 = 0.35$ ).

La risposta strutturale ottenuta impiegando il metodo dello spettro di risposta sul solo primo modo è quella indicata nella successiva tabella, in corrispondenza alla riga "FERRORE1", che è il nome del modello adottato. Si ha uno spostamento in sommità pari a  $11,21\text{mm}$  ed un momento al piede del pilastro pari a  $61.67\text{kNm}$ , un taglio alla base pari a  $52.50\text{kN}$  ( $=150 \times 0.35$ ).

Modello	Note	Periodo	Spostamento	Momento al piede	Taglio al piede
FERRORE1	Riferimento $E=28500\text{N/mm}^2$ $M=15.291\text{t}$	0,359 sec	11,21mm	61,67 kNm	52.50kN
FERRORE2	$E=0.9E_{\text{riferimento}}$ o	0,379 sec	12,46m	61,67 kNm	52.50kN

FERRORE3	M=1,1Mriferimen to	0,377 sec	12,33mm	67,84 kNm	57.74kN
----------	-----------------------	-----------	---------	-----------	---------

Tabella 2- Studio numero 1, risultati delle analisi

### 6.1.1 Prima variazione

Un primo modello variato (FERRORE2) immagina che il modulo di elasticità del calcestruzzo sia del 10% inferiore al valore iniziale, e cioè pari a  $E=25650\text{N/mm}^2$ . I risultati ottenuti sono quelli della seconda riga della tabella 2, ed indicano che lo spostamento si è accresciuto di circa il 10% mentre il valore del momento e del taglio alla base è rimasto invariato.

Se contrassegniamo con l'\*\*\* i dati del modello iniziale e senza asterisco i dati del modello variato, possiamo interpretare la variazione dicendo che essa dipende da un errore nella stima del modulo di elasticità del materiale. Sia  $f_E$  il fattore di errore su E. Nel nostro caso  $f_E=0.9$ . Tutti gli altri fattori di errore siano pari ad 1. Il fattore di errore sul periodo è pari a (cfr. tabella 1, seconda riga, seconda colonna, quindi cella 2,2)

$$f_{\epsilon T} = \frac{1}{\sqrt{f_{\epsilon E}}}$$

quindi possiamo dire che

$$T = \frac{T^*}{\sqrt{f_{\epsilon E}}} = \frac{0.35911}{\sqrt{0.9}} = 0.37853$$

come in effetti è (vedi tabella 2, cella 3,3).

Vediamo ora il fattore di errore sullo spostamento. Il nostro errore sul modulo di elasticità porta a sottovalutare la risposta. In effetti, il rapporto tra i due spostamenti secondo le nostre previsioni (cfr. tabella 1) dovrebbe essere pari a

$$f_{\epsilon X} = 1 / f_{\epsilon \omega}^2 = 1 / f_{\epsilon E} = 1 / 0.9 = 1.1111$$

in effetti si constata che

$$12.46/11.21=1.11$$

Per quanto riguarda lo sforzo questo non viene amplificato ma resta eguale, infatti il fattore di errore su di esso non dipende da  $f_E$  in questo caso (cfr. tabella 1). Ciò dipende dal fatto che se è vero che gli spostamenti si sono accresciuti di un fattore  $f_{\epsilon X}=1/f_{\epsilon E}$ , è anche vero che le rigidezze sono diminuite di un fattore  $f_{\epsilon E}$ . Pertanto, il prodotto di spostamenti per rigidezze è rimasto costante.

Il taglio alla base non dipende da  $f_{eE}$  e quindi resta anch'esso inalterato.

### 6.1.2 Seconda variazione

In questo caso poniamo  $f_{eM}=1.1$  e lasciamo eguali ad 1 tutti gli altri fattori di errore. In altre parole supponiamo che la massa del modello nominale sottostimi del 10% la massa "ottima". Che succede? Il periodo, secondo le nostre stime (siamo nell'intervallo tra TB e TC), si accresce di un fattore

$$\sqrt{f_{eM}} = \sqrt{1.1} = 1.049$$

infatti

$$0.377/0.359=1.050$$

eguale a 1.049 nei limiti degli errori di troncamento ed arrotondamento.

Lo spostamento prevediamo si accresca di un fattore pari a  $f_{eM}$ , e quindi 1.1. Infatti:

$$12.33/11.21=1.0999$$

Gli sforzi dovrebbero crescere allo stesso identico modo e infatti

$$67.84/61.67=1.1$$

analogamente per il taglio alla base.

## 6.2 Studio numero 2: tratto CD dello spettro

Studiamo un nuovo insieme di tre problemi nei quali le stesse variazioni sono ripetute ma avendo una massa iniziale pari a 60kN/m. L'aumento di massa nominale fa aumentare il periodo così da portarci nell'intervallo CD dello spettro. In questo caso si trovano i risultati della tabella successiva.

Modello	Note	Periodo	Spostamento	Momento al piede
FERRORE4	Riferimento $E=28500\text{N/mm}^2$ $M=30.582\text{t}$	0,5078 sec	22,07mm	121,4 kNm
FERRORE5	$E=0.9E$ riferimento	0,5353 sec	23,27mm	115,2 kNm
FERRORE6	$M=1,1M$ riferimento	0,5326 sec	23,15mm	127,40 kNm

Tabella 3. Studio numero 2, risultati delle analisi

### 6.2.1 Prima variazione

Un primo modello variato (FERRORE5) immagina che il modulo di elasticità del calcestruzzo sia del 10% inferiore al valore iniziale, e cioè pari a  $E=25650\text{N/mm}^2$ . I risultati ottenuti sono quelli della seconda riga della tabella. In questo caso  $f_{eE} = 0.9$  e gli altri  $f$  sono pari ad 1.

Risulta.

$$f_{eT}=1/f_{eE}=1.0540.5353/0.5078=1.054$$

$$f_{eX}=1/f_{eE}=1.05423.27/22.07=1.054$$

$$f_{e\sigma}=f_{eE}=0.9486115.2/121.4=0.9489$$

e quindi si vede che tutte le formule sono verificate.

### 6.2.2 Seconda variazione

Anche in questo caso aumentiamo la massa (FERRORE6), ma siamo ora nell'intervallo CD.  $f_{eM}=1.1$ , gli altri  $f=1$ .

$$f_{eT}=f_{eM}=1.04880.5326/0.5078=1.0488$$

$$f_{eX}=f_{eM}=1.048823.15/22.07=1.0489$$

$$f_{e\sigma}=f_{eM}=1.0488127.4/121.4=1.0489$$

e quindi si vede che tutte le formule sono verificate.

## 6.3 Studio n° 3: tratto D- dello spettro

Infine ci portiamo nell'intervallo  $T' > T_D$  aumentando ancora la massa. Portiamo la massa a  $1200\text{kN/m}$  ottenendo i risultati della tabella successiva.

Modello	Note	Periodo	Spostamento	Momento al piede
---------	------	---------	-------------	------------------

FERRORE7	Riferimento E=28500N/mm <sup>2</sup> M=611.64t	2,271 sec	89,68mm	493,4 kNm
FERRORE8	E=0.9Eriferimento	2,3940 sec	99,64mm	493,4 kNm
FERRORE9	M=1,1Mriferiment o	2,3821 sec	98,64mm	542,7 kNm

**Tabella 4. Studio numero 3, risultati delle analisi**

Contrariamente a quanto predetto dalle formule che sono state ricavate per  $T > T_D$  (riga quarta della tabella 1), lo spostamento aumenta sia aumentando la massa che diminuendo la rigidezza. Ciò dipende dal fatto che le curve date per gli spettri vengono abbandonate quando si riscontra, come nel nostro caso,  $C < 0.2 \text{ agmax/g}$ .

Infatti per  $T=2.271 \text{ sec}$  si avrebbe

$$C/g_{\text{agmax}} = S_{2,5} T C T_D / (q T^2) = 1,2 \times 2,5 \times 0,5 \times 2 / (3 \times 2.271^2) = 0.1938 < 0,2$$

Il periodo limite al di sopra del quale si ha questa limitazione è dato in questo caso da

$$T = (10/3) = 3.3333 = 1.825 \text{ sec}$$

In questo caso, quindi, gli spettri vengono ad assumere un valore costante ed indipendente dal periodo in analogia a quanto avviene per il tratto BC dello spettro. Se proviamo ad applicare le formule previste per il tratto in cui si è sul pianerottolo abbiamo le seguenti formule:

$$f_{eX} = \frac{f_{eM}}{f_{eq} f_{ea}^2 f_{eE}}$$

$$f_{e\sigma} = \frac{f_{eM}}{f_{eq}}$$

### 6.3.1 Prima variazione

Applicando le formule relative al tratto BC, per le ragioni chiarite, troviamo (ricordando che  $f_{eM}=1$ ,  $f_{eE}=0.9$ ):

$$f_{eX} = 1/0.9 = 1.111$$

$$f_{e\sigma} = 1$$

Ed infatti

$$98.64/89.68=1.09991.1$$

e gli sforzi non variano.

### 6.3.2 Seconda variazione

In questo caso  $f_{em}=1.1$ ,  $f_{eE}=1$  e si ottiene:

$$f_{eX} = 1.1/1=1.1$$

$$f_{e\sigma} = 1.1/1$$

Ed infatti

$$99.64/89.68=1.111$$

$$542.7/493.4=1.09991.1$$

## 6.4 Conclusioni

Sulla base degli esperimenti numerici fatti, risultano verificate le formule predittive di tabella 1, le quali consentono di conoscere la variazione degli spostamenti e degli sforzi modali, noti che siano i fattori di errore sulla massa e la rigidezza, nonché sul fattore di struttura e sulla frequenza (fattore di errore aggiuntivo  $f_{ea}$ ). Queste formule possono quindi essere impiegate per perturbare i risultati di un calcolo basato su valori nominali al fine di stimare ingegneristicamente valori a favore di sicurezza degli spostamenti e delle azioni interne.

E' da notare che questi errori sugli spostamenti e sulle azioni interne possono essere rilevanti. Ad esempio, si immagini di avere stimato

$$f_{em}=0.85-1.15$$

$$f_{eE}=0.85-1.15$$

$$f_{eq}=0.9-1.1$$

$$f_{ea}=0.95-1.05$$

Tratto di spettro	$f_{eX}$	$f_{e\sigma}$
BC	1.67	1.28
CD	1.36	1.34



D-∞	1.11	1.41
Limitazione $C < 0.2ag_{max}/g$ attiva	1.67	1.28

**Tabella 5. Esempio di fattori di errore su spostamento e azioni interne per errori del 15% su massa e modulo di Young, 5% sulla frequenza e 10% sul fattore di struttura.**

ovvero un 15% di errore sulla massa, un 15% di errore sul modulo di Young, un 10% di errore sul fattore di struttura ed un 5% di errore sulla frequenza dovuto alla modellazione.

Si fa presente che un errore del 15% sulla massa, in molti casi di carichi variabili non piccoli, può tranquillamente verificarsi: si pensi a una scaffalatura industriale o a una biblioteca, impiegando i coefficienti probabilistici proposti dall'EC8 (per i magazzini e gli archivi il calcolo è fatto con il valore di massa associata al valore quasi permanente, ovvero alla massa associata al carico caratteristico ridotto del 20%,  $Z_i=0.8$ ), la massa potrebbe essere  $1/0.8=1.25$  volte maggiore di quella messa nel modello.

Analogamente, un errore del 15% sul modulo di elasticità potrebbe tranquillamente verificarsi, date le incertezze tipiche del calcolo nel caso del calcestruzzo gettato in opera.

Combinando nel modo più sfavorevole queste incertezze si possono ottenere gli imbarazzanti risultati di tabella 5, i quali pare rendano conto meglio di qualsiasi discorso delle attuali incertezze nell'eseguire calcoli sismici.

La conclusione logica di quanto abbiamo visto è che piuttosto che cercare di quantificare le azioni e gli spostamenti alla terza o quarta cifra significativa, dovremmo accontentarci di quantificarle alla seconda, eppoi amplificare conseguentemente. La cura maggiore, più che nella valutazione delle cifre significative, andrà posta nei controlli di esecuzione e nei dettagli costruttivi.

Nel successivo paragrafo verrà pertanto proposto un metodo atto a fornire possibili valori estremali coi quali fare il calcolo, noti che siano (ingegneristicamente, non probabilisticamente) i valori estremali delle intensità di massa e rigidezza, nonché di frequenza e fattore di struttura.

## 7 Spettro di risposta con fattore di errore

La procedura che viene qui proposta, denominata “spettro di risposta con fattore di errore” consiste nel perturbare i risultati ottenuti in termini di spostamento e di azioni interne mediante i

fattori di errore stimati a partire da ragionevoli valutazioni per gli errori su massa e rigidezza. Non si ha nessuna pretesa di “precisione”, ma si vuole tenere conto del fatto che i numeri ottenibili con complicati modelli agli elementi finiti sono in realtà da considerare affetti da errori inevitabili, l’ordine di grandezza dei quali si desidera almeno parzialmente stimare.

Facendo la ipotesi (generalmente verificata) che sia a favore di sicurezza sovrastimare gli sforzi e gli spostamenti, il metodo che qui si propone funzionerebbe così, quando impiegato “a mano” da un analista strutturale.

- 1) Preparare un modello agli elementi finiti e eseguire una analisi a spettro di risposta coi valori nominali di massa, rigidezza e fattore di struttura.
- 2) Valutare ingegneristicamente la quantità di errore atteso sull’intensità della massa (fem), del modulo di elasticità (feE) e sul fattore di struttura (feq). Valutare l’errore atteso sulla frequenza in seguito a problemi di discretizzazione e di modello (fea).
- 3) Stimare mediante procedure di calcolo tipo **SPE** il fattore di errore atteso ( in generale > 1) sugli spostamenti e sugli sforzi del modo dominante (quando esistente) così come stimati nominalmente dal metodo.
- 4) Correggere gli spostamenti e gli sforzi incrementandoli del fattore corrispondente, eventualmente assegnandolo come moltiplicatore aggiuntivo al caso di carico sismico.

Si noti che la procedura funzionerebbe in modo analogo anche nel caso in cui fosse impiegato il metodo della analisi sismica statica equivalente.

Volendo delineare invece come dovrebbe essere programmato un calcolatore per eseguire una analisi modale con spettro di risposta con fattore di errore si indicano i seguenti passi:

- 1) Eseguire una normale analisi modale con spettro di risposta e valutare tutti gli effetti dei singoli modi.
- 2) Per ogni modo valutare il fattore di errore su spostamenti e azioni interne a partire da opportuni fattori di errore su massa, rigidezza, frequenza e fattore di struttura (unici per tutta la struttura), forniti dall’utente. Tale valutazione viene fatta in affinità a quanto fatto dal programma **SPE** e dipende dal periodo nominale del modo considerato.

- 3) Amplificare gli spostamenti di ciascun modo per il fattore di errore sugli spostamenti del modo in questione. Amplificare le azioni interne con il fattore di errore sugli sforzi del modo in questione.
- 4) Combinare gli effetti dei modi per le vie normali.

