



## **Help di Cescro e Cescoplus**

6.0.1



<http://www.castaliaweb.com>  
Via Pinturicchio, 24  
20133 Milano  
[staff@castaliaweb.com](mailto:staff@castaliaweb.com)  
Copyright 1995-2015 - Castalia srl

Revisione 25

# Premessa

---

*Cesco è un vasto ed ambizioso programma di calcolo dedicato al calcolo delle strutture piane, ed all'insegnamento della Statica e della Scienza delle Costruzioni. E' stato usato da centinaia di studenti e di professionisti. Versioni di CESCO sono state usate per la didattica dal Politecnico di Milano, che del resto è stato tra i commitenti del progetto. Il progetto è incominciato nel 1993 e deriva dalla esperienza didattica fatta da me, che ne sono l'autore, presso il Politecnico di Milano, in qualità di assistente alla cattedra di Scienza delle Costruzioni, prima, e poi di Professore a Contratto. Questo progetto è ancora in espansione: molte migliaia di ore di lavoro, studio e ricerca vi sono state dedicate.*

*Dai primi anni 2000 CESCO, che ha prima germinato CESCOPLUS, per i professionisti, ha germinato CESCO MASTER e READER, versioni specificamente dirette ai docenti ed ai loro studenti, capaci di facilitare la creazione e l'invio di esercizi e temi d'esame, nonché la loro correzione automatica. Uno strumento molto potente ed avanzato, usato sul campo da diversi docenti italiani.*

*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 Cescro e Cescoplus

## Copyright Castalia s.r.l. 1995-2015 tutti i diritti riservati

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: 28/01/2015 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: 28/01/2015 in Milan

**Produttore:**

*Castalia srl*

**Autore di Cescro, Cescro Plus, Cescro Master e Reader:**

*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	14
<b>Parte I Introduzione</b>	<b>16</b>
1 Licenza d'uso.....	16
2 Ringraziamenti.....	17
3 Avvertenze.....	18
4 Panoramica.....	19
5 Come usare la guida.....	28
6 Riferimenti bibliografici.....	28
7 L'interfaccia di CESCO.....	30
8 Generalità sui comandi.....	31
9 Modalità di funzionamento.....	32
10 Unità di misura.....	33
<b>Parte II Come fare a ...</b>	<b>36</b>
1 Applicare il Principio dei Lavori Virtuali.....	36
2 Applicare le azioni e le coazioni.....	39
3 Assegnare i materiali.....	40
4 Assegnare le sezioni.....	41
5 Assegnare vincoli.....	43
6 Cominciare da zero.....	43
7 Descrivere la struttura.....	44
8 Fare l'analisi cinematica.....	45
9 Introdurre svincoli.....	45
10 Ottenere le reazioni vincolari.....	46
11 Personalizzare l'interfaccia.....	46
12 Predimensionare.....	47
13 Scegliere la modalità di funzionamento.....	48
14 Stampare.....	49
15 Studiare gli sforzi di una sezione.....	50
16 Studiare i diagrammi.....	50
17 Studiare la deformata.....	51
18 Evitare numeri sovrapposti.....	52
19 Gestire casi e combinazioni.....	53
20 Avere il tabulato.....	53
21 Studiare elementi in calcestruzzo armato.....	53

22	Eseguire le verifiche di strutture in acciaio.....	65
23	Eseguire le verifiche di strutture in legno.....	97
24	Eseguire l'analisi modale.....	151
25	Eseguire l'analisi a spettro di risposta.....	155
<b>Parte III Comandi</b>		<b>161</b>
1	<b>File</b> .....	<b>161</b>
	Nuovo .....	161
	Apri .....	161
	Salva .....	161
	Salva in .....	161
	Salva configurazione .....	161
	Stampa .....	161
	Utente .....	162
	DialogoIdentificatoreutente.....	162
	Anteprima di stampa .....	162
	Titolo di stampa .....	162
	Setup stampante .....	162
	Fotografia .....	162
	Crea listato .....	163
	DialogoModalitdicreazione del tabulato i.....	163
	Esci .....	164
	Modalità .....	164
	Predimensionamento.....	164
	Equilibrio.....	165
	Congruenza .....	165
	Analisi.....	165
2	<b>Mostra</b> .....	<b>165</b>
	Barra strumenti .....	165
	Barra di stato .....	165
	Quattro riquadri .....	165
	DialogoContenutoriquadri.....	166
	DialogoContenutodeiriquadri .....	166
	Imposta quadri .....	167
	Barra Interroga .....	167
	Barra mesh .....	167
	Barra delle forze .....	167
	Barra dei vincoli .....	167
	Barra degli svincoli .....	168
	Barra dei casi e delle combinazioni .....	168
	Post processing .....	168
	Barra c.a. ....	168
	Barra plv .....	169
	Nessuna barra .....	169
	Griglia .....	169
	DialogoImpostazionigriglia.....	170
	Colori .....	170
	DialogoSceltadeicolori.....	170
	Dimensioni .....	171
	DialogoDimensionedeisimboli .....	171
	Font .....	171

Formato .....	172
DialogoFormatodistampadeinumeri.....	173
Numerazione nodi .....	173
Numerazione rami .....	173
Numerazione membrature .....	173
Numerazione elementi strutturali .....	173
Ingombro elementi strutturali .....	173
Masse .....	174
<b>3 Interroga.....</b>	<b>174</b>
Dati generali .....	174
DialogoInterroga-Generale .....	174
Geometria .....	175
Nodi .....	175
DialogoGeometria.....	175
Rami .....	175
DialogoGeometria1.....	176
Oggetti selezionati .....	176
Risultanti .....	176
DialogoRisultanti.....	177
Masse Nodi Selezionati .....	177
Azioni .....	177
Trova .....	178
DialogoGeometria7.....	178
<b>4 Disegna.....</b>	<b>178</b>
Ridisegna .....	178
Includi .....	178
Zoom in .....	179
Zoom out .....	179
<b>5 Seleziona.....</b>	<b>179</b>
Tutti .....	179
Nessuno .....	179
Click .....	179
Box .....	179
Nodi .....	180
Rami .....	180
<b>6 Strutture.....</b>	<b>180</b>
Travi reticolari a briglie parallele .....	180
Multipiano .....	180
<b>7 Edit.....</b>	<b>180</b>
Annulla .....	180
Rifà .....	180
Applica Materiale .....	180
Applica Sezione .....	181
DialogoTipidisezione.....	183
DialogoAccessoarchiviosezioni.....	184
DialogoFiltrisullequantità .....	187
DialogoArchiviosezioni .....	187
Materiale .....	188
DialogoMateriale.....	188
Sezione .....	189
Pick BT .....	189
Applica beta .....	189

DialogoDeterminazionecoefficientidiliberainfl.....	190
<b>Modifica orientazione .....</b>	<b>190</b>
<b>Applica gravità .....</b>	<b>190</b>
<b>Unità .....</b>	<b>191</b>
<b>Nodi .....</b>	<b>191</b>
Trasla.....	191
Trasla 2 (/).	191
Trasla 3 (/).	191
<b>Rami .....</b>	<b>191</b>
Disgiunti.....	191
Congiunti.....	192
DialogoRichiestadicoordinate.....	193
DialogoModalitdiinput.....	194
DialogoRichiestadixedy.....	194
DialogoRichiestadiunangoloeunadistanzapro.....	194
DialogoRichiestadiunangoloediunadistanza.....	195
DialogoRichiestadiunangoloeunadistanza.....	195
Arco.....	195
DialogoAngoliinizialeefinaledellarco.....	196
DialogoAssunzione di un angolo.....	197
Dividi.....	197
DialogoSuddivisionedirami.....	197
Spezza.....	198
Copia.....	198
Ricopia.....	198
Specchia.....	199
Seleziona.....	199
Cancella.....	199
<b>Azioni .....</b>	<b>200</b>
Gravità.....	200
px.....	200
py.....	201
DialogoCaricodistribuito.....	202
Carico lineare.....	202
DialogoCarichidistribuitigenerali.....	203
Termico.....	203
DialogoCaricotermico.....	204
Cedimento.....	205
DialogoAggiuntacedimenti.....	206
Sisma statico equivalente.....	206
Canc Sel.....	207
Forza.....	207
+X.....	207
-X.....	208
+Y.....	209
-Y.....	210
(+X+Y).....	211
(+X-Y).....	211
(-X+Y).....	212
(-X-Y).....	213
Qualsiasi.....	214
DialogoForzacondirezionequalsiasi.....	215
DialogoApplicazione.....	215
Coppia.....	216

Antioraria .....	216
Oraria .....	216
<b>Vincolo .....</b>	<b>217</b>
Nessuno.....	217
Incastro.....	218
Cerniera.....	218
Manicotto.....	219
Pattino .....	219
Giù .....	219
Su .....	219
Sinistra .....	220
Destra .....	220
Giù-destra.....	220
Giù sinistra.....	221
Su destra .....	221
Su-sinistra.....	221
Carrello.....	222
Giù .....	222
Su .....	222
Sinistra .....	222
Destra .....	223
Giù-destra.....	223
Giù-sinistra.....	223
Su-destra .....	224
Su-sinistra.....	224
<b>Svincolo .....</b>	<b>224</b>
Nessuno.....	224
Completo.....	225
Cerniera.....	226
Cerniera su tutti.....	226
Manicotto.....	227
Pattino 0°.....	227
Pattino +45°.....	228
Pattino -45°.....	228
Carrello 0°.....	228
Carrello +90°.....	229
Carrello -90°.....	229
Carrello +45°.....	230
Carrello -45°.....	230
<b>Casi .....</b>	<b>230</b>
Aggiungi.....	230
Azzera .....	231
Somma .....	231
Dialogo-Sommadiuncaso.....	231
Somma XY.....	231
Dialogo-SommadiuncasoXY .....	232
Edita.....	232
Dialogo-Casidicarico.....	233
Precedente.....	233
Successivo.....	233
<b>Combinazioni .....</b>	<b>233</b>
Aggiungi.....	233
Dialogo-Combinazione.....	234
Edita.....	234



Importa.....	234
Elimina tutte!.....	235
<b>Masse .....</b>	<b>235</b>
Aggiungi.....	235
DialogoAggiuntadimasse.....	235
Caso.....	236
DialogoAggiuntadimasse1.....	237
Canc Sel.....	237
<b>8 Cinematica.....</b>	<b>237</b>
Esegui .....	237
Moto rigido .....	237
Successivo .....	238
Precedente .....	238
Scala .....	238
Numerazione "aste" .....	238
Interroga .....	238
DialogoAnalisicinematica .....	239
Suggerimenti .....	239
<b>9 Predimensiona.....</b>	<b>239</b>
Tipologia .....	239
DialogoAcciaio.....	241
DialogoCalcestruzzo.....	242
DialogoLegno.....	243
Imposta iterazione .....	244
DialogoParametriiterazione.....	245
Esegui! .....	245
<b>10 Plv .....</b>	<b>246</b>
Aggiungi spostamento .....	246
Rimuovi spostamenti .....	247
Rimuovi scelta iperstatiche .....	247
Reale .....	247
Resa Isostatica .....	248
Principale .....	248
Fittizia 1 .....	248
Fittizia 2 .....	248
Fittizia 3 .....	248
Imposta .....	249
DialogoImpostaplv.....	249
Sistema risolvete .....	250
Dialogostringa.....	250
Lavoro interno ramo... ..	250
<b>11 Post.....</b>	<b>251</b>
Risolvi! .....	251
N .....	251
T .....	252
M .....	252
N/A .....	252
M/W .....	253
Sigma .....	253
Tau .....	253
Von Mises .....	254
Max Principale .....	254
Min Principale .....	255

Selezionati .....	255
Inviluppo .....	256
Numero sezioni .....	256
Scala .....	256
DialogoScaladiagrammi.....	257
Stampa numeri .....	257
Mappa .....	257
Equazione .....	257
Dialogostringa1 .....	258
Deformata .....	258
Interroga nodo .....	258
Interroga Ramo .....	259
DialogoDeformatadiunramo.....	260
Scala .....	261
DialogoScalaspostamenti.....	261
Reazioni vincolari .....	261
Energia di deformazione .....	261
Sforzi Ramo .....	261
DialogoSceftadellasezionediverifica .....	262
DialogoSforzineivaripunti.....	264
<b>12 Verifiche.....</b>	<b>265</b>
Impostazioni .....	265
DialogoImpostaNorme.....	266
Verifica! .....	266
Inviluppo .....	267
Interroga .....	268
DialogoCoefficientidiSfruttamento.....	268
<b>13 Modale.....</b>	<b>268</b>
Calcola modi! .....	268
Imposta .....	269
DialogoAnalisimodale.....	269
Riepilogo .....	270
Deformata .....	270
Modo .....	270
Precedente .....	271
Successivo .....	271
<b>14 Spettro di Risposta.....</b>	<b>271</b>
Esegui analisi! .....	271
Imposta .....	272
<b>15 C.A.....</b>	<b>274</b>
Imposta .....	274
DialogoImpostazionecalcolicementoarmato.....	274
Interroga .....	284
DialogoRisultaticolocalcestruzzoarmato .....	285
DialogoRisultaticolocalcestruzzoarmato1.....	288
Crea Listato .....	290
Min A M .....	297
Diagramma barre (Con Min A M) .....	297
Diagramma barre (senza Min A M) .....	298
Layout barre .....	299
DXF Layout barre .....	299
Min A T .....	300
Staffe .....	300

Statistiche barre .....	301
DialogoStatistiche sul quantitativo di barre long .....	302
SLE! .....	302
<b>16 Help.....</b>	<b>303</b>
Indice .....	303
Come usare l'help .....	303
Help Contestuale .....	303
Informazioni su Cescio .....	303
DialogoInformazioni su CESCO.....	304

## **Parte IV GLOSSARIO 306**

<b>1 Avvertenza - Glossario.....</b>	<b>306</b>
<b>2 ANALISI CINEMATICA.....</b>	<b>308</b>
<b>3 ASSE PRINCIPALE.....</b>	<b>308</b>
<b>4 ASTA.....</b>	<b>309</b>
<b>5 AZIONE ASSIALE.....</b>	<b>309</b>
<b>6 BARICENTRO.....</b>	<b>310</b>
<b>7 BARRE.....</b>	<b>310</b>
<b>8 CARICO CRITICO .....</b>	<b>311</b>
<b>9 CARICO DISTRIBUITO.....</b>	<b>312</b>
<b>10 CARRELLO.....</b>	<b>312</b>
<b>11 CEDIMENTO.....</b>	<b>313</b>
<b>12 CERNIERA.....</b>	<b>313</b>
<b>13 COEFFICIENTE DI DILATAZIONE TERMICA.....</b>	<b>314</b>
<b>14 COEFFICIENTE DI LIBERA INFLESSIONE.....</b>	<b>314</b>
<b>15 CONGRUENZA.....</b>	<b>315</b>
<b>16 CORPO RIGIDO.....</b>	<b>315</b>
<b>17 CRITERI DI RESISTENZA.....</b>	<b>316</b>
<b>18 DEFORMATA.....</b>	<b>316</b>
<b>19 DEFORMAZIONE.....</b>	<b>317</b>
<b>20 DIAGRAMMI.....</b>	<b>317</b>
<b>21 ELONGAZIONE.....</b>	<b>319</b>
<b>22 ENERGIA DI DEFORMAZIONE.....</b>	<b>320</b>
<b>23 EQUAZIONI CARDINALI DELLA STATICA.....</b>	<b>320</b>
<b>24 FATTORE DI TAGLIO.....</b>	<b>321</b>
<b>25 FITTIZIA.....</b>	<b>321</b>
<b>26 FLESSIONE.....</b>	<b>322</b>
<b>27 FORZA.....</b>	<b>324</b>
<b>28 INCASTRO.....</b>	<b>324</b>
<b>29 INCOGNITA IPERSTATICA.....</b>	<b>325</b>
<b>30 INGOMBRO.....</b>	<b>325</b>

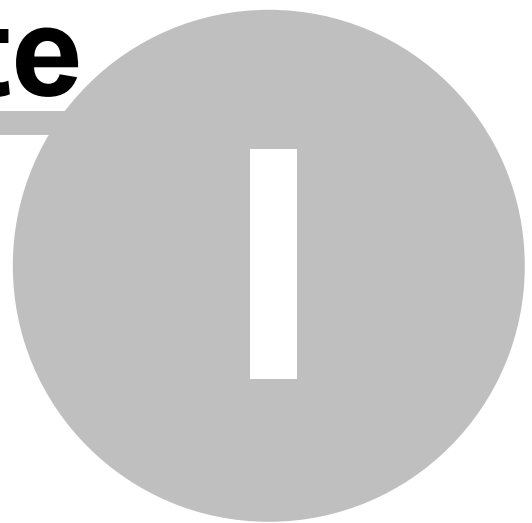
31	IPERSTATICITA'.....	326
32	IPOSTATICITA'.....	326
33	ISOSTATICITA'.....	327
34	ISOSTATICIZZAZIONE.....	327
35	LABILITA'.....	328
36	LAVORO.....	329
37	LUNGHEZZA DI LIBERA INFLESSIONE.....	330
38	MANICOTTO.....	330
39	MEMBRATURA.....	331
40	METODO ?.....	332
41	MODALITA' DI FUNZIONAMENTO.....	332
42	MODULO DI RESISTENZA.....	333
43	MODULO PLASTICO.....	333
44	MOMENTO DI INERZIA.....	334
45	MOMENTO.....	334
46	MOMENTO FLETTENTE.....	335
47	MOTO RIGIDO.....	335
48	NODO.....	336
49	PATTINO.....	336
50	PATTINO DOPPIO.....	337
51	PLV.....	337
52	PREDIMENSIONAMENTO.....	338
53	PRINCIPALE.....	338
54	RAGGIO DI INERZIA.....	339
55	RAMO.....	339
56	REALE.....	339
57	REAZIONE.....	339
58	REAZIONE VINCOLARE.....	340
59	RESA ISOSTATICA.....	340
60	SCORRIMENTO.....	340
61	SEZIONE.....	342
62	SFORZO.....	344
63	SNELLEZZA.....	344
64	STATICA.....	344
65	SVINCOLO.....	345
66	TAGLIO.....	345
67	TERRA.....	345
68	TIPOLOGIA.....	346
69	UNITA' DI MISURA.....	348

70	VINCOLO.....	348
----	--------------	-----

	<b>Indice</b>	<b>350</b>
--	---------------	------------



**Parte**



# 1 Introduzione

## 1.1 Licenza d'uso

### CONTRATTO DI CONCESSIONE IN USO

Si conviene quanto segue:

Castalia s.r.l. dà in uso al Concessionario n. 1 copia del pacchetto di programmi di elaborazione dati C.E.S.CO. nel seguito denominato Programma.

Il Programma è composto dai supporti magnetici o ottici, dalla protezione hardware, dalla licenza d'uso e da tutti i materiali di supporto consegnati sotto forma di documenti elettronici in vari formati.

La concessione è regolata dalle seguenti condizioni:

- 1) Castalia srl, per accordo con gli Autori, ha e mantiene in via esclusiva i diritti di copyright sul programma, sul manuale e su tutto il materiale scritto di accompagnamento al Programma. Il Programma è tutelato dalle leggi sul diritto d'Autore e sul copyright dell'Italia, dalle disposizioni dei trattati internazionali e da tutte le leggi nazionali applicabili. Il Programma è composto da vari moduli ciascuno dei quali è e rimarrà di proprietà degli Autori e non del Concessionario.
- 2) Il Concessionario ha diritto di usare una sola copia del Programma in un solo elaboratore. Il Concessionario non potrà usare il Programma in più di un elaboratore o terminale allo stesso tempo.
- 3) Nè il Programma nè una sua copia potrà essere sub-licenziato a terzi, nemmeno a titolo precario e gratuito o per un periodo limitato di tempo, nè in tutto nè in parte.
- 4) Il Concessionario si impegna alla custodia del Programma; nel caso che questo gli venga sottratto illecitamente, esso si impegna a darne tempestiva comunicazione a Castalia s.r.l., oltre che ad assumere le iniziative necessarie ad impedire o limitare la diffusione non autorizzata del Programma.
- 5) Il Programma non potrà essere modificato od incorporato in altri programmi, convertito, decodificato, decompilato, disassemblato o sottoposto ad alcun processo mirante alla sua riconversione in programma sorgente.
- 6) In caso di inottemperanza alle condizioni di cui sopra, il presente contratto di concessione verrà risolto per fatto e colpa del Concessionario, il quale dovrà restituire il Programma unitamente al suo supporto materiale e a tutta la documentazione annessa, senza diritto a rimborso alcuno tutto ciò salvo il risarcimento degli ulteriori danni e le eventuali azioni penali.
- 7) Il Programma è fornito "come è". Castalia s.r.l. e gli Autori, nonostante che il Programma sia stato sottoposto ad accurati controlli, declinano ogni responsabilità nell'ipotesi che i risultati delle elaborazioni



ottenuti con l'utilizzazione dello stesso risultassero affetti da errori o carenze di qualsiasi genere, intendendosi con ciò che il Concessionario è comunque tenuto al controllo dei risultati dell'elaborazione.

8) Castalia srl garantisce che il prodotto e i supporti sui quali il software è fornito sono sostanzialmente privi di difetti significativi per un periodo di tre (3) mesi dalla data di consegna del prodotto. In caso di materiale o prodotto difettoso l'unico impegno di Castalia è quello – su sua scelta – di sostituire le parti difettose. Le parti sostituite diventeranno proprietà di Castalia srl.

9) Richieste di sostituzioni in garanzia dovranno essere fatte entro sette giorni dalla data di osservazione del difetto, accompagnate da prove soddisfacenti e precise indicazioni.

10) Eccetto quanto qui sopra stabilito non c'è alcuna altra garanzia, affermazione o condizione riguardante il Prodotto, o i servizi o prestazioni di Castalia srl o degli Autori, esplicite e implicite, ivi inclusa (e non solo) la garanzia implicita di capacità di assolvere un determinato compito.

11) Le responsabilità di Castalia srl e degli Autori per danni al concessionario o ad ogni altra parte, per qualsiasi causa, inclusa la negligenza, non potrà mai eccedere il prezzo pagato per l'unità di prodotto che ha causato il danno. In nessun caso Castalia o gli Autori saranno responsabili per qualsiasi danno causato dal mancato assolvimento dei suoi obblighi da parte del Concessionario, o per qualsiasi perdita di dati, profitti, risparmi, od ogni altro danno consequenziale o incidentale, o per ogni reclamo basato su azioni di terze parti.

12) Per qualsiasi controversia il foro competente è quello di Milano.

## 1.2 Ringraziamenti



C.E.S.CO, Computer Education to Structural Constructions, è stato realizzato dall'ing. Paolo Rugarli, di Castalia s.r.l., nell'ambito di un lavoro cominciato nel 1995, poi interrotto, poi ripreso e portato a compimento. L'Autore ha discusso i contenuti del progetto con alcuni Docenti del Politecnico di Milano che desidera qui pubblicamente ringraziare.

Il Prof. Ing. Giulio Ballio Docente di Teoria e Progetto di Costruzioni in Acciaio, che ha creduto nel progetto, lo ha ulteriormente migliorato con il Suo contributo, e si è attivamente adoperato affinché questo potesse vedere la luce. E' del Prof. Giulio Ballio l'idea di far vedere a schermo l'ingombro strutturale, nonchè di stimarlo recursivamente mediante opportuni insiemi di equazioni da egli stesso formulate per svariate tipologie costruttive. Queste equazioni sono state implementate in CESCO (menù Predimensiona).

Il Prof. Ing. Claudio Chesi, Docente di Scienza delle Costruzioni, che per primo cinque anni fa

ebbe l'idea che fosse il momento di realizzare un software di questo tipo proponendone la creazione all'Autore, e che nel corso di tutto il progetto è sempre stato pronto nel dare preziosi pareri. Al Prof. Claudio Chesi l'Autore deve la pluriennale felice collaborazione che gli ha consentito di lavorare liberamente alla didattica pur non essendo rimasto nell'Università.

I Proff. Ingg. Claudio Bernuzzi e Maria Adelaide Parisi, Docenti rispettivamente di Laboratorio di Costruzioni dell'Architettura II e di Scienza delle Costruzioni, che hanno dato svariati utili consigli per migliorare il programma, con la più grande apertura e disponibilità.

L'Autore esprime a tutte queste persone il proprio sincero ringraziamento, inoltre, per l'atmosfera di produttività e di concreta fattività che ha contraddistinto tutte le riunioni che sono state fatte, marcando un periodo di lavoro che resterà indimenticabile.

Novara/Milano, Gennaio 2000.

## 1.3 Avvertenze

Relativamente alla terminologia usata nell'help e anche nel programma va detto quanto segue.

I termini "isostatico", "ipostatico", "iperstatico" e "labile" sono usati in maniera non del tutto simile in letteratura. Alcuni Autori definiscono "isostatica" una struttura che non solo presenta un numero di vincoli eguale al numero dei gradi di libertà, ma che è anche tale da evitare atti di moto rigidi, essendo staticamente "ben posta". Altri autorevoli Autori usano come sinonimi "ipostaticità" e "labilità".

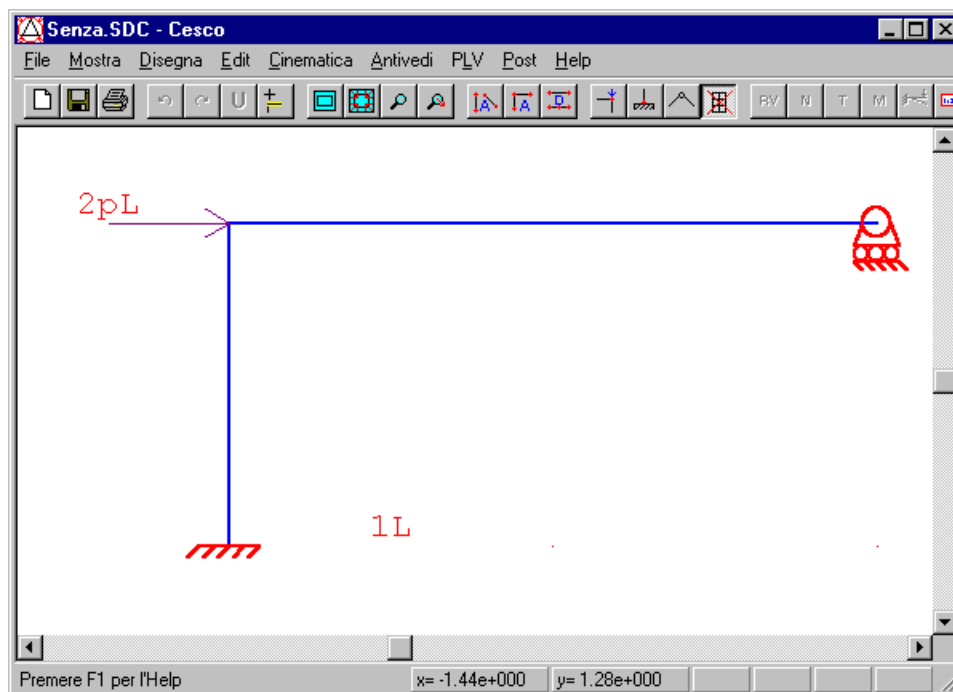
In CESCO i termini iso, ipo, iperstaticità hanno un significato meramente numerico, in accordo alla stretta etimologia dei termini: una struttura è isostatica quando il numero globale dei gradi di libertà è eguale al numero globale dei vincoli. E' ancora da dimostrare 1) che i vincoli siano ben distribuiti, in modo che anche localmente la struttura sia isostatica, e non magari una parte sia iperstatica ed una parte ipostatica; 2) che i vincoli siano correttamente disposti in modo da essere indipendenti. Il termine "labilità" viene usato in CESCO per indicare la presenza di moti rigidi su strutture isostatiche o iperstatiche. Viceversa una struttura è classificata "non labile", ad esempio: "isostatica e non labile", "iperstatica e non labile", quando è priva di moti rigidi.

I Docenti e gli Allievi che vorranno usare CESCO tengano in conto quanto detto sopra per interpretare correttamente quando riportato dal programma.

Tutto quanto è scritto nell'help è esclusivamente a responsabilità dell'Autore, e pertanto ogni eventuale manchevolezza, omissione, imprecisione o semplificazione è esclusivamente dovuta ad esso.

Come ogni programma, anche CESCO, sebbene capillarmente testato, può dare luogo a malfunzionamenti. In questo caso preghiamo di darne notizia via E-mail all'indirizzo [staff@castaliaweb.com](mailto:staff@castaliaweb.com), oppure connettendosi al sito <http://www.castaliaweb.com>.

## 1.4 Panoramica



CESCO è stato realizzato avendo in mente le esigenze degli Studenti e dei Docenti dei corsi di Statica, Scienza delle Costruzioni e Tecnica delle Costruzioni, delle Facoltà di Architettura ed Ingegneria del Politecnico di Milano.

Via via che il programma cresceva aumentava però la consapevolezza che lo strumento poteva ritenersi diretto anche ad una platea di utenti assai più ampia. Non solo perché anche gli Studenti ed i Docenti di altri Atenei si sarebbero potuti avvalere del programma, ma anche perché lo strumento, così docile, si prestava anche all'uso corrente da parte di chi non è un esperto di calcoli ma si trovi talvolta a doverne fare (Architetti, Geometri, eccetera).

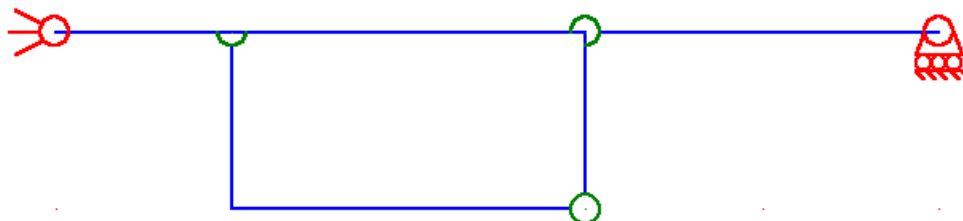
CESCO presenta diversi aspetti inediti nel panorama del software disponibile.

Esso non richiede a chi lo usa alcuna nozione relativa ai metodi di calcolo impiegati in background dal programma (metodo degli elementi finiti, calcoli matriciali, algebra lineare e geometria analitica), ma si propone di poter essere usato anche dal più giovane ed inesperto degli Allievi. Gli schemi che descrivono la struttura sono quelli familiari dei libri di testo, non vi sono difficoltà di sorta nell'interpretare simboli o linguaggi particolari.

CESCO si presta ad essere usato sia dagli Studenti che dai Docenti, in quanto mette a disposizione di entrambi comandi specificamente progettati per risolvere alcuni dei problemi tipici degli uni e degli altri.

Vengono affrontati argomenti come l'analisi cinematica, il predimensionamento automatico, il Principio dei Lavori Virtuali, che hanno richiesto approcci studiati ad hoc e non reperibili nella tradizione dei software di calcolo di vasto impiego (tra i quali principalmente i cosiddetti sap-derivati).

Un software di questo tipo fornisce un virtualmente illimitato supporto per gli esercizi e gli esami, pur rimanendo valido anche in contesti assolutamente realistici. Gli Allievi che lo impiegheranno si devono attendere di poter facilmente tracciare schemi strutturali sui quali esercitarsi al fine di apprendere le discipline che formano l'oggetto di questo programma. Ormai abituati a lavorare con il software, gli Allievi troveranno uno strumento facile da usare, in grado di dare la risposta esatta in modo virtualmente illimitato, comprensibile, riproducibile e sistematico.



La contiguità del linguaggio grafico impiegato con quella dei libri di testo è stata oggetto di numerosi sforzi, tesi a ridurre le differenze ed a fornire risultati efficienti: questo lavoro potrebbe continuare ancora a lungo, ma si ritiene di aver raggiunto, a questo riguardo, tutti i principali obiettivi iniziali. Potrà sempre capitare uno schema ingarbugliato che darà luogo a disegni un pò affollati od oscuri, ma nella maggior parte dei casi questi saranno leggibili e chiari, proprio come quelli dei libri. A partire dalla versione 1.5 è stata aggiunta la possibilità di avere i numeri in formato frazionario, anche in presenza dei più frequenti radicali irrazionali. Ciò consente in molti casi (non tutti) di avere i risultati esatti nella classica forma ottenibile con i calcoli fatti a mano, aggirando quindi i problemi legati al troncamento ed all'arrotondamento, tipici del calcolo numerico automatico.

Dietro la semplicità d'uso di questo programma, ed in modo drasticamente crescente con essa, vi sono numerosi sforzi e tecniche piuttosto complesse.

Il *tracciamento degli schemi* da parte dell'Allievo comporta un continuo remeshing automatico teso a definire e ripristinare le corrette incidenze, incidenze che l'Allievo, giustamente, non immagina neppure esistano.

L'*analisi cinematica*<sup>[308]</sup> comporta la valutazione del rango di una matrice rettangolare mediante la tecnica denominata SVD (Singular Value Decomposition). La matrice è ottenuta da una formulazione che, facile o difficile che fosse il farlo, è stata appositamente studiata per CESCO.

La *soluzione* nelle *modalità*<sup>[332]</sup> Predimensiona e Analisi è fatta mediante un solutore agli elementi finiti programmato apposta per CESCO, il quale usa il metodo di Choleskij. Tale solutore non si vede neppure, ma è lui che fa il lavoro di calcolo. Non si è ritenuto di dover affrontare anche per CESCO i problemi già in altri contesti affrontati, anche dall'Autore, e risolti, legati alla gestione di decine di migliaia di equazioni: la matrice è assemblata tutta, non si usano tecniche di skyline, né è prevista

una suddivisione in blocchi. Sono invece gestiti i vincoli obliqui ed il calcolo delle reazioni vincolari è fatto esplicitamente.

La *soluzione* delle [modalità](#)<sup>[332]</sup> Equilibrio e Congruenza usa invece le sole equazioni di equilibrio (e tenendo in conto vincoli e svincoli obliqui), impiegando però, anche qui, una formulazione messa in piedi appositamente.