## 8 Conclusioni

E' stato proposto un metodo per tenere conto in modo ingegneristico degli errori sulla intensità di massa e di rigidezza, nonché degli errori sulla frequenza e sul fattore di struttura. Si propone di usare questo metodo per arrivare a stime maggiormente a favore di sicurezza degli spostamenti e delle azioni interne valutate mediante il metodo dello spettro di risposta.

## 9 Riferimenti

- [1] Rugarli P. "Analisi modale ragionata", EPC Libri, Roma, 2005 (in stampa)
- [2] Collepari Mario, "Scienza e Tecnologia del Calcestruzzo", 3<sup>a</sup> ed., Hoepli, 1991
- [3] Satake N., Suda K., Arakawa T., Sasaki A., Tamura Y., "Damping Evaluation Using Full-Scale Data of Buildings in Japan", *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 129, 4, April 2003

### 5.9 Proprietà flessionali elastiche e plastiche - Calcolo automatico di sezioni generiche

## Proprietà flessionali elastiche e plastiche Calcolo automatico di sezioni generiche

Paolo Rugarli  
[Costruzioni Metalliche, 4-1998]

### Premessa

La ricerca di soluzioni più vantaggiose in termini progettuali ed economici porta sempre più frequentemente all'uso di sezioni di forma non standard. Lo stesso concetto di *forma standard* tende a perdere il suo significato visto l'arricchimento delle forme disponibili.

I produttori di profilati metallici hanno tradizionalmente diffuso i propri prodotti mettendo a disposizione dei progettisti manuali più o meno estesi contenenti l'elencazione delle forme disponibili, corredate da un insieme di caratteristiche statiche per lo più eterogenee al variare dei produttori e dei manuali. Nel frattempo, con il passare degli anni, i manuali si sono moltiplicati senza che nessuno

affrontasse in modo generale e sistematico il problema. Lo sforzo migliore compiuto in Italia in quest'ambito resta la traduzione in italiano del classico testo tedesco "Stahl im Hochbau"<sup>1</sup> ([1]), il quale dà un'ampia casistica di forme anche composte, oltre ad una notevole messe di informazioni, purtroppo non più aggiornate.

Il testo [1] rappresenta uno dei vertici raggiunti dall'approccio manualistico classico, solidi tomi da consultare nei casi più disparati, ma è opinione diffusa che sia ormai necessario raccogliere il testimone per proseguire lo sforzo originario alla luce della parlata attuale, la quale usa l'informatica. Questa necessità non deriva dalla voglia di seguire la moda, bensì dalla possibilità di portare a compimento lo sforzo che ha animato chi ha redatto i nostri classici testi di consultazione, vale a dire dare una risposta precisa e rapida ad una amplissima classe di problemi. I progettisti ed i produttori oggi desiderano poter descrivere qualsiasi forma sezionale in modo efficiente e rapido avendo in cambio tutti i dati della sezione descritta. Un particolare interesse riguarda le sezioni ottenute assemblando più sezioni elementari (sezioni composte) e le sezioni formate a freddo, per le quali l'industria ha creato una amplissima gamma di tipi, in continua evoluzione.

Questo lavoro illustra la procedura seguita dall'autore per implementare il calcolo di sezioni in modo del tutto generale, nell'ambito del progetto SAMBA.

Nostro obiettivo è il calcolo delle proprietà flessionali elastiche e plastiche su una sezione o una riunione di sezioni completamente generica. Il lavoro porrà l'accento sugli aspetti numerici e computazionali che caratterizzano la questione, individuando alcuni degli aspetti da affrontare per risolverla.

La sezione potrà essere elementare, composta, formata a freddo e contenere fori: il procedimento si applica in modo generale.

## Descrizione a poligonali

### Generalità

In questo lavoro una sezione verrà descritta come la riunione di un certo numero  $m$  di poligonali chiuse, riferite ad un sistema di coordinate  $(x, y)$ . Ogni poligonale può rappresentare un pieno o un vuoto. Sinteticamente la sezione  $\Theta$  è tale per cui

$$\Theta = \bigcup_{i=1}^m h_i P_i \quad (1)$$

dove  $P_i$  è la  $i$ -esima poligonale ed  $h_i$  vale +1 se tale poligonale è piena, -1 se tale poligonale è vuota. E' pacifico che ogni tratto curvilineo può essere approssimato da un certo numero di tratti rettilinei pur di adottare un numero di punti sufficiente.

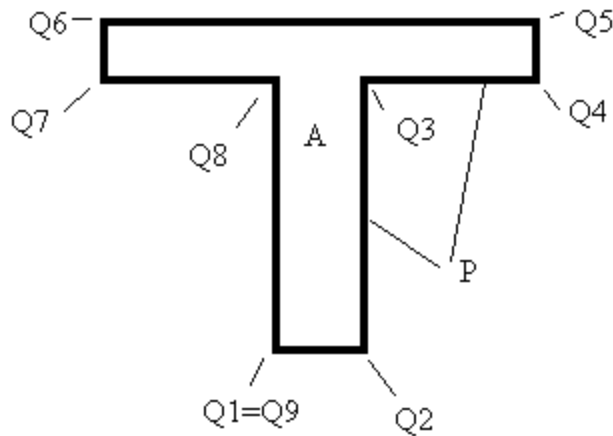


fig. 1

Ogni poligonale  $P_i$  viene descritta da  $n+1$  punti del piano ed  $n$  lati, essendo il punto  $Q_1$  coincidente per definizione con il punto  $Q_{n+1}$ .

Affinchè questa descrizione abbia senso è necessario che nessun lato di una poligonale intersechi un altro lato (né della stessa né di altre poligonali).

I punti di ciascuna poligonale sono ordinati da  $Q_1$  a  $Q_{n+1}$  percorrendo la poligonale in modo antiorario<sup>2</sup>.

### Calcolo di integrali

Siamo interessati al calcolo del seguente integrale, definito sul dominio  $A$  interno ad una poligonale  $P$ :

$$\int_A x^p y^q dA$$

dove  $p$  e  $q$  sono due interi positivi o nulli. Utilizzando la formula di Green si ha:

$$\int_A x^p y^q dA = \int_P \frac{x^{p+1}}{(p+1)} y^q dy \quad (2)$$

dove la poligonale  $P$  è il contorno di  $A$ .

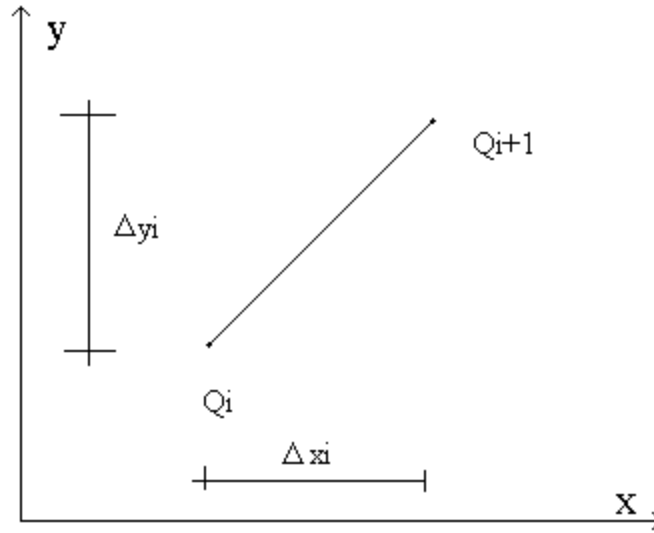


fig. 2

Pertanto

$$\int_P \frac{x^{p+1}}{(p+1)} y^q dy = \sum_{i=1}^n \int_{Q_i}^{Q_{i+1}} \frac{x^{p+1}}{(p+1)} y^q dy \quad (3)$$

Se  $Q_i$  ha le coordinate  $x_i$  ed  $y_i$  e  $\Delta x_i = x_{i+1} - x_i$  possiamo porre, lungo il tratto  $Q_i Q_{i+1}$ :

$$x = x_i + \lambda \Delta x_i \quad (4.a)$$

$$y = y_i + \lambda \Delta y_i \quad (4.b)$$

$$dy = \Delta y_i d\lambda \quad (5)$$

ove  $\lambda$  è un'ascissa adimensionale compresa tra 0 ed 1. Sostituendo le (4)-(5) nelle (2) (3) si ottiene

$$\int_A x^p y^q dA = \sum_{i=1}^n \int_0^1 \frac{(x_i + \lambda \Delta x_i)^{p+1}}{(p+1)} (y_i + \lambda \Delta y_i)^q \Delta y_i d\lambda \quad (6)$$

L'integrale definito che compare nella (6) può essere valutato numericamente o in forma chiusa. Per esso introduciamo il simbolo abbreviato (a tre o quattro indici)<sup>3</sup>

$$Q_{ipq} = \int_0^1 \frac{(x_i + \lambda \Delta x_i)^{p+1}}{(p+1)} (y_i + \lambda \Delta y_i)^q \Delta y_i d\lambda \quad (7)$$

dove  $Q_i$  è il punto di partenza e  $p$  e  $q$  sono gli esponenti di  $x$  ed  $y$ , rispettivamente. Grazie alla (7) possiamo scrivere

$$\int_A x^p y^q dA = \sum_{i=1}^n Q_{ipq} \quad (8)$$

Risultano particolarmente utili alcuni integrali, precisamente:

$$Q_{i00} = \int_0^1 (x_i + \lambda \Delta x_i) \Delta y_i d\lambda \quad (9.a)$$

$$Q_{i10} = \int_0^1 \frac{(x_i + \lambda \Delta x_i)^2}{2} \Delta y_i d\lambda \quad (9.b)$$

$$Q_{i01} = \int_0^1 (x_i + \lambda \Delta x_i)(y_i + \lambda \Delta y_i) \Delta y_i d\lambda \quad (9.c)$$

$$Q_{i11} = \int_0^1 \frac{(x_i + \lambda \Delta x_i)^2}{2} (y_i + \lambda \Delta y_i) \Delta y_i d\lambda \quad (9.d)$$

$$Q_{i20} = \int_0^1 \frac{(x_i + \lambda \Delta x_i)^3}{3} \Delta y_i d\lambda \quad (9.e)$$

$$Q_{i02} = \int_0^1 (x_i + \lambda \Delta x_i)(y_i + \lambda \Delta y_i)^2 \Delta y_i d\lambda \quad (9.f)$$

Tutti questi integrali definiti sono facilmente calcolabili in forma chiusa. Ad esempio:

$$Q_{i00} = x_i \Delta y_i + \frac{1}{2} \Delta x_i \Delta y_i$$

$$Q_{i10} = \frac{1}{6} \Delta y_i (x_{i+1}^2 + x_{i+1} x_i + x_i^2)$$

e così via.

Il risultato trovato si presta ad essere generalizzato al caso in cui la sezione segua la (1), sia cioè composta da una riunione di  $m$  poligoni pieni e vuoti. In tal caso l'integrale andrà dal punto  $Q_j$  della poligonale  $i$  al punto  $Q_{j+1}$  della stessa poligonale  $i$ , o, più brevemente da  $Q_{ij}$  a  $Q_{ij+1}$ . In definitiva, generalizzando la (8) con una scrittura a quattro indici

$$\int_{\Omega} x^p y^q dA = \sum_{i=1}^m h_i \sum_{j=1}^n Q_{ijpq} \quad (10)$$

ovvero qualsiasi integrale è ridotto a somme algebriche.

### Proprietà flessionali elastiche

Con la notazione introdotta risulta:

$$A = \int dA = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n h_i Q_{ij00} \quad (11.a)$$

$$I_x = \int y^2 dA = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n h_i Q_{ij02} \quad (11.b)$$

$$I_y = \int x^2 dA = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n h_i Q_{ij20} \quad (11.c)$$

$$I_{xy} = \int xy dA = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n h_i Q_{ij11} \quad (11.d)$$

$$S_x = \int y dA = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n h_i Q_{ij01} \quad (11.e)$$

$$S_y = \int x dA = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n h_i Q_{ij10} \quad (11.f)$$

Dalle (11) è possibile calcolare il baricentro G e gli assi principali per le vie ordinarie. Sia  $\gamma$  l'angolo formato dall'asse principale u con l'asse x.

La distanza del generico punto  $Q_{ij}$  (punto j della poligonale i) dall'asse u è

$$d_{u\bar{ij}} = |(x_{ij} - x_G) \cos(\gamma) - (y_{ij} - y_G) \sin(\gamma)|$$

e dall'asse v è

$$d_{v\bar{ij}} = |(x_{ij} - x_G) \sin(\gamma) - (y_{ij} - y_G) \cos(\gamma)|$$

Poniamo ora semplicemente

$$W_u = \frac{I_u}{\max_{ij} \{d_{u\bar{ij}}\}} \quad (12.a)$$

$$W_v = \frac{I_v}{\max_{ij} \{d_{v\bar{ij}}\}} \quad (12.b)$$

trovando i moduli di resistenza elastici.

### Sezioni composte

Una delle situazioni più frequenti e più interessanti per il progettista in acciaio è costituita dalla possibilità di creare una sezione “composta<sup>4</sup>” assemblando altre sezioni elementari, in modo da ottenere un certo scopo. In questo ambito non esistono regole a priori che limitino le casistiche possibili, così sembra proprio che ogni elencazione, per quanto completa, sia destinata ad essere insufficiente. Spesso la necessità di assemblare in un certo modo le sezioni elementari deriva da situazioni contingenti o da necessità estetiche che creano una situazione irripetibile. La soluzione del problema consiste nel creare un software in grado di simulare con assoluta libertà (la stessa del progettista) l'assemblaggio delle sezioni elementari. La procedura di calcolo deve pertanto essere specializzata per trattare in modo efficiente il problema.

Chiamiamo dunque sezione composta  $\Phi$  la riunione di un numero arbitrario f di sezioni elementari  $\Theta$ . Ogni sezione  $\Theta$  è riferita ad un proprio SC (x, y) e dotata dei propri assi principali (u, v) formanti un angolo  $\gamma$  col sistema (x, y). Chiamiamo invece (X, Y) il SC adottato per la sezione composta ed (U, V) il suo sistema principale.

La posizione di ogni sezione elementare  $\Theta_k$  nel piano è individuata da tre numeri: le coordinate  $(X_k, Y_k)$  del suo baricentro e l'angolo di rotazione  $\alpha_k$  dell'asse  $x_k$  rispetto all'asse X.

Per prima cosa osserviamo che il metodo precedentemente illustrato resta valido, perchè è facile vedere che anche la sezione composta soddisfa la (1), può cioè essere vista come riunione di opportune



poligonali. Naturalmente, perchè il metodo sia applicabile è necessario che tutte le poligonali siano riferite al medesimo SC (X,Y), ciò che si fa imponendo a tutte le poligonali  $i$  della sezione  $k$ ,  $P_{ki}$ , una rototraslazione dipendente da  $(X_k, Y_k)$  e  $\alpha_k$ .

Il software deve aggiornare in tempo reale i dati della sezione composta man mano che chi lo usa trasla e ruota liberamente le sezioni componenti nel piano.