Quindi nel programma esistono due distinti solutori.

Il [predimensionamento](#)<sup>[338]</sup> automatico è implementato mediante equazioni formulate appositamente dal Prof. Ballio per questo scopo, sia per elementi in acciaio che per elementi in calcestruzzo armato. Su strutture iperstatiche il predimensionamento automatico richiede un procedimento iterativo, che è stato appositamente programmato.

Il [Principio dei Lavori Virtuali](#)<sup>[337]</sup> per sistemi deformabili è studiato dal programma esattamente come si farebbe con carta e penna, in modo da essere sempre contigui a ciò che si vuole insegnare a fare. Si vedono le strutture principale, fittizia, si vede il sistema di equazioni risolvibile in forma letterale, si vedono le incognite cinematiche ed iperstatiche, le quali vengono scelte dall'utente.

Tutti questi sforzi, ed altri ancora ai quali qui non si accenna, sono tesi allo scopo di creare un programma *facile da usare*. Anche per questo non si è voluto sovraccaricarlo di troppi comandi e funzionalità, che sono sembrate ridondanti rispetto allo scopo.

La possibilità di fare esperimenti numerici, vedendo come cambiano i risultati al variare dei dati di ingresso sembra un punto di capitale importanza a favore dell'impiego di un programma come CESCO. L'approccio analitico-deduttivo è certamente quello più alto si possa sperare di insegnare, e quello che dà, alla lunga, la maggior padronanza della materia. Tuttavia non tutti gli Allievi sono abituati a questo tipo di approccio, e comunque, la sensibilità progettuale non si acquista che con una vasta esperienza fatta di tentativi e tentativi. CESCO può aiutare a farsi una parte di questa esperienza. L'Allievo dovrà sforzarsi di capire il perché di certi risultati, cercando di intuire la ragione fisica che sta dietro un risultato. Non dovrà usare questo programma come un *flipper* all'unico scopo di produrre risultati: per questo, ammesso e non concesso che si debba mai fare, esistono *flipper* di ben diverse dimensioni. Se CESCO sarà usato come un *flipper* avrà fallito il suo scopo.

Il punto di vista del Docente è molto diverso da quello dell'Allievo, perché diverso è il suo compito. Un primo servizio che CESCO può rendere al Docente, è quello di dotarlo di uno strumento di lavoro da usare per preparare e commentare a lezione esercizi, temi di esame, situazioni di progetto di particolare rilievo. Segnatamente per le esigenze di esame è stata pensata la modalità di stampa a quattro riquadri, che riepiloga sinteticamente i risultati di un calcolo, e che può essere usata, ad esempio, per affiggere in bacheca questi risultati.

Immagini prese da CESCO (comando [Fotografa](#)<sup>[162]</sup>) possono essere riprodotte su dispense,

libri, lucidi, e possono quindi evitare o ridurre il tedio di scrivere e calcolare a mano. I file corrispondenti possono essere archiviati, inviati per posta elettronica, ripresi e modificati, eccetera eccetera. Ulteriori passi sono allo studio, allo scopo di ampliare il raggio di azione di questo software anche ad altri ambiti.

Nell'esaminare il programma i Docenti vorranno tenere presente che si è voluto creare uno strumento didattico, e che pertanto alcune questioni, tipicamente quelle legate al predimensionamento ed al calcolo degli sforzi, si sarebbero potute illimitatamente ampliare, rimanendo pur sempre nell'ambito dell'opinabile. D'altro canto non si è mai voluto deresponsabilizzare chi usa il programma e fargli credere in alcuna *magnifica sorte e progressiva*: nessun programma mai potrà sostituirsi al progettista, anche se oggi molti venditori lo fanno credere.

In particolare il predimensionamento è stato pensato allo scopo di dare uno strumento a chi, completamente privo di nozioni di Scienza delle Costruzioni, si trovi a dover imbastire un progetto che abbia un minimo di attendibilità. Il predimensionamento serve a dare un'idea degli ingombri, **non** a fare a meno delle verifiche! Anche per questo l'altezza di profili IPE ed HEB viene indicata per il generalmente inesistente valore stimato dal programma(ad esempio IPE329...) e non per il valore reale dei profili commerciali: il passo successivo spetta allo Studente. Sarebbe stato facile mettere il profilo commerciale più vicino al valore calcolato, ma non si è voluto farlo. Allo stesso modo, l'orizzonte dei calcoli che vengono usati per stimare l'ingombro è ridotto per scelta, non per necessità o per svogliatezza.

Il numero, la disposizione ed il tipo di punti nei quali, su ogni sezione, vengono calcolati gli sforzi, è stato deciso dall'Autore in base a considerazioni di opportunità didattica, non in base a considerazioni di realismo progettuale.

Questa prima versione attende di essere usata, e sulla base delle osservazioni che giungeranno si potrà migliorare ulteriormente il programma. Chi nell'usare il programma volesse suggerire migliorie o aggiunte può farlo inviando una E-mail all'indirizzo seguente: [info@castaliaweb.com](mailto:info@castaliaweb.com).

#### NOTE ALLA VERSIONE 2.0

Milano, 12-1-2002

Il favore con il quale la versione 1.0 del programma è stata accolta, in specie dai Colleghi Ingegneri ed Architetti, ha indotto l'Autore a sviluppare ulteriormente C.E.S.CO., anche al fine di venire incontro in maniera più precisa alle varie esigenze che si sono prospettate.

La versione 1.0 di CESCO ha così germinato quattro diverse configurazioni:

· CESCO DEMO: è la configurazione dimostrativa del programma, gratuita e liberamente scaricabile dal sito di Castalia.

· CESCO LIGHT: è la configurazione del programma dedicata alla didattica. Della versione base conserva le modalità Equilibrio e Congruenza. In pratica consente di studiare strutture con il calcolo letterale, e si limita a strutture isostatiche o fino a tre volte iperstatiche. La iperstaticità viene risolta con il Principio dei Lavori Virtuali.

· CESCO STANDARD: è una configurazione intermedia, che corrisponde alla configurazione originaria del programma. Ha tutti gli strumenti per la didattica ma ha anche le modalità Predimensiona ed Analisi che consentono di studiare strutture reali.

· CESCO PLUS: è la versione puramente professionale di CESCO, alla quale al momento l'Autore sta ancora lavorando. Essa disporrà solo della modalità Analisi (non più della didattica) e sarà rivolta ai progettisti. Oltre ad un illimitato numero di casi e di combinazioni di carico, disporrà del tabulato in italiano o in inglese, di molti comandi di meshing come la copia, la rotazione ed il mirroring, un accresciuto archivio di sezioni, la possibilità di generare automaticamente strutture tipiche, diagrammi di sforzo massimo (e non solo diagrammi delle azioni interne), interfacciamento con Autocad, comandi per il cemento armato e così via.

Questo help si riferisce alle prime tre versioni: DEMO, LIGHT e STANDARD. E' previsto il rilascio della versione "PLUS" entro i prossimi tre mesi.

Oltre alla germinazione di nuove configurazioni, la versione 2.0 si differenzia dalla versione 1.0 per il miglioramento della possibilità di schematizzare strutture reali, grazie al miglioramento dei comandi per l'aggiunta di aste, l'aggiunta del comando per cancellare aste, e grazie alla possibilità di aggiungere archi.

Per rendere il programma sempre migliore l'Autore ha anche fatto tesoro delle osservazioni – tutte in verità assai costruttive – giuntegli da chi ha utilizzato il programma. Non tutti gli ampliamenti richiesti si sono già potuti realizzare, ma il lavoro prosegue, nella speranza di creare uno strumento sempre più utile per tutti.

#### NOTE ALLA VERSIONE PROFESSIONALE

Milano, 17-6-2002

Vede finalmente la luce la versione professionale di Cescio. Si tratta di una importante serie di migliorie e di aggiunte che trasformano Cescio ampliandone considerevolmente lo spettro di azione.

Ora Cescio è un programma completo, capace di aiutare il professionista a fare rapidamente modelli di strutture piane avendo in cambio una considerevole messe di risultati utili. Grazie a Cescio

professionale è possibile affrontare rapidamente strutture iso o iperstatiche in cemento armato, acciaio e legno, avendo un ampio tabulato e una considerevole gamma di comandi a disposizione. Si possono avere i valori tensionali in forma di utili mappe che possono costituire la base per il dimensionamento e la verifica. Il potenziamento del predimensionamento consente di ottenere rapidamente le dimensioni delle membrature che interessano. L'ampia gamma di comandi sul cemento armato dà i termini sostanziali del problema evitando di sovrapporsi e di sfrattare il progettista, ma, al contrario, offrendogli facili strumenti atti a inquadrare il problema.

Rispetto alla versione standard (2.0) Cescro Plus presenta le seguenti fondamentali aggiunte e/o migliorie (non in ordine di importanza):

1. Rappresentazione delle numerazioni dei nodi e degli elementi. Rappresentazione grafica dei nodi.
2. **Forte incremento di tutti i comandi di meshing** (copia, specchiatura, suddivisione di aste in parti diseguali, conservazione dei carichi dopo la suddivisione delle aste, traslazione dei nodi selezionati, e quindi possibilità di distorcere mesh esistenti adattandole)
3. **Possibilità di gestire illimitati casi e combinazioni di carico**
4. **Aggiunta di un amplissimo tabulato**, diviso in 22 capitoli che possono essere aggiunti od omessi. Il tabulato può essere creato con le unità di misura preferite.
5. **Fortissimo ampliamento dell'archivio di sezioni disponibili, che sono ora pari a quelle di Sargon e cioè 5600**. Alle sezioni si accede per mezzo di filtri basati sul tipo, il nome, i criteri di progetto, ecc.. Questo componente è ora in comune con Sargon/Polisar
6. **Aumento del numero di tipi sezionali attribuibili: profili composti, UPN, angolari, profili formati a freddo, ecc..**
7. **Aggiunta di tutti i comandi di interrogazione**, sui nodi, le aste, la geometria, i pesi, le snellezze, le azioni applicate, le risultanti delle azioni applicate a gruppi di oggetti selezionati.
8. **Aggiunta dei carichi uniformemente distribuiti linearmente variabili, da un punto interno ad un altro punto interno all'elemento.**
9. **Aggiunta la possibilità di applicare più carichi distribuiti alla stessa asta.**
10. **Aggiunta dei comandi per la selezione di nodi ed aste: tutti, nessuno, click, box.**
11. **Aggiunta dei comandi per la trattazione dei casi di carico** (azzeramento, somma pesata, cambiamento di direzione fattorizzato).
12. **Aggiunta del comando per l'assegnazione dei coefficienti di libera inflessione.**
13. **Aggiunta la possibilità di assegnare uno stesso carico a molte aste o nodi per volta con un solo comando.**
14. **Generalizzazione del predimensionamento automatico al caso di più combinazioni di carico. Possibilità di predimensionare singoli elementi lasciando gli altri invariati.**
15. **Aggiunta dell'involuppo delle azioni interne** (a schermo e nel tabulato) al variare delle



combinazioni di carico.

16. **Aggiunta dei diagrammi degli sforzi N/A, M/W, s, t, sforzi principali massimo e minimo, sforzo di Von Mises, anche come inviluppo. Aggiunta delle mappe a colori con i livelli di sforzo. Possibilità di mostrare i diagrammi solo sulle aste selezionate.**
17. Comandi di interrogazione degli spostamenti nodali.
18. **Calcolo delle armature di travi inflesse in cemento armato con sezioni rettangolari od a T.** Calcolo dei diagrammi dell'area di armatura minima a flessione ed a taglio a schermo e nel tabulato, completi di tutti i dati di calcolo (distanza asse neutro dal lembo compresso, tensione di trazione nell'acciaio e di compressione nel calcestruzzo,  $R_{ck}$ ,  $f_{yk}$ , coefficiente di omogeneizzazione, ecc.). Opzione **traslazione del diagramma dei momenti. Schema automatico tracciamento barre di armatura a ricopertura del diagramma della minima armatura, al variare del diametro delle barre e di tutti i dati di calcolo** come:  $R_{ck}$ , tipo acciaio, copriferro, coefficiente di omogeneizzazione, quantità di cui traslare il diagramma di momento, semplice o doppia armatura, coefficiente di amplificazione delle azioni di calcolo. **Disegno automatico singole barre longitudinali d'armatura estratte dall'elemento, all'intradosso ed all'estradosso, anche esportato in formato .dxf** (alle barre andranno poi aggiunte in Autocad le lunghezze di ancoraggio e/o le pieghe). **Diagramma passo staffe** dato il diametro, il tipo di acciaio ed il numero di bracci delle staffe. Statistiche che paragonano i quantitativi dei minimi teorici con i quantitativi dei layout proposti.
19. **Ampliamento del predimensionamento agli elementi in legno secondo la classificazione dell'EC5. Ampliamento del predimensionamento ai materiali generici di cui si forniscono i valori limite.**
20. Aggiunta di nuove barre di comandi: mesh, casi e combinazioni, interrogazioni, barra per il post-processing. Le barre sono ora additive e non mutuamente esclusive.
21. Migliorato il puntamento ai rami, che usa ora la distanza filtrata dall'asse.

Cesco è ora un vasto programma per telai piani, che spazia dalle strutture in acciaio, a quelle in legno, al cemento armato. Uno strumento agile e potente che consente al Professionista di avere rapidamente tutte le informazioni importanti per progettare e per referenziare all'esterno il lavoro svolto.

Sul cemento armato è stato fatto un lavoro importante ed esteso, che tiene in conto la imprescindibile necessità di essere noi a dominare il programma e non viceversa; che tiene in conto il fatto che le esigenze di semplicità di costruzione sono almeno altrettanto importanti di quelle di minimo peso; che lascia il progettista arbitro e non schiavo del suo software.

L'Autore è a disposizione per discutere coi Colleghi ogni possibile miglioria o aggiunta, allo scopo di rendere CESCO sempre migliore.

## NOTE DI RILASCIO DELLA VERSIONE 2.0 DI CESCO PLUS

Milano 7-3-2003

La versione 2.0 di CESCO PLUS introduce alcune importanti migliorie. Tutti i profili possono ora essere ruotati a scatti di 90 gradi, di modo che si amplia notevolmente lo spettro delle situazioni di progetto possibili. Le sezioni hanno ora oltre ad una certa forma anche una certa orientazione (le orientazioni possibili sono 4, numerate da 0 a 3). Sia il tabulato che i comandi di interrogazione sono stati aggiornati di conseguenza. L'ampliamento consente ora di avere il calcolo su travi a T rovesce in cemento armato.

Per facilitare le operazioni di attribuzione di sezione e materiale è stato inoltre aggiunto il comando Pick BT, che consente di attribuire ad un insieme di membrature selezionate la sezione ed il materiale di un elemento cliccato dall'utente.

Sempre per rendere più snello l'input le sezioni generiche vengono ora ad essere definite mediante i soli dati di area, momento di inerzia e modulo di resistenza relativi all'asse di flessione nel piano.

Le aste selezionate si vedono ora anche nella modalità ingombro, in modo che è possibile lavorare alla attribuzione delle sezioni in quella modalità.

Sono inoltre state migliorate, rendendole più aderenti a quanto fatto nella pratica professionale, le verifiche di resistenza per i punti delle sezioni laminate ad H.

## NOTE DI RILASCIO DELLA VERSIONE 3.0 DI CESCO PLUS

Milano 7-9-2004

La versione 3.0 di CESCO PLUS porta a compimento il progressivo allargamento del programma iniziato circa un anno e mezzo fa. Con la versione 3.0 è possibile fare analisi modali ed a spettro di risposta ed inoltre è possibile eseguire le verifiche automatiche per le strutture in acciaio in accordo a tre diversi verificatori.

Ulteriori aggiunte riguardano l'analisi sismica statica equivalente, un nuovo solutore *sparse matrix* che affianca il precedente, la possibilità di leggere file esterni con le combinazioni di calcolo (tipicamente create con il modulo *Combinazioni*).

Grazie a tutte queste aggiunte CESCO PLUS è diventato un vasto programma di telai piani, che può consentire di affrontare una classe di problemi molto molto vasta.

## NOTE DI RILASCIO DELLA VERSIONE 4.5 DI CESCO PLUS

Milano 17-9-2006

Questa nuova versione di CESCOPLUS accoglie due importanti novità.

E' stato aggiunto CHECKSOLVERS.EXE (già testato e impiegato in Sargon) ed il controllo della bontà della esecuzione indipendente. Ciò consente di sottoporre i risultati ad attenti controlli di qualità, nello spirito della crescente consapevolezza dei rischi connessi ad un uso inappropriato dei programmi.

E' stato aggiunto il verificatore automatico per le strutture in legno, in accordo alle norme EC5, NICOLE, NTC. Questo passo generalizza ulteriormente il possibile uso di CESCOPLUS.

Contestualmente all'uscita di CESCOPLUS 4.5 è in libreria una sua versione ridotta, denominata CESCOWOOD, che è dedicata agli elementi semplici in legno.

#### NOTE DI RILASCIO DELLA VERSIONE 5.0 DI CESCO PLUS

Milano 17-7-2008

Questa nuova versione di CESCOPLUS include un sostanziale aggiornamento del verificatore in accordo alla versione EN dell'Eurocodice 3, e nuovi importanti comandi per il progetto-verifica di elementi in calcestruzzo armato in accordo all'Eurocodice 2. Contestualmente vedono la luce due nuove versioni limitate di CESCO PLUS, denominate CESCO STEEL e CESCO CONCRETE, entrambe disponibili in libreria in volume a parte pubblicato da EPC (*Calcolo di Strutture in Acciaio e Calcolo di Strutture in Calcestruzzo Armato*).

CESCO PLUS è ormai un ampio programma che copre le verifiche secondo tre eurocodici, la analisi modale ed a spettro di risposta: uno strumento molto semplice da usare ma completo.

#### NOTE DI RILASCIO DELLA VERSIONE 5.1 DI CESCO PLUS

Milano 15-9-2011

Questa nuova versione di CESCOPLUS recepisce alcune modifiche e migliorie e riallinea il formato di CESCOPLUS al formato più recente di Sargon. Questa versione corregge alcuni malfunzionamenti (nel modulo modale e spettro) e precisa meglio alcune circostanze nella documentazione. Si tratta di una versione intermedia, preparatoria a futuri sviluppi ulteriori (non lineare, combi-set, ecc).

Da questa versione è possibile eseguire le verifiche con NTC 2008 per il legno e usare il metodo di NTC 2008 (cd. "metodo A") per le verifiche a pressoflessione delle membrature in acciaio.

Da questa versione è molto più agevole visualizzare diagrammi con scritte senza che queste rendano confuso e illeggibile il disegno. In pratica i valori agli estremi di ogni elemento saranno stampati solo se il nodo corrispondente è selezionato (e se si sono richieste le scritte).

## 1.5 Come usare la guida

La guida è divisa nelle seguenti parti, ciascuna delle quali assolve un certo compito:

### **Introduzione**

Vi sono inseriti argomenti di carattere generale e propedeutico all'uso del programma.

### **Come fare a...**

E' la parte che elenca i vari problemi che si possono presentare, spiegando a quali comandi fare riferimento per risolverli.

### **Comandi**

E' la ordinata lista di tutti i comandi del programma con le spiegazioni su come far funzionare il singolo comando nel dettaglio.

### **Glossario**

E' un dizionarietto utile a ricordare il significato dei termini impiegati nel testo dell'help e nel programma stesso, senza alcuna pretesa di esaustività o di ineccepibilità formale.

La guida dispone inoltre di un elenco di parole chiave (keyword) che può utilmente essere usato per trovare quello che interessa.

## 1.6 Riferimenti bibliografici

La letteratura sugli argomenti trattati dal programma è vastissima, ed una bibliografia completa esula dallo scopo attuale. Qui si intende fornire un insieme di testi di approfondimento utili per migliorare le proprie conoscenze.

Per il predimensionamento ed il progetto:

**L'Architettura dell'equilibrio e della deformazione**, Migliacci A., Masson 1997

Per i Corsi di Statica e di Scienza delle Costruzioni:

**Lezioni di Scienza delle Costruzioni**, a cura dell'istituto di Scienza e Tecnica delle Costruzioni del Politecnico di Milano, CLUP, 1977

**Statica**, Guagenti Grandori E., Buccino F., Garavaglia E., Novati, G., Mc Graw Hill, Milano 1995

**Scienza delle Costruzioni**, Beer F. P., Johnston E. R. jr, Mc Graw Hill, Milano 1995

**Meccanica delle Strutture**, L. Corradi Dell'Acqua, Mc Graw Hill, 1992

**Theory of Structures**, S.P. Timoshenko, D.H. Young, McGraw Hill International Editions

**Theory of Elasticity**, S.P. Timoshenko, J.N. Goodier, Mc Graw Hill International Editions

Per le strutture in acciaio:

**Strutture in acciaio**, Ballio G., Mazzolani F.M., ISEDI – Mondadori 1979 ripubblicato in varie edizioni successive

**Proporzionamento di Strutture in Acciaio**, Bernuzzi B., Polipress

**Progettare Costruzioni in Acciaio**, Ballio G., Bernuzzi C., Hoepli

**Calcolo di Strutture in Acciaio**, Rugarli P., EPC LIBRI, 2008

**Strutture in Acciaio – La classificazione delle sezioni Commento all'Eurocodice 3**, Rugarli P., EPC LIBRI, 2007

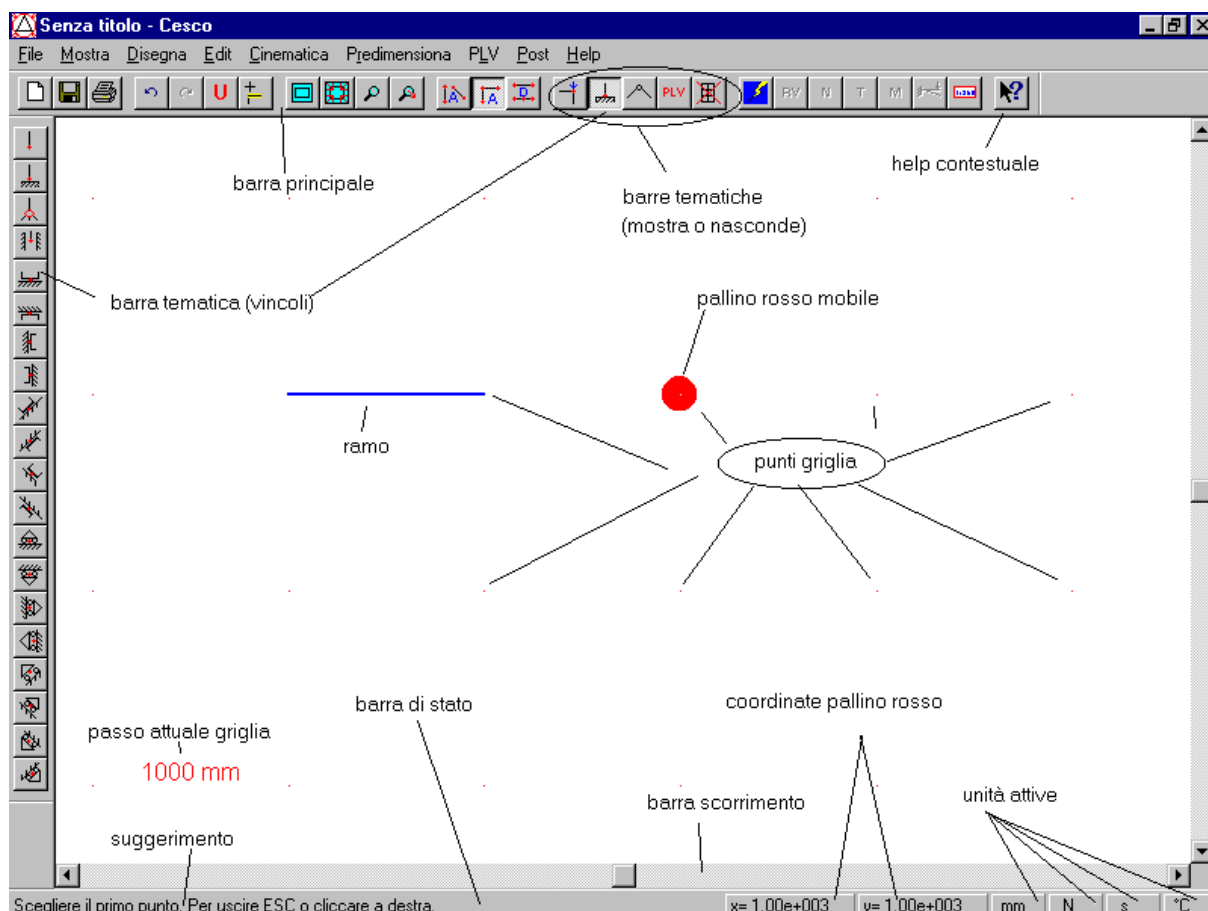
Per le strutture in legno:

**Tecnica delle costruzioni in Legno**, Giordano G., Hoepli

**Strutture in legno**, Piazza M., Tomasi R., Modena R., Hoepli

**Calcolo di strutture in Legno**, Rugarli P., EPC LIBRI, 2008

## 1.7 L'interfaccia di CESCO



L'ambiente di lavoro prevede una cornice principale, un menù di comandi, una barra di stato, varie barre di comandi, due barre di scorrimento.

Moltissime caratteristiche di Cescio 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 Cescio. **In Cescio, per esempio, il tasto destro del mouse ha sempre la funzione di interrompere un comando, ed è pertanto assimilabile al tasto ESC. Il tasto sinistro 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. Inoltre vi sono le coordinate del cursore, continuamente aggiornate, ed espresse nella unità di misura attiva. Vengono altresì riportati suggerimenti sul significato e l'uso dei comandi.

Le [barre](#)<sup>[310]</sup> tematiche possono essere visibili oppure nascoste.

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

Portando il mouse sopra un bottone si ha un suggerimento (tool tip) sul significato di quel bottone. CESCO supporta il context sensitive help.

Diversi 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>[178]</sup>).

## 1.8 Generalità sui comandi

In Cesco 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, 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 (di un nodo, di un ramo, ecc.). Una importante decisione riguarda la fine del comando stesso. Alcuni comandi si aspettano certe informazioni e terminano quando le ricevono, altri terminano solo quando l'utente decide di smettere. Consultare l'help sui singoli comandi per avere dettagliate spiegazioni circa il loro comportamento.

I comandi non modali durano il tempo che l'utente vuole. Se un comando non modale attende di sapere dall'utente quale è la membratura alla quale applicare una sezione finchè non riceve questa informazione o viene interrotto 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.**

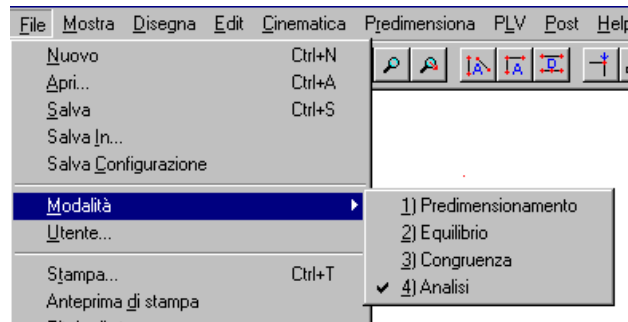
**I comandi non modali possono dunque essere accatastati tra loro e con comandi modali. L'utente deve usare con accortezza questa possibilità, evitando di eseguire comandi contraddittori, e comunque non accatastandone più di due o tre. Al terzo comando accatastato il programma dà un messaggio che fa da promemoria.**

**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.**

**Per chiudere una serie di comandi accatastati basta premere ripetutamente il tasto destro del mouse (o ESC).**

Nel caso di un comando non modale, che richiede il movimento del cursore, è possibile usare sia il mouse che la tastiera. Il movimento del mouse è emulato dalle frecce, il tasto sinistro dal tasto “INVIO”, il tasto destro dal tasto “ESC”. L'uso della tastiera è pensato per chi non ha un mouse, eventualità questa piuttosto remota.

## 1.9 Modalità di funzionamento



Per poter ottimizzare le prestazioni del programma in funzione del tipo di utente, CESCO è stato dotato della capacità di funzionare secondo diverse [modalità](#)<sup>[332]</sup>.

Il funzionamento del programma cambia non solo per quanto attiene i comandi disponibili, ma anche per quanto riguarda la sequenza di comandi che l'utente è obbligato a fare. Ad esempio nelle modalità *Equilibrio* e *Congruenza* non è possibile fare un solving se prima non si è fatta l'[analisi cinematica](#)<sup>[308]</sup>. Nelle modalità *Predimensionamento* e *Analisi* invece, l'utente non è tenuto a fare l'analisi cinematica *prima* del solving, e ciò per motivi opposti: perché si presume molto inesperto nella prima delle due modalità, già sufficientemente esperto nella seconda.

CESCO consente di passare da una modalità ad un'altra nel corso del lavoro, e nel fare ciò vengono salvati tutti i dati del problema compatibili da una modalità ad un'altra. Esistono però alcune differenze nei solutori impiegati, che di fatto non consentono una piena equivalenza.

Nella modalità *Equilibrio* è possibile risolvere solo strutture [isostatiche](#)<sup>[327]</sup>. In questa modalità non è consentito aggiungere cedimenti. La struttura può contenere [vincoli](#)<sup>[348]</sup> e [svincoli](#)<sup>[345]</sup> obliqui. L'[unità di misura](#)<sup>[348]</sup> è fissa e il calcolo è letterale. La deformata non è disponibile. Si è obbligati a fare l'analisi cinematica.

Nella modalità *Congruenza* è possibile risolvere strutture [isostatiche](#)<sup>[327]</sup> o, per mezzo del [plv](#)<sup>[337]</sup> e dei comandi relativi, strutture fino a tre volte [iperstatiche](#)<sup>[326]</sup>. In questa modalità è consentito aggiungere cedimenti. La struttura può contenere [vincoli](#)<sup>[348]</sup> e [svincoli](#)<sup>[345]</sup> obliqui. L'[unità di misura](#)<sup>[348]</sup> è fissa e il calcolo è letterale. La deformata non è disponibile. Si è obbligati a fare l'analisi cinematica.

Nelle modalità *Predimensionamento* o *Analisi* è possibile risolvere strutture [isostatiche](#)<sup>[327]</sup> o [iperstatiche](#)<sup>[326]</sup>, senza limitazioni sul grado di iperstaticità. La soluzione (via elementi finiti) è totalmente automatica e non necessita del [plv](#)<sup>[337]</sup> (che anzi è inaccessibile). Si possono assegnare cedimenti e [vincoli](#)<sup>[348]</sup> obliqui. Non si possono risolvere strutture con [svincoli](#)<sup>[345]</sup> obliqui. L'[unità di misura](#)<sup>[348]</sup> è scelta liberamente ed il calcolo è numerico. La deformata è disponibile. Non si è obbligati a fare l'analisi cinematica.



I comandi relativi al predimensionamento sono accessibili da tutte le modalità, e così quelli relativi allo sforzo.

Il passaggio da una modalità ad un'altra può comportare una perdita di dati, se questi non sono compatibili con la nuova modalità. Il programma può memorizzare la modalità preferita ed inizializzare i nuovi modelli in tale modalità (il comando [Salva Configurazione](#)<sup>[161]</sup> salva anche la modalità attiva).

Per cambiare modalità si usano i comandi nel menu File-Modalità.

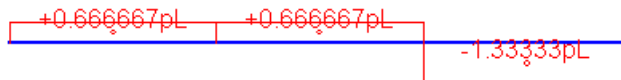
[CESCO PLUS]

In Cesco PLUS non è possibile cambiare modalità. Esiste solo la modalità Analisi che consente di studiare strutture nel modo più generale possibile.

## 1.10 Unità di misura

In CESCO le unità di misura vengono gestite in modo nettamente diverso a seconda delle [modalità](#)

<sup>[332]</sup>



T

### Calcolo letterale in azione

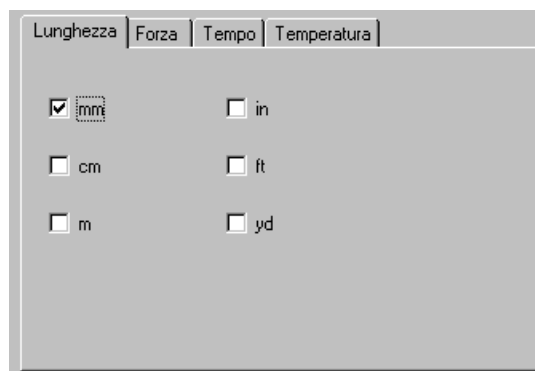
Nelle modalità *Equilibrio* e *Congruenza* si presume che chi usa il programma stia imparando a fare i calcoli impiegando il calcolo letterale (come avviene nei Corsi di Statica e di Scienza delle Costruzioni). Una unità di misura propriamente detta non è dunque necessaria, ed il programma non consente dunque, di accedere al comando usato per cambiarla. Per il calcolo letterale si usa il simbolo “L” ad indicare lunghezze, “p” ad indicare carichi distribuiti, “pL” ad indicare forze, “pL^2” ad indicare coppie. Tali simboli corrispondono, nella base dati, a metri, tonnellate per metro, tonnellate, tonnellate metro. Pertanto se usando il calcolo letterale si vuole comunque avere un’idea delle quantità fisiche basta sostituire conseguentemente. Un discorso a parte, sempre in queste modalità, meritano i cedimenti vincolari. Per essi (per ragioni di realismo), la quantità “u” e la quantità “v” corrispondono in realtà a L/1000, vale a dire millimetri. La quantità b corrisponde a rad/1000 (millesimi di radianti). Per quanto riguarda i carichi termici, il simbolo DT corrisponde a 1°C. Se si descrive la struttura senza variare il materiale, si tenga presente che il programma usa come default l'acciaio (E=206.000N/mmq=

20.998.981p/L,  $G=8.076.531p/L$ ). Se si descrive la struttura senza variare la sezione il programma usa IPE 200 per default, e pertanto  $A=0.0029805L^2$ ,  $J=J2=2.05144e-5L^4$ . Ne consegue che in queste modalità, usando i default, risulta:

$$EA = 62.587pL$$

$$EJ = 430,78pL^3$$

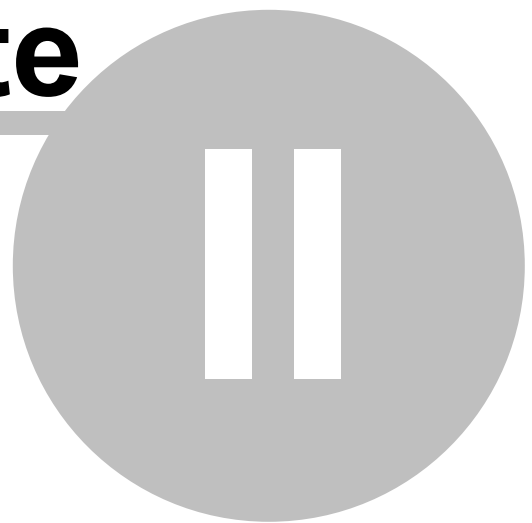
$$GA = 24.072pL$$



Se invece si usano le modalità *Predimensionamento* o *Analisi*, allora il calcolo è numerico e non letterale, e le unità di misura sono quelle riportate nella barra di stato della finestra principale. **Le unità possono essere cambiate, in queste modalità, quando si vuole: da quel momento in poi il programma le userà sia in input che in output, e si dovrà essere coerenti con la propria scelta.**

# Parte

---



## 2 Come fare a ...

### 2.1 Applicare il Principio dei Lavori Virtuali

L'applicazione del [plv](#)<sup>[337]</sup> usando CESCO segue le stesse regole e gli stessi passi che si compirebbero usando carta e penna.