Particolare rilievo assumono i controlli di congruenza di cui si è fatto cenno in precedenza, poichè le sezioni componenti non possono sovrapporsi. E' pertanto necessario assicurarsi che la scelta corrente di  $X_k, Y_k$  e  $\alpha_k$ , ovvero il modo in cui l'utente ha deciso di muovere e ruotare la sezione corrente  $k$  nel piano, non violi queste condizioni di regolarità. Ciò si fa controllando che nessuna poligonale della sezione correntemente spostata  $P_{ki}$  intersechi le poligonali delle altre sezioni, e che nessuna poligonale di una sezione sia contenuta o contenga un'altra poligonale presa da un'altra sezione. Da un punto di vista pratico il software non deve accettare come definitive situazioni che violino la congruenza, pur consentendo di "transitare" per situazioni inammissibili.

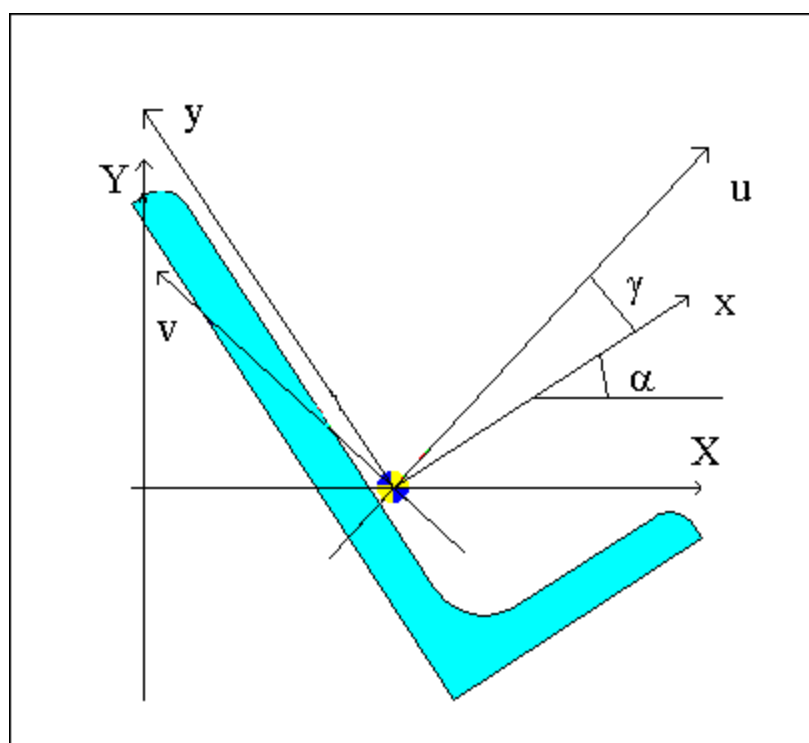


fig. 3

Oltre al metodo generale già descritto è possibile utilizzare il metodo diretto per il calcolo dei momenti di inerzia e degli assi principali della sezione composta a partire dalle analoghe grandezze delle sezioni elementari. Naturalmente nel far ciò occorre considerare oltre alla traslazione anche la rotazione di ciascuna sezione elementare. Le formule che si ottengono sono le seguenti:

$$A = \sum_{k=1}^f A_k \quad (13.a)$$

$$S_X = \sum_{k=1}^f A_k Y_k \quad (13.b)$$

$$S_Y = \sum_{k=1}^f A_k X_k \quad (13.c)$$

$$I_X = \sum_{k=1}^f (I_{Xk} + A_k Y_k^2) \quad (13.d)$$

$$I_Y = \sum_{k=1}^f (I_{Yk} + A_k X_k^2) \quad (13.e)$$

$$I_{XY} = \sum_{k=1}^f (I_{XYk} + A_k X_k Y_k) \quad (13.f)$$

Inoltre risulta, ponendo  $\beta_k = \alpha_k + \gamma_k$

$$I_{Xk} = I_{vk} \sin^2(\beta_k) + I_{wk} \cos^2(\beta_k) \quad (14.a)$$

$$I_{Yk} = I_{vk} \cos^2(\beta_k) + I_{wk} \sin^2(\beta_k) \quad (14.b)$$

$$I_{XYk} = -(I_{wk} - I_{vk}) \sin(\beta_k) \cos(\beta_k) \quad (14.c)$$

Le (14) esprimono i momenti di inerzia della sezione elementare rispetto agli assi paralleli agli assi (X, Y) e passanti per il baricentro della sezione elementare. Sostituendo le (14) nelle (13) si trovano le proprietà della sezione composta rispetto al suo sistema di riferimento, in funzione delle proprietà principali delle sezioni componenti, delle posizioni ( $X_k$ ,  $Y_k$ ) delle sezioni componenti e della rotazione  $\alpha_k$  loro applicata.

Ottenute le quantità (13) con il metodo generale o con quello diretto è poi possibile calcolare il baricentro della sezione composta, i suoi assi principali ed il suo angolo  $\gamma$  (angolo tra X ed U). Per ottenere i momenti di inerzia baricentrici basterà applicare le formule di trasporto ben note. Per il calcolo dei moduli di resistenza sarà comunque necessaria la descrizione a poligonali ed il calcolo delle (12).

### Profili formati a freddo: alcune specializzazioni

Definiamo qui “formato a freddo” un profilo che possa essere individuato da una linea media K e da uno spessore costante t. Supponiamo che la linea media sia composta da tratti rettilinei e da archi di circonferenza. Per ragioni di regolarità imponiamo

$$K \in C^1$$

ovvero la linea media deve essere continua con la sua derivata prima. In questo caso il calcolo delle proprietà elastiche può essere fatto in forma chiusa. Poniamo

$$K = \bigcup_{i=1}^n I_i \quad (15)$$

ove  $I_i$  è il generico lato, rettilineo o circolare. Scriviamo ora i contributi di ciascun lato, rettilineo o curvilineo, alle grandezze utili al calcolo. Se  $I_i$  è rettilineo, è inclinato di  $\gamma$  sull'asse di riferimento x, ha il baricentro in  $G_i$  ed è lungo  $b_i$ , risulta banalmente

$$S_{xi} = t b_i y_{Gi} \quad (16.a)$$

$$S_{yi} = t b_i x_{Gi} \quad (16.b)$$

$$I_{xi} = \frac{1}{12} b_i t^3 \cos^2(\gamma) + \frac{1}{12} t b_i^3 \sin^2(\gamma) \quad (16.c)$$

$$I_{yi} = \frac{1}{12} b_i t^3 \sin^2(\gamma) + \frac{1}{12} t b_i^3 \cos^2(\gamma) \quad (16.d)$$

$$I_{xyi} = -\frac{1}{12} b_i t^3 \sin(\gamma) \cos(\gamma) + \frac{1}{12} t b_i^3 \sin(\gamma) \cos(\gamma) \quad (16.e)$$

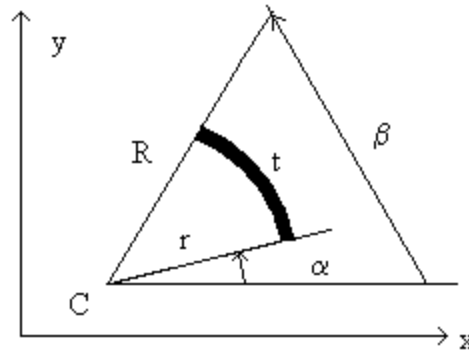


fig. 4

Se  $l_i$  è un arco di circonferenza risulta, ponendo per definizione  $z_k = R_k - r_k$ :

$$S_{xi} = \frac{y_c}{2} z_2 (\beta - \alpha) + \frac{z_3}{3} (\cos(\alpha) - \cos(\beta)) \quad (17.a)$$

$$S_{yi} = \frac{x_c}{2} z_2 (\beta - \alpha) + \frac{z_3}{3} (\sin(\beta) - \sin(\alpha)) \quad (17.b)$$

$$I_{xi} = \frac{y_c^2}{2} (\beta - \alpha) z_2 + \frac{2}{3} y_c z_3 (\cos(\alpha) - \cos(\beta)) + \frac{(\beta - \alpha)}{8} z_4 + \frac{z_4}{16} (\sin(2\alpha) - \sin(2\beta)) \quad (17.c)$$

$$I_{yi} = \frac{x_c^2}{2} (\beta - \alpha) z_2 + \frac{2}{3} x_c z_3 (\sin(\beta) - \sin(\alpha)) + \frac{(\beta - \alpha)}{8} z_4 + \frac{z_4}{16} (\sin(2\beta) - \sin(2\alpha)) \quad (17.d)$$

$$I_{xyi} = \frac{x_c y_c}{2} (\beta - \alpha) z_2 + \frac{1}{3} y_c z_3 (\sin(\beta) - \sin(\alpha)) - \frac{1}{3} x_c z_3 (\cos(\beta) - \cos(\alpha)) + \frac{z_4}{8} (\sin^2(\beta) - \sin^2(\alpha)) \quad (17.e)$$

dove  $x_c$  ed  $y_c$  sono le coordinate del centro,  $\alpha$  e  $\beta$  sono i due angoli in figura,  $R$  ed  $r$  sono il raggio esterno e quello interno.

Le proprietà della sezione si ottengono sommando i contributi di ciascun lato, per esempio

$$I_x = \sum_{i=1}^n I_{xi}$$

dove si usa la (16.c) o la (17.c) a seconda che il lato  $i$  sia rettilineo o circolare.

Per il calcolo dei  $W$  è comunque necessario trasformare la linea media  $K$  di spessore  $t$  nella poligonale chiusa equivalente  $P$ , cosa che si fa *orlando*  $K$  di uno spessore  $t/2$ , e trasformando gli archi di circonferenza in poligoni con un numero opportuno di lati.

### Proprietà flessionali plastiche

#### Generalità

Il calcolo dei moduli di resistenza plastici assume un'importanza crescente dato il maggior impiego di norme agli stati limite (EC3, BS, AISC, ecc.).

Riferiamo la sezione ai suoi assi principali elastici ( $u$ ,  $v$ ). Dato un generico asse neutro plastico  $k$  (fig. 5) di equazione

$$a_u + b_v + c = 0$$

ove risulti

$$\sqrt{a^2 + b^2} = 1$$

questo divide la sezione in una zona tesa ed in una compressa  $A_k^+$  ed  $A_k^-$ . Nella zona tesa la tensione normale vale  $+f_y$ , nella zona compressa essa vale  $-f_y$ . Introduciamo la funzione del punto  $s(Q)$  così definita:

$$s(Q) = \text{sign}(a_u + b_v + c) = +1 \text{ se } Q \in A_k^+$$

$$s(Q) = \text{sign}(a_u + b_v + c) = -1 \text{ se } Q \in A_k^-$$

Ad ogni generico asse neutro plastico  $k$  ( $PNA_k$ ) corrispondono un'azione assiale e due momenti flettenti, ovvero

$$N_{pik} = \int_A s_k(Q) f_y dA \quad (18.a)$$

$$M_{upik} = \int_A s_k(Q) f_y v dA \quad (18.b)$$

$$M_{vpik} = \int_A s_k(Q) f_y u dA \quad (18.c)$$

La terna  $f_y \Lambda_k = \{N_{pik}, M_{upik}, M_{vpik}\}^T$  rappresenta un punto del dominio limite (uno e non due perchè si suppone che l'asse sia orientato). Il vettore  $\Lambda_k$  ha per componenti i moduli plastici reattivi al generico asse neutro  $k$  prescelto, precisamente risulta:

$$A_{pik} = \frac{N_{pik}}{f_y} = \int_A s_k(Q) dA = \int_{A^+} dA - \int_{A^-} dA \quad (19.a)$$

$$Z_{upik} = \frac{M_{upik}}{f_y} = \int_A s_k(Q) v dA = \int_{A^+} v dA - \int_{A^-} v dA \quad (19.b)$$

$$Z_{vpk} = \frac{M_{vpk}}{f_y} = \int_A s_k(Q) u dA = \int_{A^+} u dA - \int_{A^-} u dA \quad (19.c)$$

### Calcolo degli integrali

Sia data una poligonale  $P_i$  con dominio interno  $A_i$  tagliata da un asse  $s$ . Chiameremo  $P_i'$  la poligonale (equivalente a  $P_i$ ) ottenuta aggiungendo a  $P_i$  i punti ottenuti intersecando i lati di  $P_i$  con  $s$ .

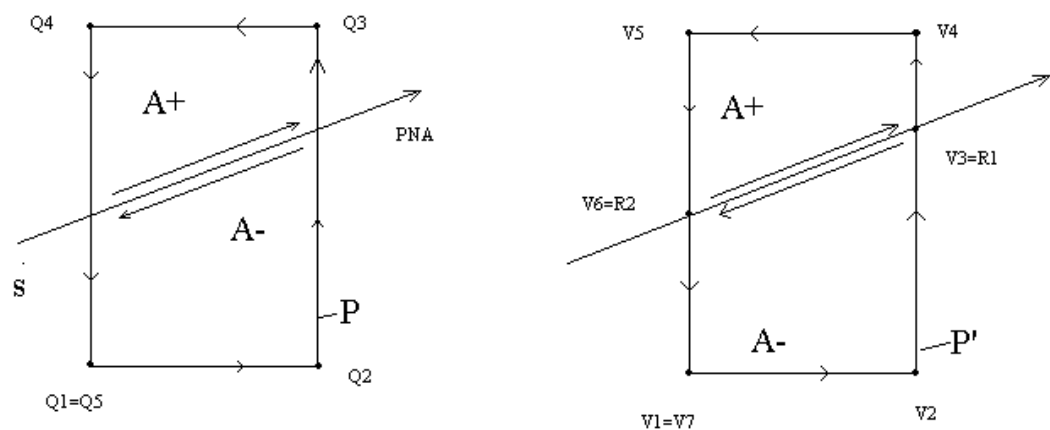


fig. 5

Se inizialmente i punti di  $P_i$  sono  $(n+1)$ , i punti di  $P_i'$  saranno in generale  $(n+1+r)$ . Gli  $r$  nuovi punti trovati stanno tutti su  $s$ . Chiamiamo  $V_{ij}$  i punti della nuova poligonale  $P_i'$  ( $j$  va da 1 a  $n+1+r$ ), e ordiniamo gli  $r$  nuovi punti trovati,  $R_{ij}$ , lungo  $s$  a partire dal primo verso l'ultimo (in modo che il primo e l'ultimo siano tra loro i più distanti, fig. 6).