In primo luogo va detto che i comandi che si riferiscono al plv si trovano tutti nel menu omonimo. Questi comandi sono accessibili solo in [modalità](#)<sup>[332]</sup> *Congruenza*.

Si possono dare tre casi: struttura isostatica della quale si vogliono calcolare spostamenti; struttura iperstatica della quale si vogliono calcolare iperstatiche; struttura iperstatica della quale si vogliono calcolare spostamenti e iperstatiche. Indipendentemente dal tipo non si possono avere più di tre incognite, per cui vale la seguente tabella:

#### Problema di calcolo

Spostamenti su isostatica

Iperstatiche

Spostamenti su iperstatica

#### Incognite possibili

Massimo tre spostamenti incogniti

Massimo tre incognite iperstatiche

Con una iperstatica max 2 spostamenti, con due iperstatiche max 1 spostamento, con tre iperstatiche nessun spostamento

#### Strutture isostatiche: calcolo di spostamenti

Per fissare le idee cominciamo dapprima a descrivere ciò che si deve fare se si ha una struttura [isostatica](#)<sup>[327]</sup> della quale si voglia calcolare uno o più spostamenti. Sulla struttura possono esserci azioni di qualsiasi tipo, ivi inclusi cedimenti vincolari.

Per prima cosa ([Esegui](#)<sup>[237]</sup>) occorre eseguire la analisi cinematica sulla struttura [reale](#)<sup>[339]</sup> (il testo dell'esercizio). A questo punto si aggiunge la incognita cinematica desiderata, o, se sono più di una, le incognite desiderate, usando una o più volte il comando [Aggiungi Spostamento](#)<sup>[246]</sup>. Fatto questo a schermo si vedranno apparire i simboli delle incognite posizionati là dove richiesto.

Se in questa fase si cambia idea, basta eseguire il comando [Rimuovi Spostamenti](#)<sup>[247]</sup>, per poter ricominciare daccapo. Questo comando si può usare anche dopo aver fatto un calcolo se se ne vuole fare un altro chiedendo altri spostamenti.

Definiti gli spostamenti incogniti ci si posiziona sulla struttura [Resa Isostatica](#)<sup>[340]</sup> (comando [Resa Isostatica](#)<sup>[248]</sup>) e si esegue la analisi cinematica anche sulla struttura resa isostatica. Questo passaggio è necessario, anche se, in questo caso, ridondante. Fatto questo, e dopo aver aggiunto le incognite cinematiche desiderate, è disponibile la struttura [Fittizia1](#)<sup>[321]</sup> (comando [Fittizia1](#)<sup>[248]</sup>) e, se le incognite

sono due la Fittizia2 (comando [Fittizia2](#)<sup>[248]</sup>) e, se le incognite sono tre, anche la Fittizia3 (comando [Fittizia3](#)<sup>[248]</sup>).

A questo punto si può vedere come sono diverse tra loro la struttura reale, [principale](#)<sup>[338]</sup>, fittizia (1, 2 o 3), semplicemente passando da una all'altra con i comandi [Reale](#)<sup>[247]</sup>, [Principale](#)<sup>[248]</sup>, [Fittizia1](#)<sup>[248]</sup>, [Fittizia2](#)<sup>[248]</sup>, [Fittizia3](#)<sup>[248]</sup>. La struttura resa isostatica coincide con la reale, in questo caso.

Se a questo punto si vuole risolvere il problema e vedere i risultati, ci si sposta nel menu **Post**, e si esegue il comando [Risolvi!](#)<sup>[251]</sup>.

A questo punto si vedrà che le incognite sono state calcolate, basterà mettersi a vedere la struttura reale (comando [Reale](#)<sup>[247]</sup>). Passando dalla reale, alla resa isostatica (in questo caso coincidente con la reale), alla principale, alle fittizie, si potranno avere le reazioni vincolari ed i diagrammi di ciascuna di queste differenti strutture. Per ciascuna di queste strutture si potranno fare delle stampe, e ciascuna di esse verrà trattata come una struttura a sé stante.

Inoltre, il comando [Sistema Risolvente](#)<sup>[250]</sup>, farà vedere in forma simbolica il sistema di equazioni risolvente, usando i simboli delle azioni interne N, T, M, riferiti alla principale (°) ed alle fittizie (' , " , "" ), nonché i simboli assegnati a ciascun incognita (s, t, ecc.), i simboli che identificano i cedimenti vincolari (u, v, b), i simboli delle caratteristiche del materiale E, G, quelli della sezione A, J, c. Gli integrali vengono estesi a tutta la struttura. Se non si è cambiato il valore di default per la sezione ed il materiale delle membrature, cosicché tutte abbiano lo stesso materiale e la stessa sezione, allora le quantità suddette, E, G, A, J, c, sono eguali per tutte le aste (per vedere la loro equivalenza in termini letterali si vada ad [unità](#)<sup>[331]</sup>). In caso contrario bisognerà assegnare a ciascuna asta il suo valore. Il programma tiene conto delle sezioni e dei materiali effettivamente assegnati, asta per asta.

Se si è interessati al valore del lavoro interno dovuto ad un singolo ramo, cioè ai singoli contributi, è possibile usare il comando [Lavoro Interno Ramo](#)<sup>[250]</sup>, che dà tale contributo in formato letterale per ogni ramo indicato. Il comando è attivo solo se è attiva una struttura fittizia, e dà il contributo di lavoro interno ottenuto associando gli sforzi di quella fittizia per le deformazioni della reale.

### Strutture iperstatiche: calcolo delle incognite iperstatiche

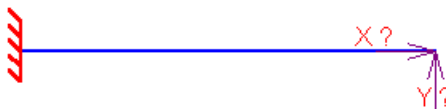
Proseguiamo ad esaminare le varie situazioni, ed occupiamoci ora di descrivere ciò che si deve fare se si ha una struttura [iperstatica](#)<sup>[326]</sup> della quale si voglia calcolare lo stato di sforzo calcolando anche le incognite iperstatiche. Sulla struttura possono esserci azioni di qualsiasi tipo, ivi inclusi cedimenti vincolari.

Per prima cosa ([Esegui](#)<sup>[237]</sup>) occorre eseguire la analisi cinematica sulla struttura [reale](#)<sup>[339]</sup>. (il testo dell'esercizio).



Prima della isostaticizzazione

A questo punto occorre [isostaticizzare](#)<sup>[327]</sup> la struttura facendo la scelta delle incognite iperstatiche. Per scegliere le incognite iperstatiche bisogna degradare i vincoli esterni o interni esistenti, in modo da rendere la struttura [isostatica](#)<sup>[327]</sup> e non [labile](#)<sup>[328]</sup>. Per fare questo ci si posiziona in primo luogo sulla struttura [resa isostatica](#)<sup>[340]</sup>, mediante il comando [Resa Isostatica](#)<sup>[248]</sup>. Fatto questo si usano i normali comandi impiegati per assegnare i vincoli e gli svincoli, cambiando quelli esistenti in modo da degradare la struttura a isostatica.



Dopo la isostaticizzazione

Si osservi che così facendo non si perdono i vincoli originari, che si ritrovano semplicemente chiedendo di riposizionarsi sulla struttura [Reale](#)<sup>[339]</sup> (comando [Reale](#)<sup>[247]</sup>). Mentre si degradano i vincoli, si vedranno comparire le incognite iperstatiche, introdotte a ripristinare la congruenza violata con la perturbazione del vincolo. Ogni incognita iperstatica riceve un simbolo che dipende dalla natura traslazionale o rotazionale della incognita e dalla posizione (1, 2 o 3) assunta nel vettore delle incognite. Se si cambia idea strada facendo è possibile ripristinare la situazione originaria eliminando le incognite iperstatiche sino ad allora introdotte, ciò si fa con il comando [Rimuovi Scelta Iperstatiche](#)<sup>[247]</sup>. Questo comando è utile anche se, dopo aver fatto un solving, se ne vuole fare un altro con altre incognite iperstatiche (tanto per constatare, ad esempio, che lo stato di sforzo nella reale non dipende dalla scelta fatta).

Definite le incognite iperstatiche si esegue la analisi cinematica anche sulla struttura resa isostatica. Ciò si fa con il comando EseguiHID\_KAN\_EXE del menu **Cinematica**, **essendo però con la struttura Resa Isostatica come struttura attiva**. Questo passaggio è indispensabile per controllare che la struttura sia stata effettivamente resa isostatica ed in modo da escludere labilità.

Fatto questo sono disponibili la struttura [Principale](#)<sup>[338]</sup> (comando [Principale](#)<sup>[248]</sup>), [Fittizia1](#)<sup>[321]</sup> (comando [Fittizia1](#)<sup>[248]</sup>) e, se le incognite sono due la Fittizia2 (comando [Fittizia2](#)<sup>[248]</sup>) e, se le incognite sono tre, anche la Fittizia3 (comando [Fittizia3](#)<sup>[248]</sup>).

A questo punto si può vedere come sono diverse tra loro la struttura [reale](#)<sup>[339]</sup>, [resa isostatica](#)<sup>[340]</sup>, [principale](#)<sup>[338]</sup>, [fittizia](#)<sup>[321]</sup> (1, 2 o 3), semplicemente passando da una all'altra con i comandi [Reale](#)<sup>[247]</sup>, [Resa Isostatica](#)<sup>[248]</sup>, [Principale](#)<sup>[248]</sup>, [Fittizia1](#)<sup>[248]</sup>, [Fittizia2](#)<sup>[248]</sup>, [Fittizia3](#)<sup>[248]</sup>.

Se a questo punto si vuole risolvere il problema e vedere i risultati, ci si sposta nel menu **Post**, e si esegue il comando [Risolvi!](#)<sup>[251]</sup>.

A questo punto si vedrà che le incognite sono state calcolate, basterà mettersi a vedere la struttura resa isostatica (comando [Resa Isostatica](#)<sup>[248]</sup>). Passando dalla reale, alla resa isostatica, alla principale, alle fittizie, si potranno avere le reazioni vincolari ed i diagrammi di ciascuna di queste differenti strutture. Per ciascuna di queste strutture si potranno fare delle stampe, e ciascuna di esse verrà trattata come una struttura a sé stante.

Inoltre, il comando [Sistema Risolvente](#)<sup>[250]</sup>, farà vedere in forma simbolica il sistema di equazioni risolvente, usando i simboli delle azioni interne N, T, M, riferiti alla principale (°) ed alle fittizie (' , " , "" ), nonché i simboli assegnati a ciascun incognita (X, W, ecc.), i simboli che identificano i cedimenti vincolari (u, v, b), i simboli delle caratteristiche del materiale E, G, quelli della sezione A, J, c. Gli integrali vengono estesi a tutta la struttura. Se non si è cambiato il valore di default per la sezione ed il materiale delle membrature, cosicché tutte abbiano lo stesso materiale e la stessa sezione, allora le quantità suddette, E, G, A, J, c, sono eguali per tutte le aste (per vedere la loro equivalenza in termini letterali si vada ad [unità](#)<sup>[33]</sup>). In caso contrario bisognerà assegnare a ciascuna asta il suo valore. Il programma tiene conto delle sezioni e dei materiali effettivamente assegnati, asta per asta.

### Strutture iperstatiche: calcolo delle incognite iperstatiche e di spostamenti

Questo è il caso più generale, ma si tratta semplicemente di adoperare i comandi già introdotti. Le incognite cinematiche si sommano a quelle statiche ed è indifferente se vengono definite prima le une o le altre. L'unica cosa necessaria è fare l'analisi cinematica sulla struttura resa isostatica e fare in modo che le incognite (cinematiche o statiche) non siano più di tre. Il solving si fa allo stesso modo, ed allo stesso modo si ottiene il sistema risolvente. Le fittizie si riferiranno a incognite indifferentemente statiche o cinematiche, nell'ordine in cui sono state richieste.

CESCO consente di studiare il [ply](#)<sup>[337]</sup> anche impostando in diverso modo il calcolo del lavoro interno (comando [Imposta](#)<sup>[249]</sup>) e cioè scegliendo quali contributi mettere e quali trascurare nel calcolo. Variando le impostazioni si può vedere come variano i risultati e farsi un'idea delle approssimazioni introdotte.

## 2.2 Applicare le azioni e le coazioni

Se nel modello esiste almeno un ramo, è possibile applicare delle azioni. Queste possono essere di vari tipi: forze, coppie, carichi distribuiti, gravità, cedimenti vincolari, salti di temperatura. Per l'applicazione di ciascuna azione esistono comandi differenti, secondo la seguente tabella:

**AZIONE O COAZIONE**

FORZA

COPPIA

CARICO DISTRIBUITO

GRAVITA'

CEDIMENTO VINCOLARE

SALTO DI TEMPERATURA

**COMANDO/COMANDI**[+X](#)<sup>[207]</sup> e similari, menu **Edit-Azioni-Forza**[Antioraria](#)<sup>[216]</sup>, [Oraria](#)<sup>[216]</sup>[Px](#)<sup>[200]</sup>, [Py](#)<sup>[201]</sup>[Applica gravità](#)<sup>[190]</sup>[Cedimento](#)<sup>[205]</sup>[Termico](#)<sup>[203]</sup>

Tutti i comandi della precedente tabella, ad eccezione di [Applica gravità](#)<sup>[190]</sup> sono facilmente accessibili per mezzo della barra delle forze, che si può far comparire con il comando [Barra delle Forze](#)<sup>[167]</sup>.

Per cancellare una azione precedentemente applicata basta riassegnarla ponendola eguale a zero.

[CESCO PLUS]

Nella versione professionale di Cescro le azioni vengono assegnate al caso di carico attivo. Se si devono assegnare molte azioni eguali è conveniente selezionare gli oggetti prima del comando. Il programma si accorge che ci sono oggetti selezionati e chiede se si vogliono applicare le azioni scelte a tutti gli oggetti selezionati.

## 2.3 Assegnare i materiali

The image shows a dialog box titled "Materiale". It contains five input fields, each with a label to its right: "Nome", "Peso per unità di volume", "Modulo di Young", "Coefficiente di Poisson", and "Coefficiente di dilatazione termica". Each input field currently contains the value "0". To the right of the input fields are two buttons: "OK" and "Cancel".

Quando vengono aggiunti gli elementi essi, per default, ricevono un materiale predefinito che è l'acciaio Fe360 delle nostre normative.

Se si lavora nelle [modalità](#)<sup>[332]</sup> *Equilibrio* e *Congruenza* è probabile che si avrà raramente bisogno di modificare il materiale, giacchè si è interessati più al calcolo letterale che al calcolo numerico. Servono quindi strutture ipotetiche più che strutture reali, e l'avere ad esempio nel [plv](#)<sup>[337]</sup> materiali diversi può



semmai complicare le cose, ma non renderle più chiare.

Se invece si lavora nelle altre modalità si è probabilmente interessati a fare lo schema di una struttura reale o realistica, per la quale la scelta del materiale deve essere del tutto libera.

Indipendentemente dalla modalità che si sta usando, CESCO consente di attribuire alle [membrature](#)<sup>[331]</sup> qualsiasi materiale elastico lineare, omogeneo ed isotropo si voglia. Per fare questo è disponibile il comando [Applica Materiale](#)<sup>[180]</sup>. Se si vuole modificare il materiale già in precedenza assegnato si usa il comando [Materiale](#)<sup>[188]</sup>. Entrambi i comandi si trovano nel menu **Edit**.

Se si vuole assegnare ad un gruppo di membrature la sezione o il materiale di un particolare elemento, è disponibile il comando [Pick BT](#)<sup>[189]</sup>.

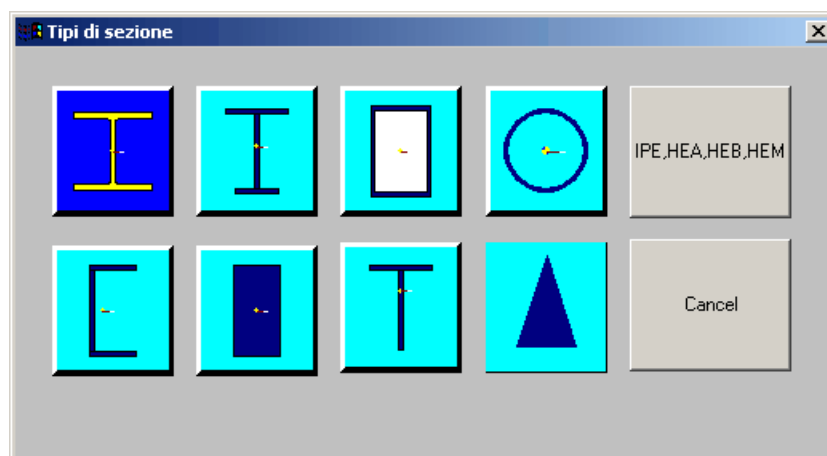
L'assegnazione di un materiale può essere fatta in qualsiasi momento, ma se viene fatta dopo aver eseguito il solving, questo deve essere, per ovvie ragioni, rieseguito.

## 2.4 Assegnare le sezioni

Quando vengono aggiunti gli elementi essi, per default, ricevono una [sezione](#)<sup>[342]</sup> predefinita che è la IPE200.

Se si lavora nelle [modalità](#)<sup>[332]</sup> *Equilibrio* e *Congruenza* è probabile che si avrà raramente bisogno di modificare la sezione (a meno che non si voglia studiare il calcolo degli sforzi), giacchè si è interessati più al calcolo letterale che al calcolo numerico. Servono quindi strutture ipotetiche più che strutture reali, e l'aver ad esempio nel [plv](#)<sup>[337]</sup> sezioni diverse, con diversi A e J da ramo a ramo, può semmai complicare le cose, ma non renderle più chiare.

Se invece si lavora nelle altre modalità si è probabilmente interessati a fare lo schema di una struttura reale o realistica, per la quale la scelta della sezione deve essere del tutto libera, nell'ambito dei tipi di sezione disponibili.

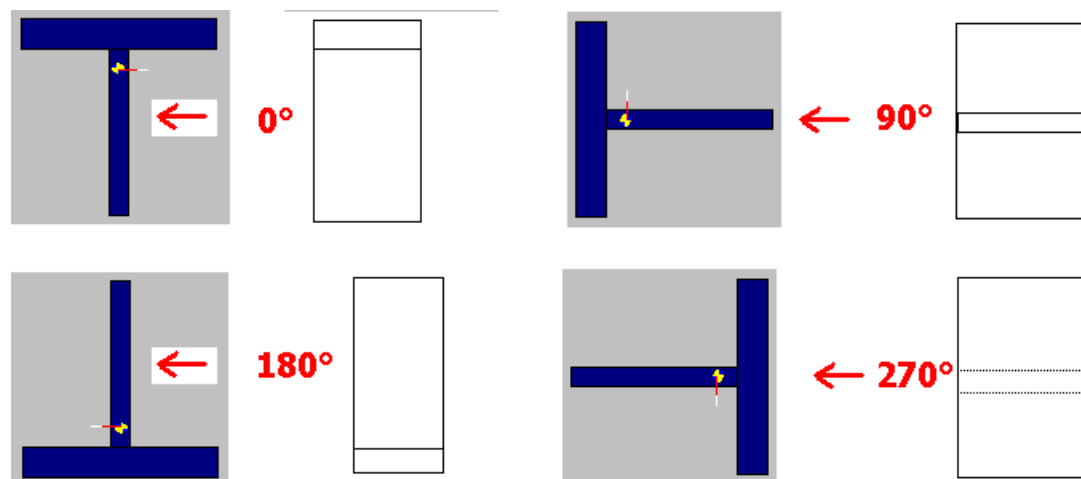


Indipendentemente dalla modalità che si sta usando, CESCO consente di attribuire alle [membrature](#)

[331] qualsiasi sezione appartenente ai tipi disponibili si voglia. Per fare questo è disponibile il comando [Applica Sezione](#)[181]. Se si vuole modificare la sezione già in precedenza assegnata senza cambiarne il tipo, si usa il comando [Sezione](#)[189]. Entrambi i comandi si trovano nel menu **Edit**.

Se si vuole assegnare ad un gruppo di membrature la sezione o il materiale di un particolare elemento, è disponibile il comando [Pick BT](#)[189].

[CESCO PLUS]



Quando si assegna la sezione occorre poi anche decidere l'orientazione della sezione stessa. L'orientazione è definita come l'angolo antiorario del quale ruotare il disegno schematico della sezione, in modo che guardando da destra verso sinistra si veda la sezione come la si vedrà nel piano della struttura. Ad esempio una sezione rettangolare che compare nel disegno con una base di 20 ed un'altezza di 80 cm, potrà avere le seguenti quattro orientazioni: 0, 90, 180, 270. Se l'orientazione è pari a 0 o 180 l'altezza dell'elemento nel piano sarà 80 cm. Se l'orientazione è pari a 90 o 270 l'altezza sarà pari a 20 cm. Nella modalità "ingombro elementi strutturali" il programma fa vedere il disegno della sezione in modo coerente con le scelte fatte in termini di orientazione. Anche il calcolo degli sforzi è fatto in modo conseguente.

Se si vuole modificare l'orientazione di un profilo già assegnato senza modificarne la forma, basterà eseguire il comando [Edit-Modifica orientazione](#)[190].

L'assegnazione di una [sezione](#)[342] può essere fatta in qualsiasi momento, ma se viene fatta dopo aver eseguito il solving, questo deve essere, per ovvie ragioni, rieseguito (anche se la struttura è [isostatica](#)[327]).

## 2.5 Assegnare vincoli



In qualsiasi momento si possono modificare i [vincoli](#)<sup>[348]</sup> della struttura impiegando l'insieme di comandi appositamente pensato per questo scopo. I comandi si trovano tutti sotto il menu **Edit-Vincolo**, e sono tanti quanti i possibili tipi di vincolo applicabili. Per applicare i vincoli si consiglia di far apparire la [barra](#)<sup>[310]</sup> dei vincoli, mediante il comando [Barra dei Vincoli](#)<sup>[167]</sup> del menu **Mostra**. Con la barra disponibile basterà scegliere il vincolo che interessa e cliccare sul [nodo](#)<sup>[336]</sup> al quale applicarlo. L'applicazione di un vincolo sovrascrive il vincolo precedente, per cui se si vuole eliminare un vincolo basta applicare il vincolo nullo. Per le modalità operative si veda uno qualsiasi dei comandi disponibili ([modalità operative](#)<sup>[217]</sup>).

[CESCO PLUS]

Se si selezionano dei nodi prima di eseguire il comando sarà possibile assegnare un certo vincolo a molti nodi per volta, con un'unica operazione.

## 2.6 Cominciare da zero

Si supponga di avviare CESCO partendo da zero e di voler fare un esercizio.

Se si avvia il programma per la prima volta la prima cosa da fare è scegliere la propria [modalità](#)<sup>[332]</sup> di funzionamento ed impostarla. Poi si eseguirà il comando [Salva Configurazione](#)<sup>[161]</sup> per fare in modo che i prossimi file siano creati usando la modalità desiderata.

Ciò fatto si aprirà un file qualsiasi (estensione .sdc) e si sceglieranno le impostazioni di schermo migliori ([Come personalizzare l'interfaccia](#)<sup>[46]</sup>) per il proprio hardware ed i propri gusti.

Supponiamo ora che tutto questo sia stato fatto e che si voglia cominciare un nuovo modello partendo da zero. Cosa bisognerà fare?

Per prima cosa si comincia un nuovo modello con il comando [Nuovo](#)<sup>[161]</sup> del menu **File**.

A questo punto si ha davanti a sé lo schermo bianco con una serie di punti che sono i punti della griglia.

Per prima cosa si comincerà ad aggiungere alcuni elementi utilizzando, probabilmente i punti della griglia come punti ai quali attaccarsi ([Come descrivere la struttura](#)<sup>[44]</sup>).

Fatto questo si introdurranno gli [svincoli](#)<sup>[345]</sup> tra le aste in modo da modellare l'effettivo tipo di collegamento tra queste ([Come introdurre svincoli](#)<sup>[45]</sup>). Ciò è necessario perché inizialmente le aste sono rigidamente incastrate tra loro.

A questo punto si devono aggiungere dei [vincoli](#)<sup>[348]</sup> ([Come assegnare i vincoli](#)<sup>[43]</sup>), almeno in modo

ed in numero tale da rendere la struttura [isostatica](#)<sup>[327]</sup>.

Ciò fatto si vorranno applicare azioni o coazioni sulla struttura ([Come applicare le azioni e le coazioni](#)<sup>[39]</sup>).

Se si vuole si potranno assegnare sezioni e materiali diversi alle varie aste ([Come assegnare le sezioni](#)<sup>[41]</sup>, [Come assegnare i materiali](#)<sup>[40]</sup>). Se si vuole si potranno invece assegnare delle tipologie per eseguire un predimensionamento automatico ([Come predimensionare](#)<sup>[47]</sup>).

Si potrà (o dovrà, in funzione della modalità) fare l'[analisi cinematica](#)<sup>[308]</sup> per stabilire se la struttura così tracciata è [isostatica](#)<sup>[327]</sup>, [iperstatica](#)<sup>[326]</sup>, [ipostatica](#)<sup>[326]</sup> e se è [labile](#)<sup>[328]</sup>.

A questo punto si potrà risolvere la struttura o predimensionarla, o applicare il plv, eccetera.

Il tracciato qui delineato è solo uno dei possibili. **In ogni momento è possibile, se è sensato farlo, assegnare carichi, vincoli, svincoli, aggiungere aste o fare l'analisi cinematica. Se qualcosa non si può ancora fare o non ha senso farlo, in genere il comando corrispondente è ingrigito (grayed) ed inaccessibile.**

## 2.7 Descrivere la struttura

Per tracciare lo schema strutturale CESCO dispone di alcuni comandi, i quali consentono di aggiungere [rami](#)<sup>[339]</sup> alla struttura. Il primo comando [Congiunti](#)<sup>[192]</sup> fa aggiungere rami congiunti, vale a dire fa aggiungere rami in modo da formare una ininterrotta catena di elementi. Il secondo comando [Disgiunti](#)<sup>[191]</sup> fa aggiungere rami disgiunti, vale a dire in modo totalmente libero.

Il comando [Arco](#)<sup>[195]</sup> fa aggiungere archi che vengono automaticamente suddivisi in una serie di rami rettilinei.

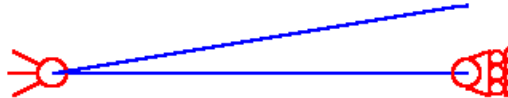
Quando viene aggiunto un ramo questo è sempre rigidamente incastrato, non presenta alcuno svincolo. Per introdurre gli svincoli occorre servirsi degli appositi comandi ([Come Introdurre Svincoli](#)<sup>[45]</sup>).

Quando si disegna lo schema si tenga presente che ad ogni ramo o arco corrisponde una [membratura](#)<sup>[331]</sup>, pertanto se un lungo tratto rettilineo deve essere diviso in varie [membrature](#)<sup>[331]</sup>, esso dovrà essere descritto anziché con un lungo tratto unico, con tanti tratti quante sono le membrature stesse.

Per esempio, se nel fare una travatura reticolare si vorrà avere un'unica sezione per tutta la briglia, allora questa dovrà essere descritta con un unico tratto. Se invece ogni campo di briglia potrà ricevere sezioni diverse, allora ogni campo dovrà essere descritto con una membratura, e quindi nel tracciare la briglia si dovranno fare tanti tratti quanti sono i campi.

## 2.8 Fare l'analisi cinematica

CESCO dispone di una serie di comandi espressamente progettati per consentire di fare l'[analisi cinematica](#)<sup>[308]</sup>. Per eseguire la analisi cinematica e sapere se la struttura è [isostatica](#)<sup>[327]</sup>, [ipostatica](#)<sup>[326]</sup> o [iperstatica](#)<sup>[326]</sup>, e se contiene [labilità](#)<sup>[328]</sup>, è sufficiente eseguire (ciò si può fare in ogni momento ed impiegando qualsiasi [modalità](#)<sup>[332]</sup>), il comando [Esegui](#)<sup>[237]</sup>.



### Visualizzazione di moto rigido

Se nella struttura sono presenti [moti rigidi](#)<sup>[335]</sup>, come dichiarato dal comando [Esegui](#)<sup>[237]</sup>, è possibile chiedere al programma di fare vedere la spostata rigida, mediante il comando [Moto Rigido](#)<sup>[237]</sup>. Se si moti rigidi ve n'è più d'uno si può passare da uno all'altro con i comandi [Successivo](#)<sup>[238]</sup>, e [Precedente](#)<sup>[238]</sup>. Se la scala di rappresentazione non è adatta la si può variare con il comando [Scala](#)<sup>[238]</sup>.

Il comando [Numerazione "aste"](#)<sup>[238]</sup> serve a vedere la numerazione delle [aste](#)<sup>[309]</sup> come fatta dal programma, e può aiutare ad avere una traccia per procedere da soli.

Il comando [Interroga](#)<sup>[238]</sup> può essere usato, dopo aver eseguito l'analisi cinematica con [Esegui](#)<sup>[237]</sup>, al fine di conoscere esattamente il numero di vincoli interni ed esterni, la presenza di cicli chiusi, ecc..

Un ultimo comando, [Suggerimenti](#)<sup>[239]</sup>, tenta di dare dei suggerimenti su come ricondurre la struttura a schemi elementari, in modo da facilitarne il comportamento cinematico.

In tutte le [modalità](#)<sup>[332]</sup>, l'analisi cinematica viene eseguita sulla struttura [reale](#)<sup>[339]</sup>. Nella modalità *Congruenza* essa può dover essere eseguita anche sulla struttura [resa isostatica](#)<sup>[340]</sup>.

## 2.9 Introdurre svincoli



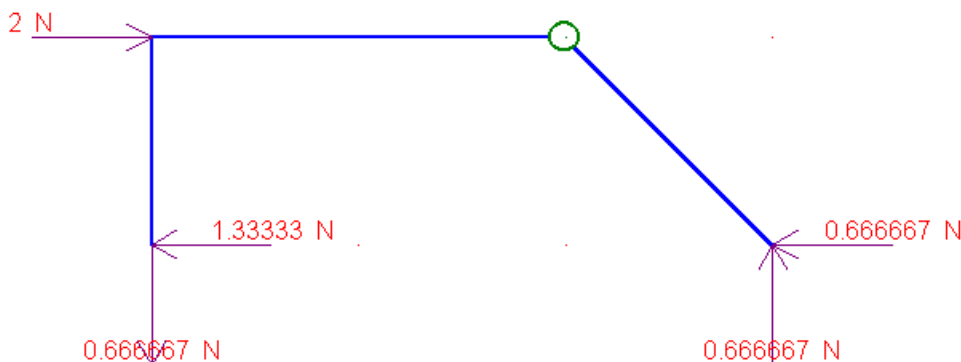
In qualsiasi momento si possono modificare gli [svincoli](#)<sup>[345]</sup> della struttura impiegando l'insieme di comandi appositamente pensato per questo scopo. I comandi si trovano tutti sotto il menu **Edit-Svincolo**, e sono tanti quanti i possibili tipi di svincolo applicabili. Per applicare i vincoli si consiglia di far apparire la [barra](#)<sup>[310]</sup> degli svincoli, mediante il comando [Barra degli Svincoli](#)<sup>[168]</sup> del menu **Mostra**. Con la barra disponibile basterà scegliere il vincolo che interessa e cliccare sull'estremo di [ramo](#)<sup>[339]</sup> al quale applicarlo. L'applicazione di uno svincolo sovrascrive lo svincolo precedente, per cui se si vuole eliminare uno svincolo basta applicare lo svincolo nullo. Per le modalità operative si veda uno qualsiasi

dei comandi disponibili ([modalità operative](#)<sup>[224]</sup>).

[CESCO PLUS]

Se si devono assegnare molti svincoli eguali a tante aste, basta selezionare preventivamente gli estremi: il programma si accorge che gli estremi sono selezionati e chiede se deve applicare lo svincolo a tutti gli estremi selezionati. Per selezionare un estremo basta selezionare l'asta ed il nodo corrispondente.

## 2.10 Ottenere le reazioni vincolari



Ottenere le reazioni vincolari è molto semplice. Basta attivare il comando [Reazioni Vincolari](#)<sup>[261]</sup> dopo aver eseguito il solving ([Risolvi](#)<sup>[251]</sup>). Questo comando corrisponde ad un flag che può essere attivato o meno. Per disattivarlo basta rieseguire il comando (on/off, off/on).