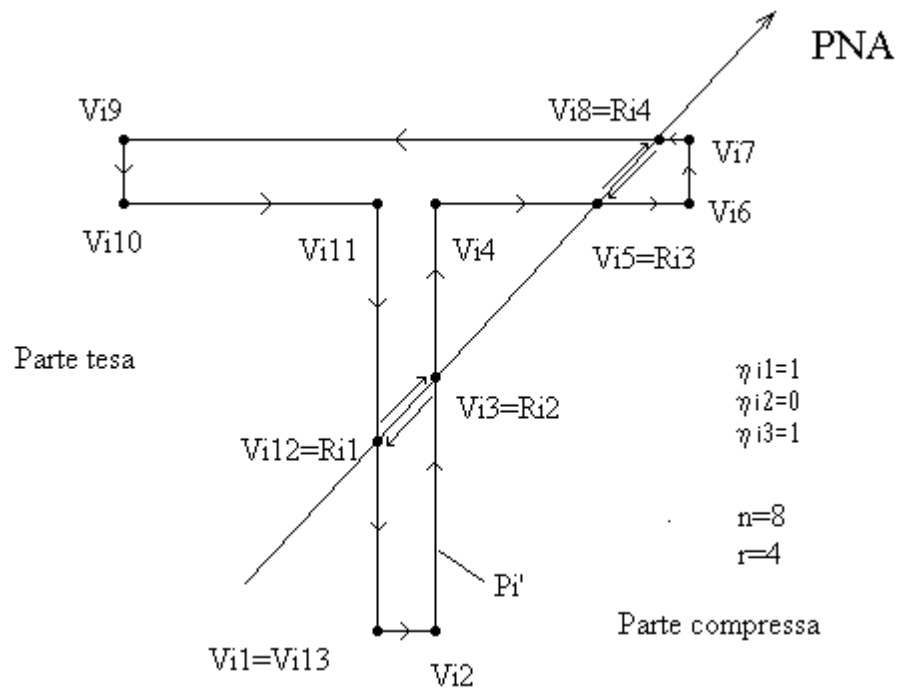


fig. 6

Data una coppia di punti successivi  $R_{il}$  ed  $R_{il+1}$ , posti entrambi sulla poligonale  $i$ , ed un asse neutro plastico di equazione  $a_u + b_v + c = 0$ , introduciamo la funzione  $\eta_{il}(R_{il})$  così definita (fig. 6):

$\eta_{il} = \text{sign}(b\Delta u_{il} - a\Delta v_{il})$   
 è interno a  $P_i'$

se il punto medio del segmento  $R_{il}R_{il+1}$

$\eta_{il} = 0$   
 segmento  $R_{il}R_{il+1}$  è esterno a  $P_i'$

se il punto medio del

Questa funzione  $\eta_{il}$  vale dunque +1 o -1 a seconda che il vettore che va da  $R_{il}$  a  $R_{il+1}$  sia equiverso o meno con l'orientazione dell'asse neutro plastico, e vale 0 se il tratto  $R_{il}R_{il+1}$  non appartiene al dominio.

La opportunità di introdurre questa funzione è puramente informatica. Di fatto essa tiene in conto due cose: la prima è che non tutti i segmenti giacenti su  $s$  fanno effettivamente parte della sezione, e ciò va fatto comprendere al calcolatore (ad esempio il segmento  $R_{12}R_{13}$  della figura 6). La seconda è che andando da  $R_1$  a  $R_2, R_3$  eccetera, si può percorrere l'asse neutro plastico nel suo verso o in verso ad esso opposto, e di ciò occorre tener conto nel valutare i contributi, che hanno segno + solo se appartengono al contorno della parte tesa, ovvero solo se si percorre la frontiera nel verso di PNA (fig.5).

Si può dimostrare<sup>5</sup> che

$$\int_{Ai} s(Q) u^p v^q dA = \left( \sum_{j=1}^{n+r} s(V_{ij}) V_{ijpq} \right) + 2 \left( \sum_{i=1}^{r-1} \eta_{il} R_{ilpq} \right) \quad (20)$$

dove si intende come al solito

$$V_{\bar{p}pq} = \int_0^1 \frac{(u_{\bar{p}} + \lambda \Delta u_{\bar{p}})^{p+1}}{(p+1)} (v_{\bar{p}} + \lambda \Delta v_{\bar{p}})^q \Delta v_{\bar{p}} d\lambda \quad (21)$$

e similmente per  $R_{ilpq}$ .

Per una sezione composta da  $m$  poligoni  $P_i$ , trasformate in poligoni equivalenti  $P_i'$  (dando luogo ai nuovi punti  $R_{il}$ ), possiamo quindi porre, ricordando le (19) ed applicando la (20):

$$A_{pik} = \sum_{i=1}^m h_i \left[ \sum_{j=1}^{n+r} s_k(V_{ij}) V_{ij00} + 2 \sum_{l=1}^{r-1} \eta_{il} R_{i00l} \right] \quad (22.a)$$

$$Z_{upik} = \sum_{i=1}^m h_i \left[ \sum_{j=1}^{n+r} s_k(V_{ij}) V_{ij01} + 2 \sum_{l=1}^{r-1} \eta_{il} R_{i01l} \right] \quad (22.b)$$

$$Z_{vpik} = \sum_{i=1}^m h_i \left[ \sum_{j=1}^{n+r} s_k(V_{ij}) V_{ij10} + 2 \sum_{l=1}^{r-1} \eta_{il} R_{i10l} \right] \quad (22.c)$$

Le (22) dicono come calcolare i moduli limite (e perciò le sollecitazioni limite) dato un certo asse neutro plastico  $k$ . Si noti che le quantità  $h_i$  valgono  $+1$  se la poligonale  $P_i$  rappresenta un pieno,  $-1$  se la poligonale  $P_i$  rappresenta un vuoto. Analogamente  $s_k(V_{ij})$  valgono  $+1$  o  $-1$  a seconda della posizione di  $V_{ij}$  rispetto all'asse neutro plastico  $k$  (in zona tesa o compressa), e che la quantità  $\eta_{il}$  vale  $1, -1$  o  $0$ . Pertanto le (22) sono la somma con segni opportuni di un certo numero di integrali del tipo (9).

### Ricerca dei moduli plastici

Tra tutti i possibili assi neutri plastici  $k$  ai quali sono associate le terne  $\Lambda_k$ , siamo interessati ai due assi  $PNA_u$  e  $PNA_v$  tali per cui le terne diventano, rispettivamente

$$\Lambda_u = \{0, Z_u, 0\} \quad (23.a)$$

$$\Lambda_v = \{0, 0, Z_v\} \quad (23.b)$$

ovvero a quegli assi neutri plastici che generano distribuzioni di sforzo equilibrate con le sollecitazioni flessionali semplici.

Supponiamo di voler trovare  $Z_u$ . Ciò si fa con un procedimento iterativo che tenda ad annullare  $Z_v$  ed  $N_{pl}$ .

Consideriamo dapprima l'annullamento di  $N_{pl}$ .

Dato un generico angolo di inclinazione  $\phi$  dell'asse neutro plastico, e posta l'equazione dell'asse neutro plastico nella forma

$$v \cos(\phi) - u \sin(\phi) - c = 0$$

è possibile vedere che esiste uno e un solo  $c = c(\phi)$ , e perciò un solo asse neutro plastico di inclinazione  $\phi$ , tale per cui la zona tesa sia eguale a quella compressa, ovvero perchè sia vera la condizione

$$A_{pl} = A_k^+ - A_k^- = 0 \quad (24)$$

Tale condizione è necessaria affinché la sezione sia puramente inflessa, ovvero sia annullato  $N_{pl}$ . Per ogni generico  $\phi$  il corrispondente valore di  $c$  può essere trovato con un metodo iterativo che usi ad esempio il metodo delle secanti ( $i$  è ora l'indice di iterazione):

$$c_{i+1} = c_i - A_{pi} \frac{(c_i - c_{i-1})}{(A_{pi} - A_{p(i-1)})}$$

L'errore  $\varepsilon$  viene calcolato come

$$\varepsilon_i = \frac{|A_{pi}|}{A} < TOLLERANZA \quad (25)$$

L'iterazione si arresta quando la disequazione (25) è soddisfatta.

Ad ogni variazione di  $c$ , che corrisponde ad una traslazione dell'asse neutro plastico a inclinazione costante, occorre valutare i moduli plastici corrispondenti usando le (22).

Consideriamo ora l'annullamento di  $Z_v$ .

Al valore  $c$  ottenuto con un generico  $\phi$  corrispondono terne del tipo

$$\{ 0, Z_u(\phi), Z_v(\phi) \}$$

ovvero terne dove  $Z_v$  non è nullo. Il problema è trovare il valore di  $\phi$  che annulli  $Z_v$ , cosa che viene fatta anche qui con un procedimento iterativo. Poniamo (sia sempre  $i$  l'indice di iterazione):

$$\phi_{i+1} = \phi_i - Z_{vi} \frac{(\phi_i - \phi_{i-1})}{(Z_{vi} - Z_{v(i-1)})} \quad (26)$$

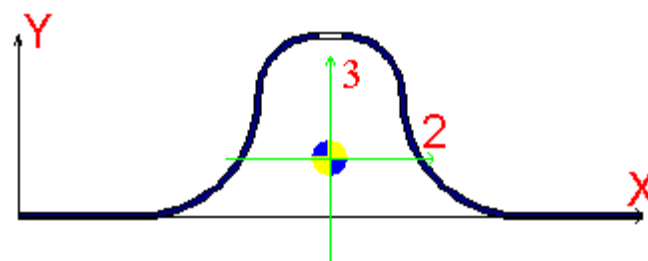
valutando l'errore come

$$\varepsilon_i = \frac{|Z_{vi}|}{W_v} < TOLLERANZA \quad (27)$$

Ad ogni nuovo  $\phi$  viene compiuta un'iterazione completa su  $c$  per trovare il valore  $c$  che soddisfa la (24). Con la coppia  $(\phi_i, c(\phi_i))$  si calcolano le (22), si valuta l'errore secondo la (27) e si cerca un nuovo  $\phi$  con la (26). Il procedimento viene arrestato quando la disequazione (27) è soddisfatta.

## Conclusione





cold123

fig. 7

Il procedimento qui illustrato è stato implementato nel programma SAMBA, e con esso sono state valutate le caratteristiche elastiche e plastiche di sezioni composte e formate a freddo complesse, come quelle riportate nelle figure 7 (sezione formata a freddo con foro) ed 8 (sezione composta generica).

La generalità del metodo seguito e la sua impostazione pensata per l'implementazione hanno consentito di risolvere il problema in una amplissima varietà di casi, rispondendo al proposito originario.

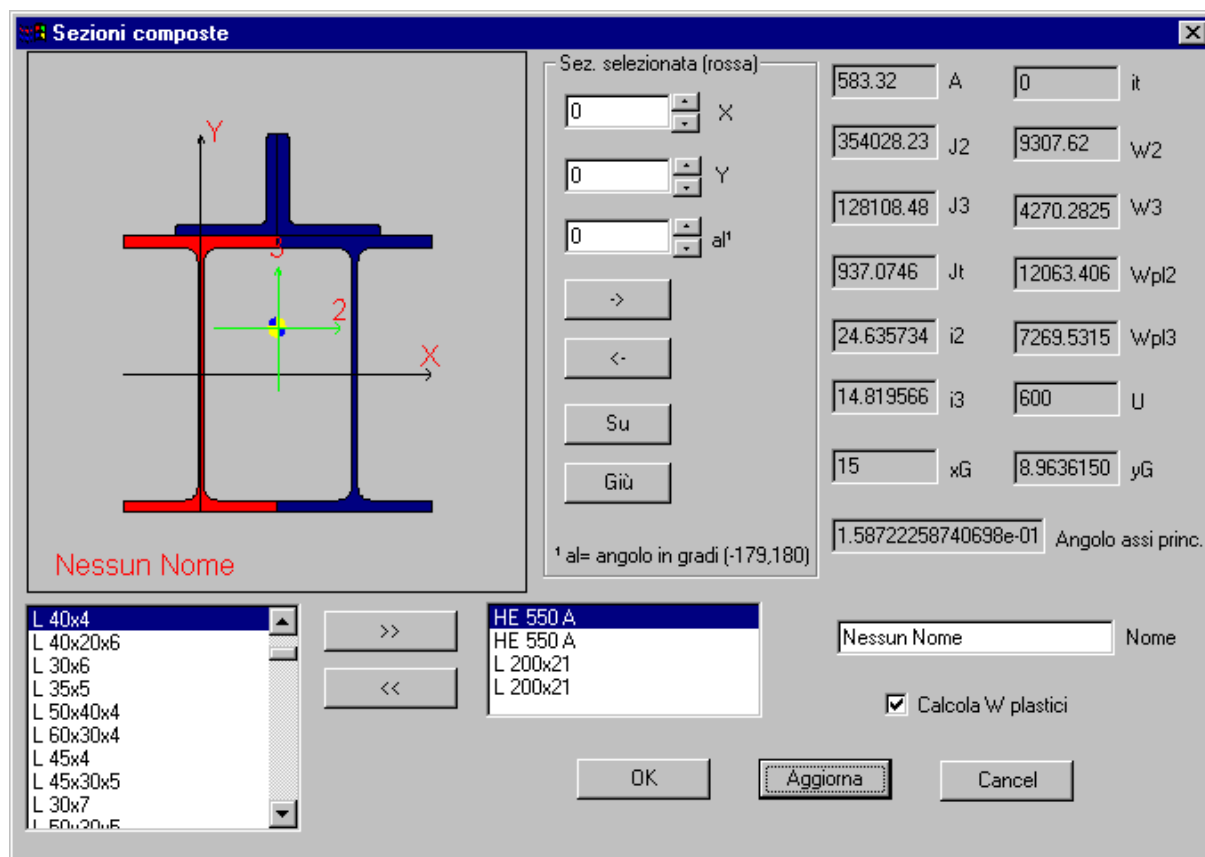


fig.8



$\gamma$	angolo formato dall'asse principale u con l'asse x
$\Delta x_i$	per definizione eguale a $x_{i+1} - x_i$
$\varepsilon$	errore di un processo iterativo
$\phi$	angolo di inclinazione di PNA sull'asse u
$\eta_{il}$	funzione dei punti $R_{il}$ ed $R_{il+1}$
$\lambda$	ascissa adimensionale compresa tra 0 ed 1
$\Gamma$	contorno di A
$\Gamma^+$	contorno di A <sup>+</sup>
$\Gamma^-$	contorno di A <sup>-</sup>
$\Lambda$	vettore contenente i moduli plastici
$\Theta$	sezione composta da poligonali
a	parametro dell'equazione di PNA
b	lunghezza di un lato rettilineo di sezione formata a freddo, parametro dell'equazione di PNA
c	parametro dell'equazione di PNA
d	distanza di un punto da un asse
f	numero di sezioni componenti di una sezione composta
$f_y$	tensione di snervamento
h	funzione che stabilisce se una poligonale è un pieno o un vuoto
i	indice del punto su una poligonale P, indice della poligonale di $\Theta$ , indice di iterazione, indice del lato.
j	indice del punto sulla poligonale $P_i$
k	indice della sezione componente, indice del generico asse neutro plastico
l	lato di sezione formata a freddo, indice
m	numero di poligonali di una sezione
n	numero di lati di una poligonale
p	esponente intero positivo o nullo
q	esponente intero positivo o nullo
r	raggio interno di lato circolare, numero di (nuovi) punti di P giacenti su s
s	retta corrispondente a PNA
s(Q)	funzione del punto Q
t	spessore di una sezione formata a freddo
$z_k$	$R_k - r_k$
A	dominio interno a una poligonale, area di una sezione
A <sup>+</sup>	zona tesa
A <sup>-</sup>	zona compressa
C	centro della circonferenza a cui appartiene un lato circolare
G	baricentro
H	parte comune tra $\Gamma^+$ e $\Gamma^-$
I	momento di inerzia
M	momento flettente
N	azione assiale
P	poligonale
PNA	asse neutro plastico
Q	punto del piano se con uno o due indici, se con tre o quattro indici valore di un integrale definito
R	raggio esterno di lato circolare, punto della poligonale P' giacente su s
S	momento statico
V	punto del piano appartenente alla poligonale P'
Z	modulo plastico
W	modulo di resistenza
(x,y)	sistema di riferimento per una sezione
(X,Y)	sistema di riferimento per una sezione composta
(u,v)	sistema di riferimento principale per una sezione
(U,V)	sistema di riferimento principale per una sezione composta

**NOTE:**

<sup>1</sup> “L'acciaio nelle costruzioni”, Edizioni Cremonese, Roma, 1973

<sup>2</sup> In alternativa alla introduzione di  $h_i$  si potrebbe convenire di percorrere le poligonalì piene in modo antiorario e le poligonalì vuote in modo orario.