Le reazioni vincolari vengono mostrate a schermo con il loro verso giusto e con il loro valore, letterale o meno a seconda della [modalità](#)<sup>[332]</sup>.

Le reazioni vincolari si possono avere oltre che sulla reale anche sulle strutture principale e fittizie

## 2.11 Personalizzare l'interfaccia

La scelta della combinazione ottimale di colori, dimensioni dei simboli, scelta del font, preferenze sulla griglia, eccetera, dipende dai gusti personali e dall'hardware disponibile. Per variare le impostazioni grafiche del programma, esistono alcuni comandi, tutti reperibili nel menu Mostra.

Il comando [Dimensioni](#)<sup>[171]</sup>, serve a variare la dimensione dei simboli (vincoli, svincoli, forze, ecc.), così da farli apparire più grandi o più piccoli. Esso serve anche a variare la dimensione dello zoom iniziale, in modo da personalizzare l'ampiezza di griglia mostrata appena viene iniziato un nuovo lavoro.

Il comando [Colori](#)<sup>[170]</sup>, serve a variare il colore dei simboli.

Il comando [Font](#)<sup>[171]</sup> serve a scegliere il font (tipo, colore e corpo) per le scritte. Si consiglia di usare un font True Type, altrimenti certe scritte inclinate potrebbero apparire dritte. Per le stampe si usi Small Fonts se si hanno problemi di risoluzione.

Il comando [Griglia](#)<sup>[169]</sup> serve a variare il passo della griglia o le sue proprietà.

Tutte queste impostazioni vengono salvate permanentemente con il comando [Salva Configurazione](#)<sup>[161]</sup>.

## 2.12 Predimensionare

CESCO dispone della possibilità di eseguire un [predimensionamento](#)<sup>[338]</sup> automatico.

Per prima cosa si dovrà attribuire ad ogni [membratura](#)<sup>[331]</sup> una [tipologia](#)<sup>[346]</sup>, e ciò si fa usando il comando [Tipologia](#)<sup>[239]</sup>. Questa fase è necessaria, in quanto il predimensionamento usa necessariamente le tipologie, e non le sezioni. Ad una membratura, infatti, si può assegnare una tipologia o una [sezione](#)<sup>[342]</sup>. Assegnare una tipologia serve solo se si vuole fare un predimensionamento automatico. Assegnare una sezione serve se si vogliono fare conti esatti e se si vogliono avere informazioni sugli sforzi.

Una volta assegnate le tipologie si può innescare il predimensionamento automatico con il comando [Esegui!](#)<sup>[245]</sup>, il quale comporta l'esecuzione di un processo iterativo (che può essere impostato con il comando [Imposta Iterazione](#)<sup>[244]</sup>). Al termine del processo ci si ritrova nella seguente situazione: 1) la struttura è stata risolta e quindi sono accessibili i diagrammi e la deformata; 2) ferme restanti le tipologie assegnate in precedenza, *il programma avrà stimato la minima altezza del profilo capace di portare i carichi applicati*. Per vedere come cambino le dimensioni prima e dopo, si consiglia, prima di eseguire il comando che esegue la iterazione, di vedere l'ingombro degli elementi attivando l'opzione [Ingombro Elementi Strutturali](#)<sup>[173]</sup>, nel menu **Mostra**.

Se ad esempio si è data la tipologia IPE a tutte le membrature (ma ciascuna può avere la sua, ovviamente), al termine del processo si saprà qual è la altezza di IPE stimata necessaria dal programma per portare i carichi applicati, ad esempio 307. Il valore dell'altezza dovrà poi essere modificato (verso l'alto) in modo da raggiungere il primo valore tecnologicamente sensato (per le sezioni in c.a. si arrotonda ai 5cm, per le sezioni in acciaio tipo IPE, HEA, HEB, HEM ci sono altezze predefinite).

A questo punto si potranno assegnare le sezioni (eliminando le tipologie) fidando di introdurre dimensioni realistiche perché già validate da un primo esame.

Nota bene

La stima dell'altezza dei profili da parte del programma viene fatta sulla base della condizione di carico corrispondente ai carichi applicati. Se i carichi applicati hanno un verso che può cambiare (vento,

sisma) se ne dovrà tenere opportunamente conto nell'interpretare le dimensioni fornite dal programma. Ad esempio si immagini un telaio corrispondente ad un edificio di tre piani, e si impongano delle forze orizzontali sul lato sinistro, agenti in direzione delle x positive (verso destra), a simulare ad esempio il vento o il sisma. Il dimensionamento del programma terrà conto che le colonne di destra, a causa del momento ribaltante, saranno soggette ad una compressione maggiore delle colonne di sinistra, che, al limite, potranno perfino risultare tese. In questo caso le colonne di sinistra saranno anche molto più sottili delle colonne di destra. Ma il punto è che le azioni orizzontali, nella realtà, potranno agire anche con verso opposto, e dunque le colonne dovranno entrambe essere dimensionate come quelle che, nello schema in esame, stanno peggio: quelle di destra.

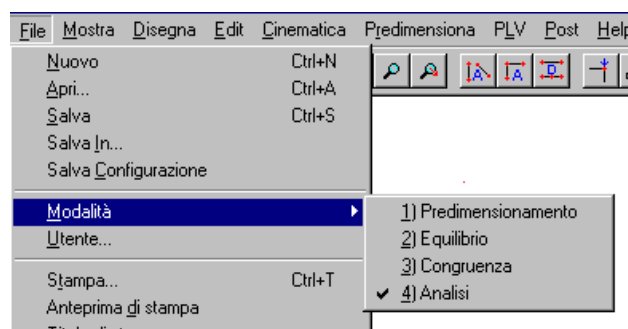
Si tenga inoltre conto che nel dimensionamento automatico si tiene in conto delle verifiche di resistenza e di quelle a stabilità (a compressione, non a svergolamento) ma non di quelle a deformabilità.

#### [CESCO PLUS]

In Cesco PLUS il predimensionamento segue le seguenti regole. Se non ci sono combinazioni verranno presi in esame tutti i casi di carico. Se ci sono combinazioni verranno prese in esame solo le combinazioni, ciò per evitare di considerare situazioni prive di senso fisico (vento su una struttura in assenza di gravità, ad esempio).

Con Cesco Plus è anche possibile predimensionare solo alcune membrature lasciando invariate le altre. Cesco Plus aggiunge la possibilità di predimensionare strutture di materiali generici (purchè la sezione ricada in certe tipologie) e la possibilità di predimensionare strutture in legno.

## 2.13 Scegliere la modalità di funzionamento



Le modalità<sup>[332]</sup> di funzionamento vengono scelte con i quattro comandi che si trovano nel menu **File-Modalità**. La scelta della migliore modalità dipende dalle proprie esigenze. Qui di seguito verrà tracciato l'*identikit* del tipico utilizzatore delle varie modalità.

#### Modalità Predimensionamento



Chi usa questa modalità si affaccia per la prima volta alla progettazione ed è privo di sostanziali nozioni di Statica e Scienza delle Costruzioni. Usando questa modalità potrà avvicinarsi ai problemi di queste discipline, avendo, diciamo così, una specie di licenza speciale.

#### *Modalità Equilibrio*

Chi usa questa modalità è probabilmente uno studente del corso di Statica o di Meccanica Razionale, che voglia impratichirsi dell'uso delle equazioni cardinali per risolvere strutture isostatiche con il calcolo letterale.

#### *Modalità Congruenza*

Chi usa questa modalità è probabilmente un Allievo del corso di Scienza delle Costruzioni, che voglia imparare bene ad usare il principio dei lavori virtuali, e che voglia capire come si calcolano gli sforzi.

#### *Modalità Analisi*

Chi usa questa modalità è un Allievo del corso di Tecnica delle Costruzioni, o di corsi simili, o un Professionista, che voglia usare il programma per fare dei calcoli su strutture in modo realistico.

Il predimensionamento è accessibile da tutte le modalità. I comandi sui diagrammi e sullo stato di sforzo sono accessibili da qualunque modalità. I comandi relativi al PLV sono accessibili solo dalla modalità Congruenza. I comandi relativi alla Analisi Cinematica sono accessibili da qualunque modalità. Il solving cambia a seconda delle [modalità](#)<sup>[32]</sup>.

[CESCO PLUS]

Cesco Plus non usa le modalità di funzionamento (usa la sola modalità analisi).

## 2.14 Stampare

CESCO è dotato di stampa e di anteprima di stampa, ragion per cui è molto facile produrre delle stampe con il programma. I comandi sono nel menu **File**: [Stampa](#)<sup>[161]</sup> e [Anteprima di Stampa](#)<sup>[162]</sup>. E' anche possibile impostare la stampante ([Setup Stampante](#)<sup>[162]</sup>). Grazie al comando [Titolo di stampa](#)<sup>[162]</sup> è possibile aggiungere un titolo ad ogni stampa che si fa. Nelle stampe vengono riportate varie informazioni, tra le quali la data e l'ora ed il nome dell'utente (per variare il nome dell'utente usare il comando [Utente](#)<sup>[162]</sup>).

Nello stampare si tenga presente che il font di stampa più opportuno può essere diverso dal font da usare a schermo. In genere per le stampe conviene usare, se disponibile, il font *Small Fonts*.

CESCO può stampare anche nella modalità a quattro riquadri, che si imposta con il comando (menu **Mostra**) [Imposta quadri](#)<sup>[167]</sup>, e si attiva con il comando [Quattro riquadri](#)<sup>[169]</sup>. Se si usa questa

modalità si consiglia di eseguire un [Includi](#)<sup>[178]</sup> prima di stampare in modo da centrare l'immagine senza perderne delle parti.

## 2.15 Studiare gli sforzi di una sezione

Per sapere che sforzi ci sono su una sezione di un ramo si può usare, dopo aver eseguito il solving, l'apposito comando [Sforzi Ramo](#)<sup>[261]</sup>, il quale è fatto apposta per dare queste informazioni nel modo più semplice e chiaro.

[CESCO PLUS]

In Cesco Plus sono disponibili molte informazioni sugli sforzi. Oltre al tabulato è possibile avere a schermo mappe a colori o diagrammi con gli sforzi normali ([Sigma](#)<sup>[253]</sup>), quelli tangenziali ([Tau](#)<sup>[253]</sup>), quelli assiali ([N/A](#)<sup>[252]</sup>), quelli flessionali ([M/W](#)<sup>[253]</sup>), quelli principali ([massimo](#)<sup>[254]</sup> e [minimo](#)<sup>[255]</sup>) e quello di Von Mises ([Von Mises](#)<sup>[254]</sup>). Questi diagrammi e mappe si possono ottenere sia per i singoli casi di carico o combinazioni, sia per gli involucri al variare delle combinazioni.

In Cesco Plus il comando di interrogazione su diagrammi e sforzi ([Sforzi Ramo](#)<sup>[261]</sup>) funziona sia con il caso di carico attivo che sulla combinazione attiva.

## 2.16 Studiare i diagrammi

Un primo modo di studiare i diagrammi è vederli. Per fare questo occorre aver fatto il solving, dopodichè sono accessibili i comandi [N](#)<sup>[251]</sup>, [M](#)<sup>[252]</sup>, [T](#)<sup>[252]</sup>.

Per variare la scala dei diagrammi si usa il comando [Scala](#)<sup>[256]</sup>.

CESCO consente però di studiare i diagrammi anche in modo più dettagliato. Il comando [Equazione](#)<sup>[257]</sup>, fa scegliere un ramo e su quel ramo, relativamente al diagramma attivo in quel momento (diagramma che dipende da quale dei comandi [N](#)<sup>[251]</sup>, [M](#)<sup>[252]</sup>, [T](#)<sup>[252]</sup> sia stato attivato), dà l'equazione, i valori di massimo, minimo ed i punti di nullo.

Un ulteriore modo di avere informazioni relativamente ai diagrammi consiste nell'usare il comando [Sforzi Ramo](#)<sup>[261]</sup>, il quale dà una finestra di dialogo che riepiloga i diagrammi e consente di *perlustrare* il ramo conoscendo i valori punto per punto.

[CESCO PLUS]

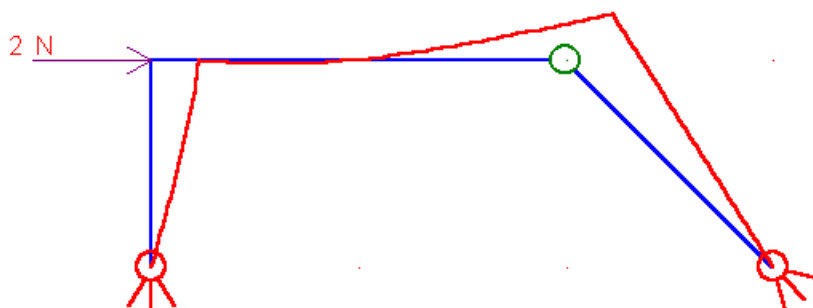
In Cesco Plus sono disponibili molte informazioni sugli sforzi. Oltre al tabulato è possibile avere a schermo mappe a colori o diagrammi con gli sforzi normali ([Sigma](#)<sup>[253]</sup>), quelli tangenziali ([Tau](#)<sup>[253]</sup>), quelli assiali ([N/A](#)<sup>[252]</sup>), quelli flessionali ([M/W](#)<sup>[253]</sup>), quelli principali ([massimo](#)<sup>[254]</sup> e [minimo](#)<sup>[255]</sup>) e quello di Von Mises ([Von Mises](#)<sup>[254]</sup>). Questi diagrammi e mappe si possono ottenere sia per i singoli casi di carico o combinazioni, sia per gli involucri al variare delle combinazioni.

In Cesco Plus il comando di interrogazione su diagrammi e sforzi ([Sforzi Ramo](#)<sup>[261]</sup>) funziona sia con il

caso di carico attivo che sulla combinazione attiva.

[PLUS]I valori numerici del diagramma si vedranno solo se il nodo corrispondente all'estremo dell'elemento è selezionato. I valori interni all'elemento (massimi o minimi relativi) o costanti lungo l'elemento solo se sono selezionati entrambi i nodi. Ciò per consentire rappresentazioni più leggibili.

## 2.17 Studiare la deformata



La deformata è disponibile solo se il solving è stato fatto nelle modalità *Predimensionamento* o *Analisi*.

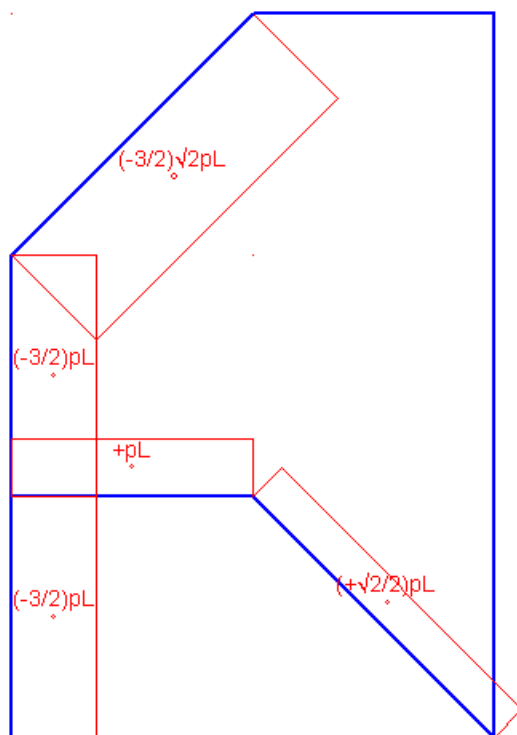
Un primo modo di studiare la deformata è vederla. Per questo, dopo aver fatto il solving, si usa il comando [Deformata](#)<sup>[258]</sup>. Se il disegno non è scalato convenientemente si usi il comando [Scala](#)<sup>[261]</sup>.

Un modo più preciso di studiare la deformata consiste nell'eseguire il comando [Interroga Ramo](#)<sup>[259]</sup>, che dà dettagliate informazioni sugli spostamenti dei punti interni a un [ramo](#)<sup>[339]</sup>.

[CESCO PLUS]

In Cesco Plus è possibile interrogare il programma direttamente sul valore degli spostamenti nodali, sia nei casi di carico che nelle combinazioni. Il comando è [Interroga Nodo](#)<sup>[258]</sup>.

## 2.18 Evitare numeri sovrapposti



Sebbene siano stati fatti molti sforzi per evitare che i numeri si sovrappongano non è completamente possibile evitare che, in certe circostanze, i numeri relativi ai diagrammi o alle reazioni vincolari si sovrappongano. Esiste però un'ampia gamma di possibilità che consentono sempre di evitare che questo accada:

- Si possono modificare i font di stampa per tipo e corpo: [Font](#)<sup>[171]</sup>
- Si possono variare le scale dei diagrammi: [Scala](#)<sup>[256]</sup>
- Si possono variare le dimensioni dei vettori delle forze e delle coppie: [Dimensioni](#)<sup>[171]</sup>
- Si può variare il formato di stampa dei numeri: [Formato](#)<sup>[172]</sup>
- Si può eseguire uno zoom: [Zoom](#)<sup>[179]</sup>
- Tenendo conto che i valori numerici del diagramma si vedranno solo se il nodo corrispondente all'estremo è selezionato, e i valori interni all'elemento (massimi o minimi relativi) o costanti lungo l'elemento solo se sono selezionati entrambi i nodi, selezionando o deselezionando i nodi si faranno comparire o scomparire scritte. Se tutti i nodi sono selezionati le scritte ci sono tutte. Se sono tutti deselezionati non ce n'è nessuna.