<sup>3</sup> Si usano quattro indici quando al punto  $Q_i$  si sostituisca il punto  $Q_{ij}$ , ovvero il punto  $j$  della poligonale  $i$ .

<sup>4</sup> La parola “composta” si presta a qualche fraintendimento: in questo lavoro si intende “ottenuta assemblando sezioni elementari” (che al limite possono essere piatti come nelle sezioni composte saldate, ma anche IPE, angolari, UPN, altre sezioni “composte”, ecc.).

<sup>5</sup> La dimostrazione è omessa per brevità. Si noti però che se  $\Gamma^+$  e  $\Gamma^-$  sono il contorno della parte tesa e della parte compressa, rispettivamente, risulta

$$\int_A s(Q) f_u(u, v) dA = \int_{\Gamma^+} f(u, v) dv - \int_{\Gamma^-} f(u, v) dv$$

$\Gamma^+$  e  $\Gamma^-$  hanno in comune la parte di frontiera  $H$  che è una parte di  $s$ .  $H$  come parte di  $\Gamma^-$  viene percorsa però con verso opposto di  $H$  come parte di  $\Gamma^+$ , di modo che

$$\int_{\Gamma^+} (\cdot) - \int_{\Gamma^-} (\cdot) = \int_{\Gamma} s(Q)(\cdot) + \int_H (\cdot) - \int_{-H} (\cdot) = \int_{\Gamma} s(Q)(\cdot) + 2 \int_H (\cdot)$$

**Parte**

---

**VI**

## 6 Note di rilascio

### 6.1 Dalla 15.20 alla 15.50

La versione 15.50 si presenta importante per la aggiunta di nuove importanti funzionalità, e per la correzione di alcuni problemi.

- Sono state aggiunte le [verifiche libere](#)<sup>[291]</sup>. Grazie a questa funzionalità l'utente può scriversi le sue formule di verifica e quindi usare Sargon come un robot nelle sue mani. Non sono necessarie cognizioni di programmazione.
- A causa delle verifiche libere:
  - E' stato aggiunto il pannello [Variabili e Condizioni](#)<sup>[36]</sup>, nella vista ad albero posta a sinistra della finestra principale.
  - E' stato aggiunto il sotto menu Verifiche Libere al menu Post (o al Ribbon Post-1), con i nuovi comandi:
    - [Aggiungi Variabile](#)<sup>[1157]</sup>
    - [Aggiungi Variabile con If](#)<sup>[1162]</sup>
    - [Aggiungi Condizione](#)<sup>[1167]</sup>
    - [Esporta](#)<sup>[1171]</sup>
    - [Importa](#)<sup>[1172]</sup>
    - [Elimina tutto!](#)<sup>[1175]</sup>
    - [Modifica Variabile o Condizione](#)<sup>[1176]</sup>
    - [Cancella Variabile o Condizione](#)<sup>[1176]</sup>
    - [Duplica Condizione](#)<sup>[1177]</sup>
    - [Verifica!](#)<sup>[1177]</sup>
  - I comandi di resa grafica degli sfruttamenti possono ora dare i risultati delle verifiche libere

- I report tengono ora conto anche delle verifiche libere
- Il comando con la creazione delle tabelle è stato corretto poiché in certi casi non funzionava correttamente.
- La modalità di restituzione grafica solida degli angolari torna a tenere correttamente conto degli assi principali (per un certo periodo era stato orientato con gli assi di costruzione)
- E' ora possibile nella visualizzazione ad albero non visualizzare i casi e le combinazioni
- E' stato aggiunto un [nuovo comando](#)<sup>[1190]</sup> di post-processing per la restituzione degli sforzi del suolo alla Winkler.

## 6.2 Dalla 15.50 alla 15.55

La versione 15.55 si presenta importante per la aggiunta di nuove importanti funzionalità, e per la correzione di alcuni problemi.

- Il comando [somma di un caso XYZ](#)<sup>[11076]</sup>, consente ora la trasformazione delle forze in coppie. Le forze vengono fattorizzate da una distanza in mm, e trasformate in coppie. Ciò è utile per definire i torcenti di piano connessi alla eccentricità delle masse, nelle analisi sismiche.

## 6.3 Dalla 15.55 alla 15.60

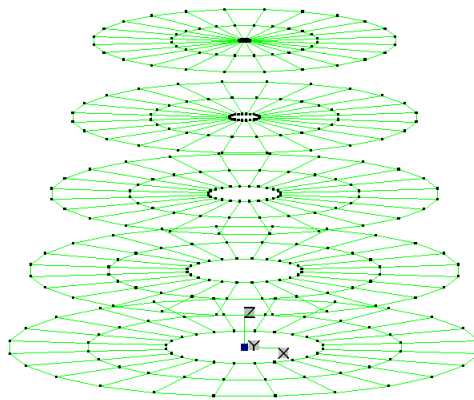
La versione 15.60 si presenta importante per la aggiunta del report dei giunti.

Il comando [Crea Report Giunti](#)<sup>[1308]</sup>, crea un report in formato PDF di tutti i giunti presenti nella struttura. Si tratta di uno strumento di estrema importanza per facilitare la progettazione dei collegamenti.

## 6.4 Dalla 15.60 alla 15.80

1. E' stato corretto un malfunzionamento relativo alla esecuzione dei comandi automatici (macro, file .SCM).

2. Ora le sezioni tipiche in classe 4 sono automaticamente verificate senza bisogno di passare dalle sezioni utente. La modifica riguarda il verificatore EC3/NTC e sono coinvolte praticamente tutte le tipologie sezionali, ad eccezione delle composte generiche, delle formate a freddo generiche, delle composte da poligonali. Si veda la [guida tecnica alle verifiche](#)<sup>[1366]</sup> per maggiori dettagli. E' ora possibile verificare direttamente come sezioni tipiche anche i profili a C formato a freddo, a L formato a freddo, a  $\Omega$  formato a freddo e a Z formato a freddo.



Sargon® - by Castalia srl - www.castaliaweb.com - ver. 15.60 July, 4-2024 - sn.1.00000

3. E' stata introdotta la griglia, la quale aiuta moltissimo durante le operazioni di meshing. Si è quindi aggiunto il comando [Mesh-Griglia \(Ribbon-Mesh-Griglia\)](#)<sup>[779]</sup>, il quale consente di impostare la griglia rendendola attiva o meno. Se la griglia è attiva, durante le operazioni di meshing (e anche per la interrogazione dei nodi/punti con il comando [Interroga-Geometria](#)<sup>[711]</sup>), si potranno cliccare indifferentemente sia i nodi esistenti sia i punti della griglia. La griglia può essere cartesiana, cilindrica, sferica, conica o cartesiana con angolo di meno di 90°. Essa ha una origine e un sistema di riferimento indipendenti, e può quindi costituire un valido aiuto in ogni possibile situazione. Per rendere immediata la attivazione/disattivazione della griglia, è stato aggiunto un campo alla barra di stato della finestra principale, prima delle unità di misura. **Nota bene: proprio a causa della**



**presenza della griglia, che è salvata nel file .WSR, il formato di Sargon 15.80 è diverso da quello delle versioni precedenti.**

4. A partire dalla v. 15.80 i modi di vibrare in uscita dalla analisi modale hanno il segno non più casuale ma normalizzato. In particolare, se  $DX$  è la somma degli spostamenti (traslazioni) modali nodali in direzione  $X$  di un modo; e lo stesso  $DY$  e  $DZ$ , si considera come direzione del modo la direzione per la quale risulta massimo, in modulo, questo spostamento complessivo. Se ad esempio la direzione è  $X$ ,  $|DX| > |DY| > |DZ|$ . Se  $DX > 0$ , non si fa nulla. Se invece  $DX < 0$ , allora il segno del modo viene cambiato. Questa cosa è stata fatta per evitare che modi ad esempio in  $X$  presentando spostamenti negativi dovunque, diano luogo, per sismi  $+X$  a una deformata  $-X$ . E' dato notare che nel caso in cui i modi si combinino con la CQC e con la opzione "mantieni i segni dei modi" attiva, si possono dare piccole differenze nei risultati rispetto a quanto prima della versione 15.80. Ciò perché i prodotti misti  $\Psi_{ik} \cdot \Psi_{jk}$ , se cambia segno solo il modo "i" o solo il modo "j", possono cambiare di segno. Le differenze attese sono modeste, ma non necessariamente nulle.

## 6.5 Dalla 15.80 alla 15.90

1. E' una versione intermedia verso la prossima versione 16.00 che avrà la analisi di time history non lineare tramite il nuovo solutore dinamico DYNCURAN. La versione 16.00 sarà rilasciata a breve. Sono stati quindi modificati:
  - a. La definizione dei casi di carico, che ora include [il tipo "dinamico"](#)<sup>[735]</sup>. In pratica per le analisi di time history modale e time history non lineare, questi casi di carico rappresentano forzanti del tipo  $gf(t)$ , dove  $g$  è un vettore di forze o coppie nodali statico, definito nel solito modo, e [f\(t\) è una generica funzione del tempo](#)<sup>[1071]</sup>. Da questa versione si possono fare quindi non solo time history modali con accelerogrammi o con impulso, ma time history modali con forzanti generiche, tra le quali funzioni a gradino, rampa, seno e coseno con ampiezza e periodo variabile linearmente in funzione del tempo, impulso, o funzione totalmente generica del tempo. Nelle analisi statiche i carichi etichettati "dinamici" sono impiegati come casi statici normali. Nelle analisi di time history modale o non lineare questi casi sono applicati come funzione del tempo. Ci

possono essere più casi dinamici, e questi verranno sovrapposti. La definizione della  $f(t)$  ha richiesto [un nuovo dialogo](#)<sup>[1071]</sup>.

- b. Tra gli smorzamenti ora possibili con la [Time History Modale](#)<sup>[635]</sup>, c'è anche lo smorzamento alla Rayleigh e non più solo quello di Clough-Penzien, che consente di specificare uno smorzamento come curva in funzione dei periodi modali.
  - c. Sono stati modificati i dialoghi relativi all'attrito, e quindi il [dialogo relativo alla definizione del coefficiente di attrito](#)<sup>[875]</sup>. Ora si dà un coefficiente statico e uno dinamico. Inoltre, la rigidezza tangenziale iniziale deve essere esplicitamente fissata. Tali valori sono solo usati nelle analisi statica non lineare (CURAN) o dinamica non lineare (DYNCURAN). Per le sole bielle, e in vista del solutore dinamico non lineare dyncuran, si può dare uno smorzamento viscoso C (forza divisa per velocità). Si ricorda e sottolinea che lo smorzamento elementare viscoso comporta la non disaccoppiabilità delle equazioni del moto (analisi modale). Per fare analisi modali con smorzamento elementare servono speciali formulazioni che sono in corso di studio.
  - d. E' stato modificato il [dialogo relativo alla acquisizione delle molle](#)<sup>[842]</sup>, sempre per consentire di introdurre un coefficiente di attrito dinamico, la rigidezza tangente in fase di attrito attivo e lo smorzamento viscoso C.
  - e. E' stato modificato il [dialogo per la definizione della time history modale](#)<sup>[635]</sup>. Si veda anche l'aggiornamento della pagina relativa a [Come si fa una analisi di time history modale](#)<sup>[254]</sup>.
  - f. E' stato aggiunto il bottone per il lancio della time history non lineare, e il relativo dialogo. La THNL non è ancora stata rilasciata.
2. E' stato corretto un bug relativo alla griglia, che impediva la corretta aggiunta di elementi beam in certi casi.

## 6.6 Dalla 15.90 alla 16.00

La versione 16.00 del programma è stata rilasciata il 12 marzo 2025, e si differenzia dalle precedenti per il recepimento del nuovo solutore dinamico non lineare DYNCURAN, e di tutti i comandi e le funzionalità che servono a impiegarlo nel modo corretto.

Sargon è ora un ambiente di studio molto avanzato degli accelerogrammi, e consente di fare analisi dinamiche in uno spettro molto ampio, che sarà ulteriormente ampliato nei prossimi mesi.

La gestione delle **analisi sismiche** si può essenzialmente fare nei seguenti modi:

- con la analisi statica equivalente, sia utilizzando una distribuzione lineare di forze (comando [Sisma](#)<sup>[1040]</sup>) sia utilizzando una distribuzione coerente con un modo prescelto (comando [Da Spettro](#)<sup>[1065]</sup>)
- con la analisi a spettro di risposta e lo spettro di normativa.
- con la analisi a spettro di risposta e uno spettro ottenuto come [involuppo degli spettri](#)<sup>[1059]</sup> di un certo numero di segnali (accelerogrammi) [importati nel modello](#)<sup>[1045]</sup>.
- con la analisi di [time history lineare](#)<sup>[254]</sup>, opzionalmente [selezionando i segnali con il metodo EDEM](#)<sup>[1051]</sup>
- con la analisi di [time history non lineare](#)<sup>[553]</sup>, opzionalmente [selezionando i segnali con il metodo EDEM](#)<sup>[1051]</sup>.
- con la analisi di [multi time history non lineare](#)<sup>[553]</sup>, opzionalmente [selezionando i segnali con il metodo EDEM](#)<sup>[1051]</sup>.







Tutti i comandi coinvolti, sono stati migliorati, ampliati e ulteriormente messi alla prova, con ottimi risultati.

Il nuovo solutore DYNCURAN consente anche di fare analisi nelle quali compaiano smorzatori concentrati, i quali sono associati:

- agli elementi biella;
- agli elementi molla, sia traslazionali che rotazionali .

Quindi, si possono studiare strutture con dissipatori viscosi aggiunti ai diagonal di controvento, ad esempio, o simulando la perdita di energia nelle fondazioni mediante molle e smorzatori opportunamente tarati.

Si consiglia di riguardare o guardare i seguenti argomenti della guida:

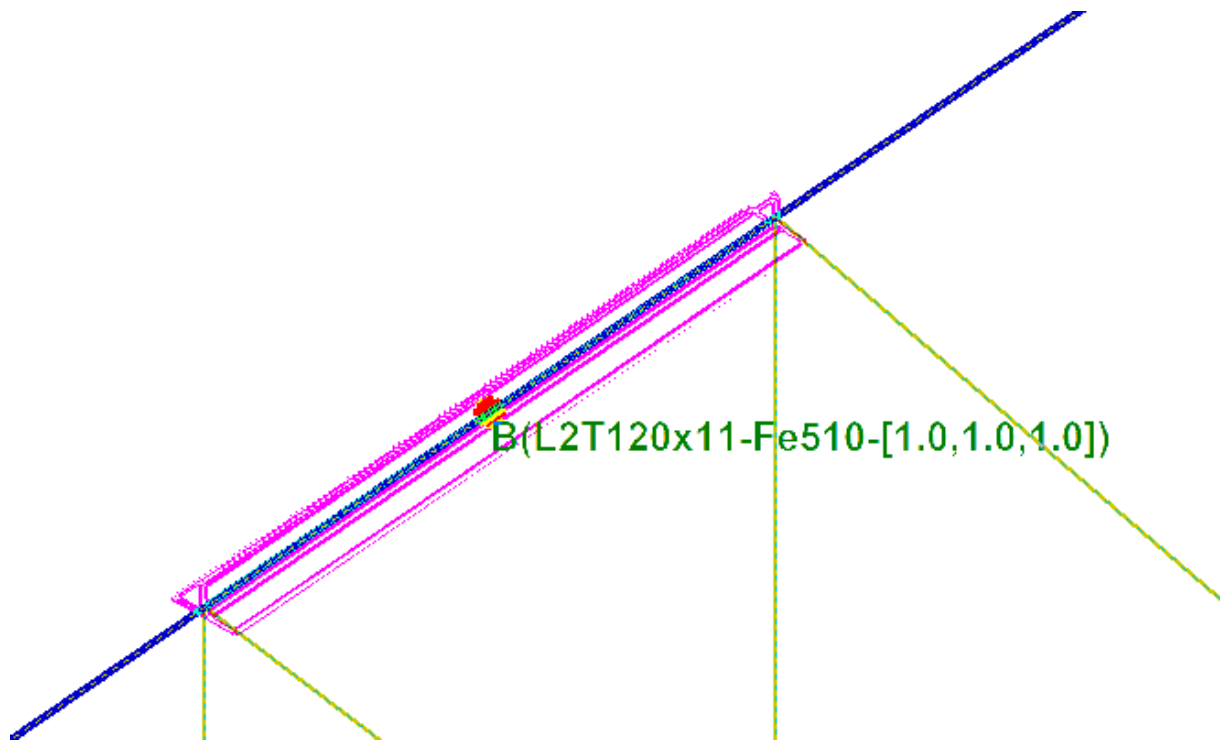
- [come fare analisi dinamiche non lineari](#)  553
- [come utilizzare EDEM](#)  503
- [come affrontare le analisi sismiche coi segnali](#)  483
- [come gestire gli spettri di inviluppo](#)  553
- [come eseguire analisi di time history modale](#)  254
- [come saperne di più del metodo neodeterministico](#)  475

## 6.7 Dalla 16.00 alla 16.31

La versione 16.30 presenta diverse importanti novità in specie nella interfaccia grafica.

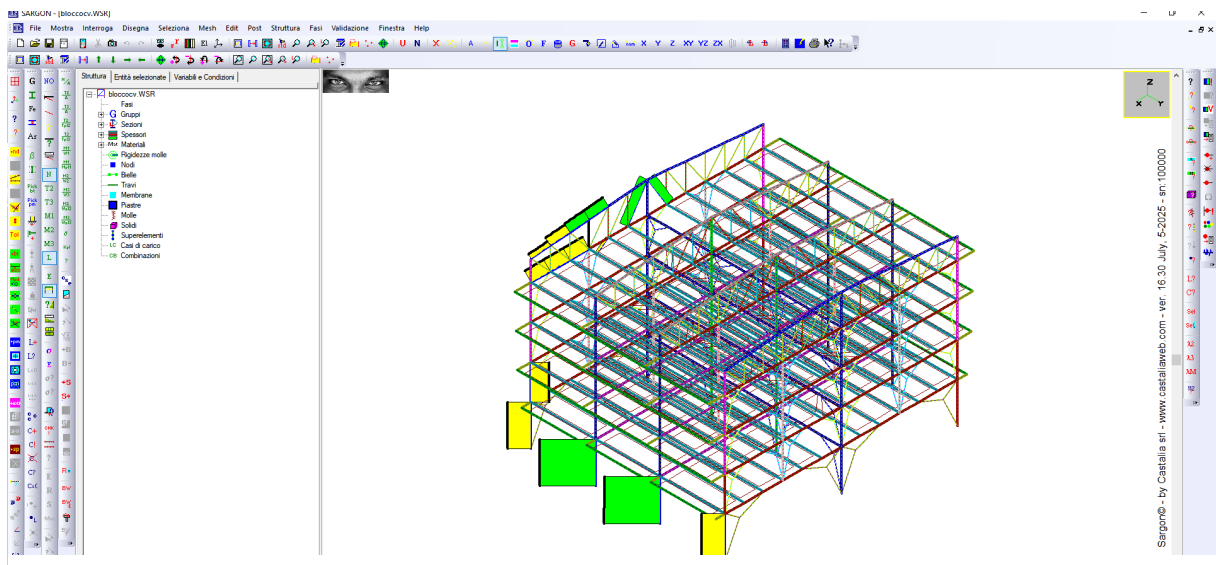
1. Ora i comandi di interrogazione e di selezione con il click mostrano una scritta mobile che riepiloga dati salienti del nodo o elemento più vicino al mouse. Per i nodi si danno le coordinate e i vincoli. Per gli elementi beam e truss la sezione, il materiale e i

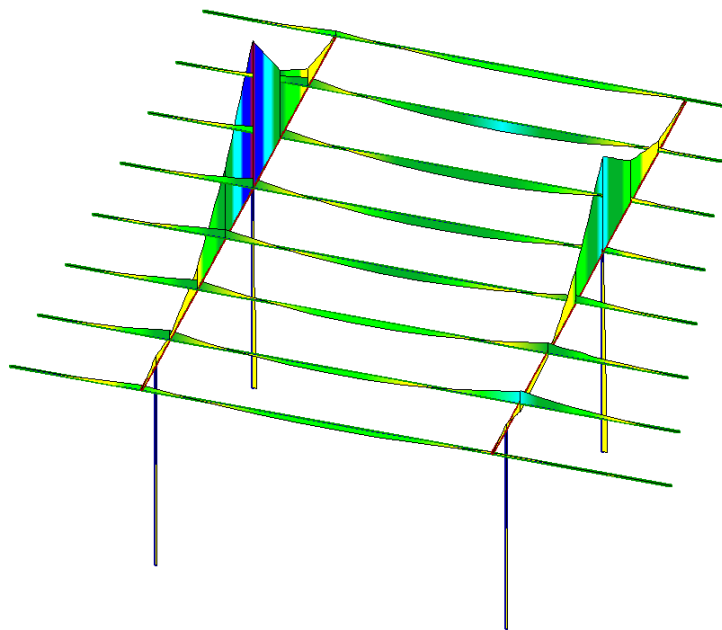
coefficienti di libera inflessione. Per gli elementi piastra e membrana la sezione (nome della proprietà spessore spessore) e il materiale. Per i solidi il materiale. Per le molle la rigidezza. Al muoversi del mouse viene anche rappresentata la vista solida degli elementi beam e truss. Si veda la figura sottostante. La scritta e il disegno mobili, appaiono e disappaiono facendo doppio click.



2. E' stato radicalmente cambiato il modo in cui vengono resi graficamente i diagrammi delle azioni interne. Si usa una campitura piena, e il colore del diagramma (per i soli  $N$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ ) indica lo sfruttamento rispetto al limite elastico corrispondente

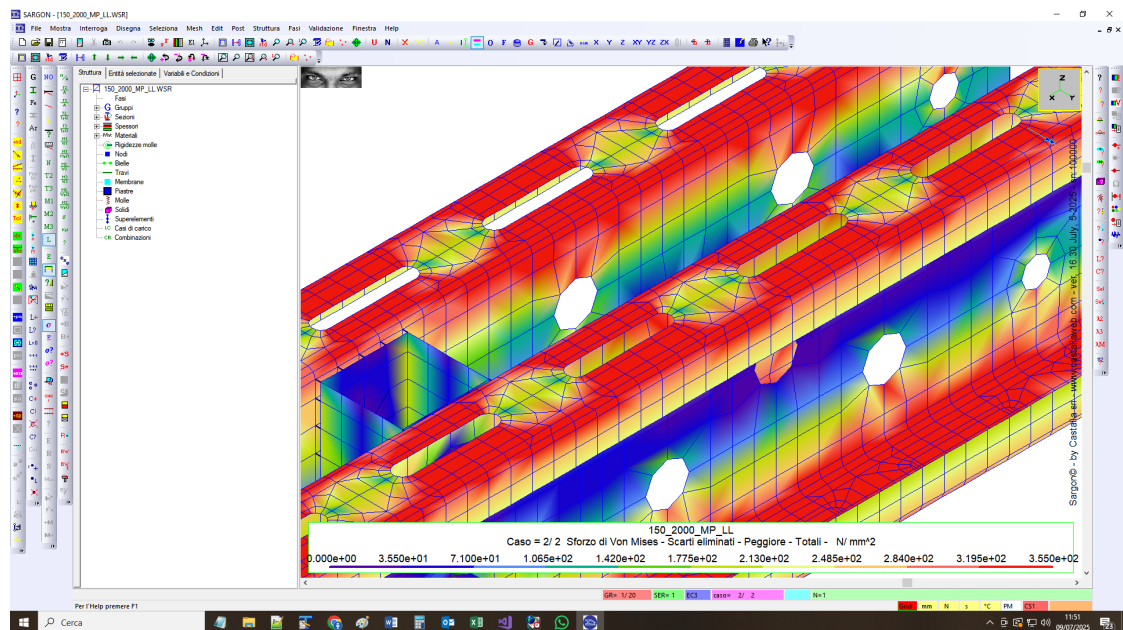
alla singola azione interna ( $|N/N_{el}|$ ,  $|M_2/M_{2el}|$ ,  $|M_3/M_{3el}|$ ). I colori degli sfruttamenti sono gli stessi degli sfruttamenti del verificatore. Per la azione assiale, la compressione si distingue dalla trazione non più dal colore, come era prima, ma perché il diagramma ha il bordo inspessito. In questo modo è molto più agevole comprendere la importanza della specifica azione interna. Ciò vale anche per gli involuppi.





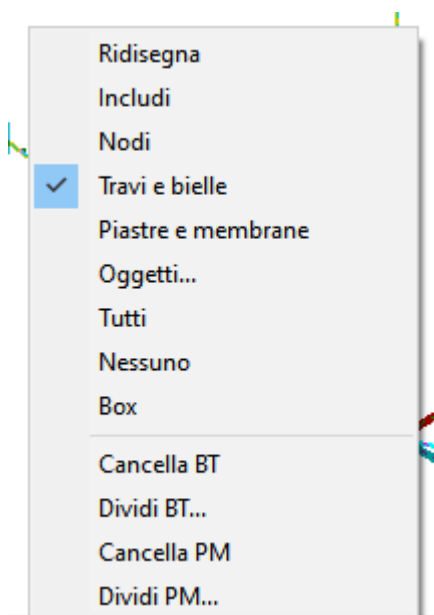
Sargon© - by Castalia srl - www.castaliaweb.com - ver. 16.30 July, 5-2025 - sn: 100000

3. I comandi di "dithering" del tensore di sforzo e deformazione su elementi plate shell, membrana e solidi, usano ora una campitura sfumata e non a intervalli regolari. Ciò dovrebbe migliorare la qualità delle immagini e rendere il comando più veloce. Qui sotto un esempio con analisi limite.



4. E' ora possibile aggiungere combinazioni a un combiset non vuoto usando il comando automatico di aggiunta delle combinazioni (prima era necessario che il combiset fosse vuoto).
5. E' ora possibile riversare tutte le combinazioni di un combiset in un altro diverso combiset.
6. Nel comando di copia, se si selezionano due nodi per definire il vettore, è ora possibile usare solo certe componenti del vettore ( $N2-N1$ ), solo X, Y, Z, XY, YZ, ZX.
7. In assenza di comandi in corso, il tasto destro del mouse dà accesso a un menu a tendina che consente di scegliere se selezionare Nodi, Travi o Bielle o Piastre e Membrane, senza passare per il comando "Oggetti da Selezionare".





8. E' stata aggiunta la possibilità di stampare i coefficienti di sfruttamento delle sole aste selezionate nel serbatoio 3. Ciò consente di visualizzare gli sfruttamenti di elementi salienti con l'esatto numero calcolato.
9. Sono stati rimossi malfunzionamenti in CURAN e DYNCURAN in presenza contemporanea di molle ed elementi beam.

## 6.8 Dalla 16.31 alla 16.40

La versione 16.40 presenta diverse importanti novità in specie nella interfaccia grafica.

1. Le scritte mobili associate ai comandi di interrogazione e di selezione, sono ora visibili opzionalmente. C'è un flag nel menu Mostra, azionato da un [opportuno comando](#)<sup>709</sup>, che consente di attivare/disattivare la comparsa delle scritte mobili.
2. La rappresentazione dei diagrammi di vecchio tipo è ottenibile scegliendo questa opzione e salvandola con il comando [File-Salva Configurazione](#)<sup>614</sup>. La scelta è fatta con il comando che determina il numero di sezioni da usare nei diagrammi. Oltre a tale numero è ora fornito il flag che indica se usare la nuova o la vecchia rappresentazione. La nuova rappresentazione è probabilmente migliore se si hanno pochi elementi o se li si estraggono, in modo che i diagrammi non si sovrappongano tra loro. La vecchia è migliore quando ci sono molte centinaia di aste.
3. Sono state aggiunte diverse nuove variabili predefinite di tipo **El.**, relative ai momenti al primo e terzo quarto della luce ([Variabili predefinite per Elementi](#)<sup>296</sup>).
4. Le verifiche libere sono state ampliate di molto perché è ora possibile definire delle "Variabili Entità" in modo del tutto libero, sì che ora elementi e nodi possono avere "parametri utente" referenziabili con le relative variabili e utilizzabili nelle verifiche

libere. Si tratta di un importante ampliamento del raggio di azione del programma. Si veda: [Variabili Entità](#)<sup>[304]</sup>.

5. Nella importazione di MIDAS vengono ora letti anche i casi di carico relativi alla analisi a spettro di risposta (scheda \*SPLDCASE nel file MGT/MCT).
6. E' stato corretto un problema segnalato sui "section cut" (comando [Post-Reazioni Vincolari-Somma forze mancanti](#)<sup>[1188]</sup>), quando in presenza di carichi termici. Il problema si evidenziava con CLEVER e SOCLEVER ma non con CURAN e DYNCURAN.
7. E' stato ripreso e portato a compimento il comando che consente di esportare in formato IFC [il modello analitico e fisico](#)<sup>[584]</sup> della struttura (comando [File-Esporta](#)<sup>[656]</sup>).

## 6.9 Dalla 16.40 alla 17.00

La versione 17.00 rappresenta il fondamentale passaggio dal compilatore Visual Studio 2017 al compilatore Visual Studio 2026.

Tutti i programmi sono stati ricompilati e aggiornati al nuovo compilatore.

Questo passaggio si è reso necessario per fare sì che il programma resti allineato con i più recenti standard Microsoft. La ricompilazione allinea e aggiorna tutti i programmi all'ultimo compilatore disponibile (2026). L'operazione viene fatta ogni sei o sette anni. La precedente fu con la versione 13.00 all'inizio del 2019 (da VS2010 a VS2017).

Questa ricompilazione è preliminare alle corpose attività di sviluppo previste per il 2026.

Con la occasione sono state apportate le seguenti modifiche.

1. E' stato corretto il bug relativo alla scelta dei colori nella versione a 64 bit.
2. I comandi di divisione, splitting e intersezione potevano dare problemi in presenza di superelementi in questi casi:
  - a. Se un elemento veniva suddiviso e apparteneva *a più di un superelemento* e tale elemento era il primo della serie o l'ultimo del superelemento 2, 3, .... Casi rari, ma che potevano dare problemi.

I comandi in precedenza cancellavano *il primo* superelemento che usava l'elemento suddiviso ma non prevedevano che l'elemento suddiviso appartenesse *a più di un superelemento*. La modifica

che è stata fatta consiste nel "riparare" la lista degli elementi *dei superelementi* che includono il generico elemento suddiviso, senza cancellarli. Va però osservato quanto segue:





1. La creazione dei superelementi andrebbe sempre fatta alla fine delle operazioni di meshing. Divisioni, intersezioni, splitting in presenza di superelementi sono operazioni non ottimali.
2. Se un nuovo elemento insiste su un superelemento suddividendolo è da verificare se tale nuovo elemento divisore non comporti un diverso comportamento a instabilità.
3. Se in una struttura ci sono centinaia di superelementi, e si creano dozzine o centinaia di nuove intersezioni, il controllo dei superelementi modificati (ai fini del punto precedente) può essere ostico.
4. La ricerca e riparazione dei superelementi può essere una operazione lenta.

## **6.10 Dalla 17.00 alla 18.00**

La versione 18.00 è una versione che introduce importanti cambiamenti, legati alla sostanziale integrazione delle funzionalità di RCSTUDIO in Sargon. E' quindi ora possibile eseguire le verifiche a presso e tenso flessione deviata su elementi generici in calcestruzzo

armato. Tale integrazione ha richiesto la aggiunta di svariati nuovi comandi e la introduzione di nuove modalità di resa grafica.

I nuovi comandi e dialoghi sono evidenziati in giallo nel menu di navigazione. Le principali modifiche sono:

1. [Aggiunta di nuove modalità di resa grafica](#).
2. [Possibilità di eseguire le verifiche di elementi in c.a.](#).
3. Aggiunta della nuova sezione [Struttura-Calcestruzzo Armato](#).
4. Aggiunta della nuova sezione [post-C.A.](#).
5. Il formato del file WSR è cambiato, dato che ora membrature e armature fanno parte di esso.
6. Esiste il nuovo modulo RCSHAPE.EXE che è abilitato con gli stessi controlli del modulo di verifica secondo EC3/NTC. Chi ha quel modulo può eseguire le verifiche del c.a.. Questo modulo fu messo a punto e ampiamente testato negli anni 90.
7. Esiste il nuovo tabulato .OOO con i risultati delle verifiche del c.a..
8. Per accogliere i nuovi comandi sia la barra principale, che la barra POST2, che la barra Struttura sono state ampliate. Analogamente il RIBBON è stato aggiornato.

9. La griglia è ora per default OFF.





# Indice

## - . -

.anf 91, 147  
.arf 147  
.dxf 87  
.esd 88  
.sdb (sap2000) 91  
.srg 86

## - A -

Accelerogramma 254, 267, 1316  
Accelerogrammi 465, 1046  
Accelerogrammi, spettro risposta 1045  
acciaio 954  
affianca finestre 1332  
Affidabilità 321  
Aggiorna membrature 1271  
aggiornamento 663  
Aggiunta 1271, 1272, 1275, 1282, 1284, 1285, 1287, 1292  
AISC-ASD 891  
aiuto 70  
Albero, vista ad albero 693, 694  
Algor 88  
allineamenti 752, 755  
allineamento 752, 754, 761, 859  
allocazione memoria soluzione 647  
alpha,cr 1199  
alpha,u 1199  
ampiezza di banda 270  
amplificazione 195  
Analisi al passo 254, 267  
Analisi dinamiche 553  
analisi nonlineare 268  
Analisi simiche 553  
Analisi sismica 553  
analisi statica equivalente 1042  
annulla 882  
anteprima di stampa 334  
appunti 335  
archivi 179  
archivio 997, 999, 1016  
area 717

area efficace 954  
ared 287, 1018  
attribuzione 1019  
interrogazione 717, 720  
aree di taglio 267  
arf 682  
Armature 586, 707, 708, 1271, 1272, 1275, 1282, 1284, 1285, 1287, 1291, 1292, 1296  
Aspetto applicazione 690, 691, 692  
Assegna acciaio 1294, 1295  
Assegna calcestruzzo 1293, 1294  
assegnare 180  
assi 704  
assi di riferimento  
posizione degli 693  
assi riferimento 693  
Autocad 87, 337  
avi 660  
azione assiale iniziale  
interrogazione 717, 720  
azione 1027, 1033, 1034, 1038, 1040, 1043, 1044, 1068  
azione assiale iniziale 268, 815  
azioni 168, 172, 730, 738, 1042  
aggiunta di 1028  
aggiunta di carichi concentrati 1030  
aggiunta di carichi lineari 1031  
aggiunta di carichi lineari generali 1031  
aggiunta di carichi termici 1032  
aggiunta di carichi uniformi 1030  
aggiunta di forze nodali 1030  
carichi a regione 1035, 1037, 1038  
carichi a regione standard o di proiezione 1036  
gravità 1038  
interrogazione 730, 1034

## - B -

barra di stato 690  
Barre 36, 586  
barre strumenti 683  
barre tematiche 683  
beta 284  
biella 74, 78, 83, 718, 801, 804, 805, 806, 808, 810, 811, 812, 814  
interrogazione incidenze 719, 729  
bielle  
aggiunta 803  
splitting di 807, 808

bitmap 335  
 bottoni 683  
 box 64  
 buckling 209  
     analisi 1196, 1197, 1198, 1202  
     informazioni 1198, 1199  
     mostra deformata critica 1196  
 Bulloni 466, 1232, 1233, 1234  
 Bulloni e saldature 1232

## - C -

C.A. 586, 1293, 1294, 1295  
 calcestruzzo armato 586  
 calcolatrice 681  
 calcolo 681  
 calcolo automatico sezioni generiche proprietà 1693  
 cambiare vista 157  
 cancella condizione 1176  
 cancella variabile 1176  
 capacità 439  
 Capacity design 409, 410, 413, 422, 1309, 1312, 1313  
 caratteristiche efficaci 954  
 carichi 172  
 carico critico 209  
 cascata finestre 1332  
 casi 168  
     combinazione dei 1077  
     interrogazione 739  
 casi di carico 168  
 caso 169, 733, 1078  
     aggiunta di un 1069  
     azzeramento di un 1075  
     definizione di un nuovo 735, 1069  
     interrogazione 734  
     modifica di un 1074  
     somma di un 1075, 1076  
 caso di carico 169  
 caso dinamico 1071  
 cedimenti 172  
     aggiunta di 1032  
 cedimento 168  
 CLASS4 954  
 classe 1182  
 clipboard 335  
 cm 156  
 CNR-10011 891

Collegamenti 466  
 collegamento 335  
 colonne 891  
 colore 700, 701, 702, 705  
 comandi 36, 63  
 combinazione 735, 1097, 1098  
     aggiunta di una 1081  
     azzeramento di una 1095  
     definizione di una nuova 737, 1081, 1094  
     elimina alcune 1095  
     elimina tutte 1095  
     generazione automatica 1085  
     interrogazione su 736  
     modifica 1093  
     stampa 1091  
 Combinazioni 168, 169, 170, 346, 1079, 1086, 1096  
 combiset 170, 1079  
 commento 616  
 componente 1108, 1194, 1197  
 condizione 1167, 1175, 1177  
 condizioni 1172  
 configurazione 614  
 controllo 277, 1580  
 controllo visivo armature 707  
 copia 865, 868  
 copia di elementi selezionati 867  
 Crea DXF 1296  
 creazione mesh 72  
 criterio 891  
 criterio di progetto 886  
 criticità 209  
 curva di stabilità 891

## - D -

dati  
     stampa di 698  
 dati generali 710  
 deformata 319, 1107, 1108  
     interroga 1109, 1110  
     interrogazione 1109, 1110, 1111  
     scala 1112  
     scala della 1111  
 deformata critica 209  
 Delaunay 830  
 DGA 475  
 diagrammi 319, 1123  
     azione assiale 1112

diagrammi 319, 1123  
  campionatura 1131  
  interroga 1122  
  interrogazione 1121  
  inviluppo 1122, 1130  
  inviluppo dell'inviluppo 1130  
  M2 1117  
  M3 1119  
  Mt 1116  
  scala 1122  
  scala dei 1123  
  sistema locale 1120  
  T2 1113  
  T3 1115  
dimensione 699  
disegni 348, 755  
Dissipazione 409, 410, 413, 422, 1309, 1312, 1313  
distanza 711  
distorsional buckling 954  
dof 271  
DOS 86  
drift 439  
drilling factor 271, 617  
duplicazione condizioni 1177  
DXF 348, 586, 682, 755, 1296

## - E -

EC2 586  
EC3 768, 769, 770, 771  
EC3 parte 1.1 891  
EC3DATA 1146, 1147, 1148, 1150, 1151, 1152, 1153, 1155, 1157  
EC5 772, 1437  
eccentricità 361, 817, 818, 819, 822, 823  
EDEM, EDESM, THNL, spettro compatibilità 483  
effective area 954  
elementi 701, 705  
elementi finiti 1588  
  scelta 273  
elementi finiti tipo 645  
Elimina 1291  
eliminazione variabili 1175  
EN 1993-1-1 954  
EN1993-1-3 954  
EN1993-1-5 954  
errore 321, 1132, 1135, 1136, 1670  
esecuzione di macro 665  
Esplosioni 254, 267

esporta variabili e condizioni 1171  
estrazione 750, 886  
estrusione 829  
etichette 695, 702  
  inclusione o esclusione delle 697  
Eurocodice 8 1670

## - F -

fasi costruttive 1263  
Fattore Omega. 1312  
Fattore q 409, 410, 413, 422, 1309, 1312, 1313  
FEM 71, 705  
fibre 1207  
fili fissi 752, 761  
filo fisso 752, 754  
filtri 890  
filtro 886, 891, 1001  
finestre applicazione 1333  
font 702, 703, 704  
formati a freddo 954  
forze 172  
forze non equilibrate, section cut 1188  
Fotografia 335  
freccia 891  
funzione del tempo 1071  
fusione 662

## - G -

Gauss  
  punti di 321  
geometria 711  
Gerarchia delle resistenze 409, 410, 413, 422, 1309, 1312, 1313  
Gerarchia delle resistenze. 1312  
Gestione finestre 1333  
Giunti, report 545, 1308  
gravità 1038  
Grid 779, 780  
Griglia 779, 780  
gruppi 183  
gruppo 183, 886, 1016, 1017, 1107  
  interrogazione 713, 722, 724, 726, 728, 729  
guida 1437

**- H -**

help 70  
Hughes 839

**- I -**

icone finestre 1333  
Idrift 284  
if variabile 1162  
IFC 584  
importa 1172  
Impulso 254, 267  
inattivi  
    dof 617  
inclusione 742  
indice help 1333  
infittimento 861, 862  
inflessione  
    coefficienti di libera 1249  
informazioni 181, 1334  
input 648  
    scrittura file 649  
insieme di combinazioni 170, 1079  
insiemi 183  
instabilità 209, 368  
instabilità locale 954  
interfacce 657  
interfaccia 36  
Interpolazione 321  
interroga 737, 738  
Interrogazione 710, 717  
    oggetti selezionati 737  
interrogazioni 181  
intersezione 859  
interstorey drift 284, 439, 1249  
introduzione 954  
Invarianti 321  
Inviluppo 1134, 1136, 1233  
irrigidimenti 954  
iterazioni 188

**- J -**

JNodi 1297, 1306, 1307  
jnodo 467, 1300, 1302, 1304, 1305

**- K -**

Kirchhoff 839, 841

**- L -**

lato  
    aggiunta 942, 943, 944, 945, 946  
legenda 1261, 1262  
libera inflessione 284  
    attribuzione 1018  
    coefficienti di 1017  
    interrogazione 715, 719, 729  
limiti 886  
listato 334, 652, 653, 654  
local buckling 954  
luoghi geometrici 752, 755

**- M -**

m 156  
macro 665  
Massa 732, 733, 1314  
    aggiunta di 1098, 1099  
    cancellazione della 1101, 1102  
    eccentricità accidentale 1103  
massa partecipante 188, 1195, 1203  
masse 188  
    aggiunta 1099  
    somma di 1101  
materiale 180, 999, 1019  
materiali 1001  
    archivio 1002  
MCSI 475  
membrana 74, 83, 722, 825, 829, 833, 834, 836, 839, 1013, 1019  
    interrogazione incidenze 721, 723  
membrane 321  
    aggiunta di 828  
    attribuzione proprietà 1013  
    splitting di 835  
    suddivisione di 833  
Membrature 1270  
Membrature 706, 707, 1271  
membrature vista soliiida 707  
Membraturra 71  
memoria 268, 617

memoria RAM 268  
 memoria virtuale 268  
 menu 36  
 mesh 72, 73, 74, 83, 779, 830, 857, 858, 859, 861, 862, 865, 868, 870, 871, 873  
     aggiunta di nodi 804  
     copia 867  
     elementi doppi 858  
 meshing 72, 83  
 Metamorfosi 83  
 metamorfosi di elementi selezionati 873  
 metodo generale 368, 1199  
 misura 156  
 mm 156  
 modal pushover 439  
 modale 63, 185, 188, 1612  
     analisi 1193, 1194, 1195, 1196  
     informazioni 1195  
     mostra deformata 1194  
 Modifica 1287  
 modifica condizione 1176  
 modifica variabile 1176  
 molla 74, 81, 83, 167, 726, 841, 845, 846  
     interrogazione 727  
 molle 1139, 1140  
     aggiunta di 842  
 molle alla Winkler  
     aggiunta di 849  
 moltiplicatore critico 1198  
 momenti inerzia 717  
 Momento parassita 1233  
 momento plastico 891  
 monocolor 705  
 mostra 695, 699, 700  
 mostra deformazioni fibre 1210  
 mostra sforzi fibre 1208  
 MPA 439  
 MSDI 254, 267  
 multipiano 1105, 1106

## - N -

NDSHA 254, 267, 475  
 Neo Deterministic Seismic Hazard Assessment 475  
 nodi 711  
     rotazione 797  
     traslazione di file di 790  
     traslazione di una fila di 791  
 nodi doppi 83

Nodi eguali 467  
 Nodi eguali 1297, 1306, 1307  
 nodi fissi 284, 1249  
 nodi semirigidi 166  
 nodi sui lati controllo controlli 863  
 nodo 74, 75, 83, 711, 789, 798, 799, 800  
     aggiunta di un 789  
     interrogazione massa 713  
     interrogazione su geometria 713  
     interrogazione su vincoli 713  
     riposizionamento di un 799  
     spostamento di 790  
     tolleranza 800  
 nome 182, 760, 878, 886  
     interrogazione 713, 722, 724, 726, 728, 729  
 nome nomi 880  
 nomi 182  
     attribuzione 878  
     stampa di 616, 698  
 non implementato 883  
 Non linearità 553  
 non modale 63  
 nonlineare 1208, 1210  
 Norcia 475  
 norma 767  
     scelta di una 767  
 normali 839  
 normativa 767  
 NRC 195  
 NTC 586  
 NTC2008 954  
 numerazione 800, 801  
 numerazioni 695, 702, 703  
     inclusione o esclusione delle 697  
 nuova finestra 1331  
 nuovo 612

## - O -

offset 361, 817, 818, 819, 822, 823  
 oggetti 695  
 OLE 335  
 opzioni 1122  
 Ordinanze PCM 3274 e 3316 1629  
 orientazione 704  
     rappresentazione della 704  
 Oscillatore 1314  
 Oscillazione forzata 553  
 output 614, 954

## - P -

Panza 475  
 parete sottile 954  
 Passo 254, 267  
 percentuale di massa partecipante 1203  
 Peresan 475  
 performance point 439  
 Pericolosità Sismica 475  
 periodi propri 1203  
 personalizzazione interfaccia 690, 691, 692  
 Personalizzazione report ePUB 436, 1268, 1269, 1270  
 piastra 74, 79, 80, 82, 83, 720, 825, 829, 833, 834, 836, 839, 840, 1013, 1019  
     interrogazione incidenze 721, 723  
 piastra spessa o sottile 839, 840, 841  
 piastre 321  
     aggiunta di 828  
     attribuzione proprietà 1013  
     splitting di 835  
     suddivisione di 833  
 Piatti 903  
 Pick armature 1291  
 planarità 836  
 Plasticità 409, 410, 413, 422, 1309, 1312, 1313  
 Plasticizzazione 1137  
 poligonale 65, 990  
 poligonale tipica 993  
 polisar 33  
 Post processing 317  
 pressione 1033  
 prestazione 439  
 profilario 179  
 profili 179  
 profilo 270  
 progetto 891  
 Progetto a capacità. 1312  
 proprietà 180, 701, 725  
     interrogazione 716, 720, 722, 724  
 pseudolabilità 271, 617  
 PSHA 254, 267, 475  
 punto iniziale 947  
 Pushover 439

## - R -

raccordo

aggiunta 947  
 rappresentazione 695, 699, 700, 701, 705, 1261  
     colore della 701  
     criterio di 701  
     dimensione degli oggetti 699  
     oggetti inclusi nella 696  
 rastremazione 805  
 Rayleigh 553  
 reazione 1068  
 reazioni 321  
 Reazioni suolo 1190  
 reazioni vincolari 1184, 1185  
     interroga 1184  
 reazioni vincolari, attrito 1186  
 refreshing 741  
 regolarità 837  
 relazione di calcolo 335  
 Remeshing 321  
 Report ePUB 436, 1268, 1269, 1270  
 Report ODT 436  
 ricerca 287  
 Ricerca membrane 1270  
 Ricerca nodi eguali 1297, 1306, 1307  
 riduzione 717  
 rifare 882  
 riferimento locale 704  
 rigidità geometrica 268  
 rinumerazione 270, 617  
 rinumerazione nodi 646  
 Risonanza 1314  
 Risposta 1314  
 risultante 738  
 risultanti  
     interrogazione sulle 739  
 Risultati 318, 335, 614, 656, 705, 954, 1259  
 Risultati verifiche libere 317  
 rotazione di elementi selezionati 798, 870  
 rotazione plastica 439  
 rotazione rispetto alla corda 439  
 Rugarli 475, 954

## - S -

Saldature 466, 1232, 1233, 1234  
 salvare 613  
 salvataggio 613  
 samba 179  
 Sap2000 91  
 Sargon 86, 1580

- Sargon, verifiche acciaio, fem, analisi strutturale, calcolo strutturale, EN1993, verificatori, CNR, elementi finiti  
 30, 33, 34, 35, 36, 63, 64, 65, 66, 70, 72, 156, 157, 159, 165, 166, 168, 169, 170, 172, 179, 180, 181, 182, 183, 185, 283, 318, 337, 346, 348, 354, 361, 368, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 648, 649, 652, 656, 657, 662, 663, 665, 681, 683, 690, 691, 692, 693, 695, 699, 700, 701, 702, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 713, 718, 720, 722, 724, 726, 728, 730, 732, 733, 735, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 755, 757, 758, 759, 760, 761, 763, 764, 765, 767, 772, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 789, 790, 797, 798, 799, 800, 801, 804, 805, 806, 808, 810, 811, 812, 813, 814, 817, 819, 823, 825, 829, 833, 834, 836, 839, 840, 841, 845, 846, 850, 852, 853, 854, 856, 857, 858, 859, 861, 863, 865, 868, 870, 871, 873, 878, 882, 883, 998, 999, 1013, 1016, 1017, 1018, 1019, 1021, 1023, 1024, 1027, 1033, 1034, 1038, 1040, 1043, 1044, 1068, 1069, 1074, 1075, 1076, 1077, 1078, 1079, 1081, 1085, 1091, 1092, 1093, 1095, 1097, 1098, 1099, 1101, 1102, 1103, 1105, 1106, 1107, 1108, 1109, 1110, 1111, 1112, 1115, 1116, 1117, 1119, 1120, 1121, 1122, 1123, 1124, 1125, 1126, 1127, 1128, 1129, 1130, 1131, 1132, 1134, 1135, 1136, 1139, 1140, 1141, 1142, 1143, 1145, 1157, 1159, 1162, 1163, 1167, 1168, 1171, 1172, 1175, 1176, 1177, 1178, 1180, 1182, 1184, 1185, 1193, 1194, 1195, 1196, 1197, 1198, 1202, 1203, 1235, 1239, 1240, 1241, 1242, 1243, 1245, 1246, 1249, 1261, 1263, 1264, 1266, 1331, 1332, 1333, 1334, 1336, 1347, 1357, 1366, 1420, 1422, 1437, 1566, 1580, 1587, 1588, 1612, 1629, 1640, 1670, 1693  
 scarti 321, 1132, 1135, 1136  
 scarto 1132, 1135, 1136  
 scorrimento 886  
 scritte 709  
 section cut 1188  
 section cut, forze mancanti 542  
 selezionare 159  
 selezione 159, 161, 162, 163, 165, 757, 758, 759, 760, 761, 763, 764, 765, 774, 775, 776, 777, 778, 779  
     filtri di 766  
     filtro di 766  
     operazione di 766  
     serbatoi di 764  
 semirigidezza  
     attribuzione di 1026  
 semirigidi  
     interrogazione sui nodi 716  
 sezione 71, 180, 708, 883, 998, 1019  
 sezione membratura corrente 708  
 Sezioni a C (formate a freddo) 927  
 Sezioni a cassone 904, 905  
 Sezioni a L 902  
 Sezioni a L (formate a freddo) 930  
 Sezioni a T 898, 900  
 Sezioni a U 898  
 Sezioni a W (formate a freddo) 936, 938  
 Sezioni a Z (formate a freddo) 934  
 sezioni a Z formate a freddo 932  
 Sezioni ad H 894, 896  
 sezioni ad L 901  
 sezioni ad L formate a freddo 928  
 sezioni ad U 897  
 sezioni circolari piene o cave 908  
 Sezioni composte da 2 angolari a croce 970  
 Sezioni composte da 2 angolari a T 969  
 Sezioni composte da 2 cantonali a [ ] 973  
 Sezioni composte da 4 angolari a croce 970  
 Sezioni composte da angolari 967, 969  
 Sezioni composte da cantonali 971, 973  
 sezioni composte da poligonali generiche 988  
 Sezioni composte generiche 974, 986  
 sezioni formate a freddo 939  
 sezioni formate a freddo generiche 924  
 Sezioni generiche 996  
 Sezioni laminate a T 919  
 Sezioni laminate a T ottenute per taglio di sezioni ad H 914  
 Sezioni laminate ad H 910, 911  
 Sezioni laminate ad I(IPN) 916  
 Sezioni laminate ad L 920, 921  
 sezioni laminate ad T 918  
 Sezioni laminate ad U 922, 923  
 sezioni laminate IPN 915  
 Sezioni laminate rettangolari cave (RHS) 907  
 sezioni laminate T tagliate H 912  
 Sezioni ottenute per riunione di poligonali generiche 994  
 Sezioni rettangolari 903  
 sezioni rettangolari cave laminate (RHS) 906  
 sezioni totalmente generiche 995  
 sforzi 321, 335, 1129, 1132, 1134, 1135, 1136, 1137, 1139, 1140  
     campionatura 1123, 1124, 1125, 1126, 1127, 1128, 1129  
 Sforzi di Von Mises 1137  
 sforzi principali 321, 1132, 1135, 1136  
 Sfruttamento 1233  
 simboli 165, 693, 695, 699, 700, 702  
 sisma 254, 267, 1042

sisma 254, 267, 1042  
     analisi statica equivalente 1040  
 Smoothing 321  
 Smorzamento 553, 1314  
 smorzatori 553  
 snapping 822  
 snellezza 739, 740, 891  
 snellezze  
     interrogazione 716, 719  
 Snervamento 1137  
 software 1580  
 solaio 1038  
 solidi vista solida 706  
 solido 724, 850, 852, 853, 854  
 soluzione 185, 186, 187, 188, 195, 209, 250, 617, 649  
     caricamento risultati solutori esterni 652  
 soluzione analisi buckling 633  
 soluzione analisi modale 625  
 soluzione analisi spettro di risposta 627  
 soluzione analisi statica nonlineare 620  
 soluzione frequency response 634  
 soluzione time history, accelerogrammi, impulso, esplosione, modi 635  
 solving 186, 187, 188, 195, 209, 250, 617, 649  
 sort 801  
 sorting 800  
 sottospazio 188  
 Sovraresistenza. 1312  
 specchiatura di elementi selezionati 873  
 spessori 709  
 spettrale 185, 195  
 spettri 1203  
 spettro 195  
 Spettro di risposta 1203, 1670  
 Spettro risposta 1314  
 Splitting 809, 850  
 spostata 319  
 stampa 334, 614, 615  
 stampante 334  
 stati limite 1640  
 stiffener 954  
 STL 841  
 storia 1587  
 Strucad 91, 147  
 Suddivisione di elementi 853  
 Suolo alla Winkler 1190  
 suolo elastico 354, 813, 840  
 SuperdrawIII 88  
 superelemento 74, 82, 287, 728, 856, 857

svincoli 166, 167  
     attribuzione degli 1025  
 svincolo 1024

## - T -

Tabelle 1259  
 tabulato 334, 954  
 taglio 321, 717  
 taper 805  
 tapered elements 805  
 tavole 755  
 temperatura 172  
 tempo 1071  
 tensione normale 891  
 tensore 321, 1132, 1134, 1135, 1136  
 terna locale 704, 811  
 Terremoti 475  
 Terremoto 254, 267  
 terzo nodo 811  
     cambiamento del 810  
 THNL 553  
 Time History 254, 267, 1314  
 tipo 701, 886  
 titolo 615, 616  
 titolo di stampa 615  
 tolleranza 83, 188  
 Tondi pieni 909  
 traslazione 742, 743, 744  
 trave 74, 76, 83, 713, 717, 801, 804, 805, 806, 808, 810, 811, 812, 813, 814, 817, 819, 823  
     interrogazione eccentricità 716  
     interrogazione incidenze 715  
     interrogazione suolo 717  
     interrogazione svincoli 715  
 trave o biella  
     interrogazione orientazione 717, 720  
 travi 891  
     aggiunta 803  
     splitting di 807, 808  
 trova 740, 741  
 Tubi 909  
 typical structures 1264, 1266

## - U -

unifilare 706  
 unità 156



unità 156  
    scelta della 773  
unità di misura 156, 772  
Urti 254, 267  
uscire 70, 681  
uscita 681  
uso help 1334

## - V -

validazione 380, 1322, 1324, 1325, 1326, 1327, 1328, 1329, 1330  
variabile 1157, 1159, 1162, 1163, 1167, 1168, 1171, 1175, 1176, 1177, 1178, 1180  
variabile con if 1162  
variabili 56, 1172  
Variabili e Condizioni 56  
vento 1043, 1044  
vento su profili 1043, 1044  
verifica 346, 954  
Verifica piastre 1137  
verifiche 283, 287, 291, 332, 1145  
    campionatura dei diagrammi nelle 1142  
    campionatura diagrammi 1142  
    esecuzione delle 1140  
    interroga sfruttamenti 1143  
    interroga sfruttamento 1143  
    interrogazione sulle 1142  
    involuppo delle 1145  
    passaggio a CSE 1141  
    passaggio a RCSTUDIO 1141  
    statistiche 1143, 1144  
verifiche libere 291, 292, 317, 1157, 1159, 1162, 1163, 1167, 1168, 1171, 1172, 1175, 1176, 1177, 1178, 1180  
Verifiche libere: condizioni 312  
Verifiche libere: struttura 315  
Verifiche libere: variabili aggiuntive 308  
Verifiche libere: variabili predefinite 296  
Verifiche utente 1146, 1147, 1148, 1150, 1151, 1152, 1153, 1155, 1157  
vincoli 166  
    attribuzione dei 1022  
vincolo 1021, 1023  
vista 157, 165, 693, 746, 747, 748, 749, 751  
    cambiamento della 747, 748  
    definizione 751  
    richiamo di 752  
vista ad albero, albero 43  
vista solida trasparente 707

visualizza fibre 1208, 1210  
Von Mises  
    sforzo di 321, 1132, 1135, 1136

## - W -

windows 1333  
Winkler 83, 354, 813, 840, 846

## - X -

xeris 475

## - Z -

Zone dissipative 409, 410, 413, 422, 1309, 1312, 1313  
zoom 744, 745, 746





<http://www.castaliaweb.com>  
Via XX Settembre, 39  
26900 Lodi  
[staff@castaliaweb.com](mailto:staff@castaliaweb.com)  
Copyright 2000-2026 - Castalia srl