## 2.19 Gestire casi e combinazioni

In Cesco Plus è possibile assegnare le azioni applicate a vari casi di carico, eppoi generare delle combinazioni opportune di questi casi di carico base, in modo da studiare l'effetto combinato di questi casi base sulla struttura.

Quando vengono aggiunte le azioni esse vengono applicate al caso di carico corrente. Per muoversi da un caso a quello successivo ci sono due comandi appositamente creati allo scopo ([Precedente](#)<sup>[233]</sup> [Successivo](#)<sup>[233]</sup>). Per aggiungere un caso di carico si usa il comando [Aggiungi](#)<sup>[230]</sup>. E' poi possibile azzerare un caso di carico esistente ([Azzerà](#)<sup>[231]</sup>), eliminarlo ([Edita](#)<sup>[232]</sup>), o sommare al caso attivo un altro caso di carico fattorizzato ([Somma](#)<sup>[231]</sup>) o eventualmente ruotato ([SommaXY](#)<sup>[231]</sup>).

Le combinazioni servono a descrivere situazioni di carico ottenute combinando linearmente quanto avviene per le condizioni di carico elementari. Le combinazioni possono essere definite o modificate anche dopo il solving, senza la necessità di rieseguirlo.

Per gestire le combinazioni v'è il comando di aggiunta ([Aggiungi](#)<sup>[233]</sup>) ed il comando di modifica ([Modifica](#)<sup>[234]</sup>), il quale serve anche a cancellare le combinazioni stesse.

## 2.20 Avere il tabulato

In Cesco Plus è possibile ottenere un ampio tabulato, diviso per capitoli che si possono includere o meno. Il comando è [Crea Listato](#)<sup>[163]</sup>.

## 2.21 Studiare elementi in calcestruzzo armato

Cesco Plus dispone di un insieme di comandi espressamente progettati per consentire di eseguire rapidamente la progettazione delle armature delle travi o dei pilastri in calcestruzzo armato. L'idea che sta alla base del lavoro è quella di fornire degli strumenti rapidi, verificabili e di semplice gestione, atti a scegliere la armatura longitudinale e le staffe più adatte ad armare uno o più elementi strutturali.

Il programma fa una serie di ipotesi semplificative, basate sulla circostanza essenziale che vede privilegiare una progettazione di semplice realizzazione rispetto ad una progettazione basata sul minimo peso. Il programma assume che i ferri longitudinali siano rettilinei (niente piegati), e che siano di al più due diametri. Il taglio è affidato interamente alle staffe.

Grazie a queste ipotesi si hanno schemi di armatura chiari e leggibili che non richiedono alcun approccio fideistico e lasciano poi comunque al progettista la più ampia libertà di manovra. La aggiunta indiscriminata di numerosissimi dettagli d'armatura senza che da parte del progettista possa esserci il minimo controllo, sembra una procedura estremamente pericolosa e comunque difforme dalla regola che prevede come *dominus* il progettista e non il software. Nota l'area minima di armatura – sezione per

sezione – il progettista potrà comporre l'armatura come meglio riterrà opportuno, accettando in tutto o in parte le proposte fatte dal programma.

A questo riguardo va osservato che Cesco – grazie ad un procedimento iterativo – calcola in ogni sezione della trave in esame il quantitativo minimo di armatura necessario a rispettare le verifiche previste dalla norma (tensioni ammissibili o stati limite). Grazie a questo sistema, Cesco è in grado di dare il diagramma della minima area di armatura longitudinale che di fatto ottimizza lo sfruttamento dell'acciaio e che costituisce il vero punto di partenza per la progettazione della armatura corrente.

In pratica l'utente farà un certo numero di scelte preliminari ([Imposta](#)<sup>[274]</sup>) come la classe di resistenza del calcestruzzo, quella di resistenza dell'acciaio, il diametro dei ferri longitudinali e delle staffe, il copriferro, la presenza di armatura semplice o doppia. Fatte queste scelte il programma darà una serie di importanti informazioni.

La prima informazione che viene fornita è il quantitativo minimo di acciaio da mettere all'estradosso ed all'intradosso. Questo quantitativo viene fornito sotto forma diagramma avente in ordinata l'area minima dei tondini da mettere (Min A M).

Una seconda importante informazione è il numero e la disposizione delle barre longitudinali da inserire ([Diagramma Barre](#)<sup>[297]</sup>), nell'ipotesi di usare barre aventi al più due distinti diametri.

Una terza informazione è il vero e proprio layout delle barre, estratte dall'elemento strutturale ([Layout Barre](#)<sup>[299]</sup>), e anche esportabili al formato dxf ([DXF Layout Barre](#)<sup>[299]</sup>).

Con il comando [Interroga](#)<sup>[284]</sup> è possibile conoscere i dettagli del calcolo fatto dal programma. Il funzionamento del comando cambia a seconda che si stia usando una norma agli stati limite o una norma alle tensioni ammissibili.

Per quanto riguarda le staffe vengono forniti il quantitativo di area d'acciaio emergente per unità di lunghezza ([Min A T](#)<sup>[300]</sup>) ed il passo delle staffe aventi il numero di bracci ed il diametro prescelto ([Staffe](#)<sup>[300]</sup>).

Completa l'insieme dei comandi disponibili il comando che consente di avere una stima dei quantitativi di acciaio paragonandoli con quelli minimi teorici ([Statistiche](#)<sup>[301]</sup>).

I calcoli sulle barre sono disponibili per le seguenti sezioni:

- Sezioni rettangolari con orientazione pari a 0° (le situazioni ruotate sono facilmente ottenibili assegnando opportunamente base e altezza);
- Sezioni a T con orientazione 0° e 180°. Sono escluse le sezioni a T con orientazione 90° o 270°.

A partire dalla versione 5.0 di CESCO PLUS è possibile eseguire i calcoli sia alle tensioni ammissibili (in questo caso solo su elementi inflessi) che agli stati limite ultimi e di esercizio (elementi inflessi, compressi, o presso-inflessi). Nel seguito si danno informazioni più in dettaglio in merito alle verifiche agli stati limite (Eurocodice 2, NTC 2008).

### Progetto/verifica agli SLU per tensioni normali (EN 1992, NTC 2008)

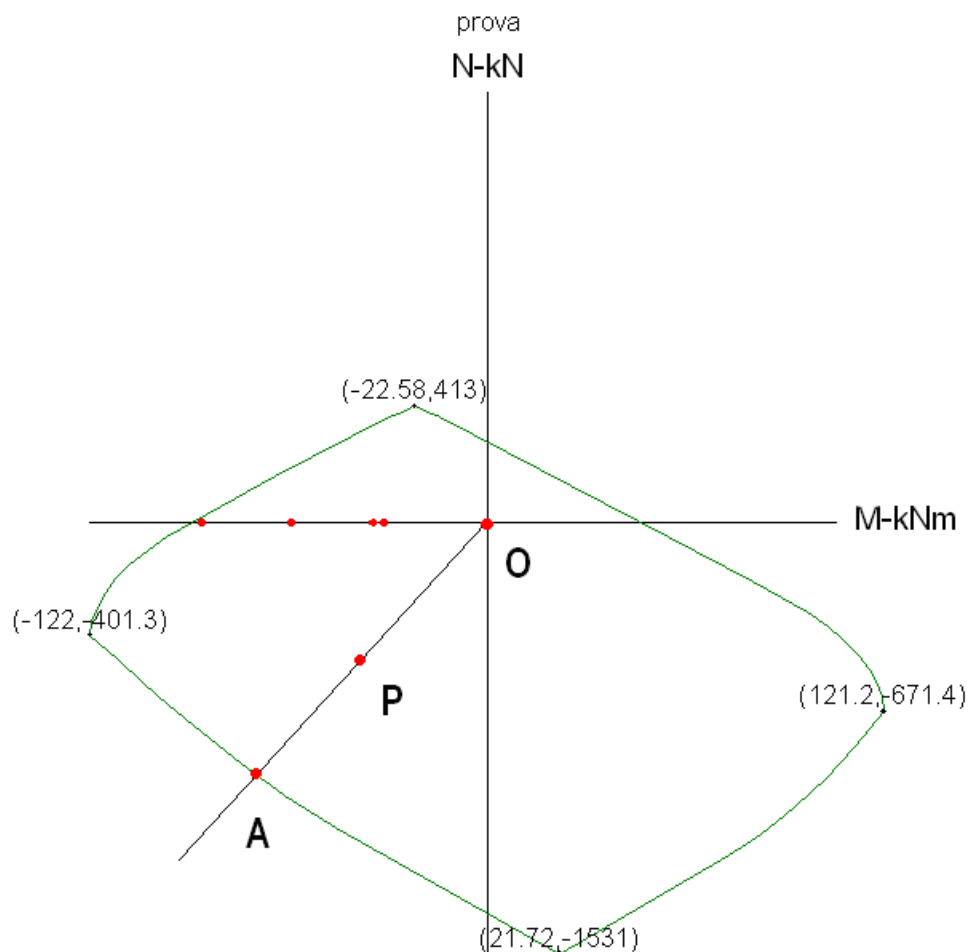
Dato un certo insieme di impostazioni fornite dall'utente (e che determinano il funzionamento del programma), CESCO PLUS esegue un procedimento iterativo volto al fine di determinare in ogni sezione di ogni membratura quale area minima è necessario disporre. Per fare questo il programma inizializza l'armatura con quella minima di legge. Poi vengono eseguite per tutte le combinazioni le verifiche allo SLU con le sollecitazioni applicate, eventualmente traslando il diagramma di momento di quanto necessario, ed eventualmente amplificando le sollecitazioni di calcolo (N ed M) del fattore  $r$  specificato dall'utente. Se le verifiche sono soddisfatte l'area resta quella iniziale, se invece qualche verifica non è soddisfatta, allora l'area viene incrementata di una certa piccola quantità e le verifiche vengono rieseguite. Le verifiche vengono di fatto realizzate creando il dominio limite per la sezione allo studio e verificando che tutti i punti corrispondenti alle sollecitazioni di verifica (eventualmente amplificate da un fattore  $r$ ) siano all'interno del dominio limite. Il procedimento si arresta al primo quantitativo di area di acciaio che fa sì che le verifiche agli stati limite ultimi per tensioni normali siano soddisfatte. Se si arriva al massimo quantitativo previsto dalla norma, ovvero alle massime percentuali di armatura previste da EN 1992-1-1, allora questo vuole dire che è il dimensionamento della sezione ad essere insufficiente: questa condizione, importante indice di un progetto errato, viene opportunamente segnalata da un messaggio di errore.

Se invece il procedimento si arresta prima dell'attingimento della massima percentuale di armatura, allora la quantità di acciaio determinata diventa l'"area minima" calcolata dal programma per quella sezione. Va osservato che il programma non esegue le verifiche usando l'involuppo delle sollecitazioni, poiché ciò sarebbe impreciso. Al contrario il programma di fatto crea un involucro di quantitativo di acciaio, ovvero determina il minimo quantitativo atto a soddisfare tutte le verifiche allo SLU per tensioni normali. Nel fare i calcoli il programma fa quindi un ciclo sulle combinazioni di verifica, oltre ad un ciclo sulle sezioni di verifica ed un ciclo sui rami che compongono le membrature. Il calcolo viene eseguito rispettando il rapporto tra armatura tesa ed armatura compressa specificato dall'utente. Nel corso della analisi delle varie combinazioni il programma tiene conto delle richieste in merito alla posizione dell'area tesa, e considera prevalente la posizione che corrisponde al maggior sfruttamento: ad esempio se tutte le combinazioni hanno momenti positivi e una sola momento negativo, se questa ultima richiede un maggior quantitativo di acciaio di tutte le altre sarà questa a determinare la posizione finale dell'acciaio. Viceversa, se nel verificarla con la posizione adatta alle verifiche in tutte le altre combinazioni la verifica è soddisfatta, allora rimarrà la posizione stabilita per mezzo delle altre combinazioni. Questo garantisce che anche in presenza di una inversione di momento l'area di acciaio sia disposta nel modo più conveniente da un punto di vista statico.

Dopo aver ultimato il ciclo e quindi aver determinato il quantitativo minimo di acciaio, il programma esegue alcune verifiche finali.

E' teoricamente possibile che dopo aver incrementato l'area e scambiato le posizioni tra area tesa e compressa la verifica risulti non più soddisfatta per alcune combinazioni. In questo caso il programma dà un messaggio di errore e chiede di modificare il rapporto tra armatura compressa ed armatura tesa.

E' chiaro che ciò non può avvenire se tale rapporto è pari ad 1.



### Definizione del coefficiente di sfruttamento

E' possibile che la combinazione che comporta il maggior sfruttamento (questo è definito come rapporto tra la distanza del punto di sollecitazione P di coordinate M, N, dall'origine e la distanza del punto A dall'origine essendo A corrispondente all'intercetta del raggio PO sul dominio limite:  $e = \frac{OP}{OA}$ ) non soddisfi i criteri di rottura duttile: anche in questo caso il programma dà un messaggio di errore.

Una volta noto il diagramma che, coerentemente con le impostazioni date dall'utente, fornisce il quantitativo minimo di area di acciaio che si deve disporre al positivo ed al negativo, è possibile valutare il numero dei ferri da disporre e la loro lunghezza, in modo da fornire un diagramma a gradoni che indichi l'area effettiva dei ferri, tale da ricoprire quello di area minima.

Il programma esegue un calcolo per differenza: stabilita l'area che corrisponde all'armatura longitudinale corrente superiore ed inferiore, il programma valuta l'area aggiuntiva da disporre per ottenere l'area minima. Da questa, mediante un calcolo discreto, stabilisce il numero dei tondini di



armatura secondaria (il cui diametro è stato prefissato dall'utente) necessari a ricoprire il diagramma di area minima. Il programma cerca di ottimizzare il numero dei tondini di armatura secondaria in modo tale da mantenere il più vicino possibile il diagramma di area resistente al diagramma di area minima.

Questo ultimo diagramma varia in funzione delle impostazioni date dall'utente. In particolare, variando il diametro della armatura secondaria ed il fattore che amplifica le sollecitazioni applicate (mediante il comando **Imposta**), è in generale possibile ottenere una pluralità di possibili proposte per l'armatura. Queste proposte costituiscono la base di partenza dalla quale il progettista deve muovere, completandole con le informazioni aggiuntive in merito alle lunghezze di ancoraggio, gli uncini, eccetera.

Nella determinazione della area minima il programma tiene anche in conto le limitazioni sulla percentuale di armatura (minima e massima), che in generale variano in funzione del tipo di elemento costruttivo e della norma. Nella seguente tabella, relativa al quantitativo minimo di acciaio,  $d$  è l'altezza utile,  $b_t$  è la larghezza media della zona tesa,  $f_{yk}$  è la tensione di snervamento caratteristica e  $f_{ctm}$  è la resistenza a trazione media del calcestruzzo

#### ELEME NTC 2008

#### Eurocodice 2

##### NTO

##### TRAVE

$$\max \left\{ \frac{0,26 f_{ctm} b_t d}{f_{yk}}; 0,0013 b_t d \right\} \quad \max \left\{ \frac{0,26 f_{ctm} b_t d}{f_{yk}}; 0,0013 b_t d \right\}$$

##### PILAST

##### RO

$$\max \left\{ \frac{0,1N}{f_{yd}}; 0,003 A_c \right\} \quad \max \left\{ \frac{0,1N}{f_{yd}}; 0,002 A_c \right\}$$

#### Quantità minime di armatura longitudinale

Il quantitativo massimo di area di acciaio deve essere il seguente, eguale per NTC 2008 ed Eurocodice 2:

#### ELEMENTO

#### NTC 2008

#### Eurocodice 2

##### TRAVE

,04Ac

,04Ac

##### PILASTRO

,04Ac

,04Ac

#### Quantità massime di armatura longitudinale

#### Progetto/verifica agli SLU per tensioni tangenziali

Il progetto/verifica per le tensioni tangenziali (ovvero per il taglio dato che nei modelli piani non v'è torsione), segue le stesse linee guida già viste per il progetto/verifica per tensioni normali.

In primo luogo il programma determina un'area minima di acciaio da disporre come staffatura (comando Min A-T), sulla base di questa determina poi il passo delle staffe dato il loro diametro (scelto dall'utente) ed il numero dei loro bracci (anche scelto dall'utente).

Nella determinazione dell'area minima per le staffe il programma tiene conto delle disposizioni contenute in EC2/NTC 2008 in merito al taglio portato in assenza di armatura a taglio, e delle disposizioni in merito alla area minima. Nel valutare il taglio portato in assenza di area minima il programma calcola la percentuale di armatura longitudinale, in una data sezione, scegliendo l'acciaio posto sopra o sotto a seconda del segno del momento flettente. L'area di acciaio tenuta in conto nel fare il calcolo della percentuale di armatura è scelta nelle **Impostazioni**, dove si può scegliere se usare l'area longitudinale minima (comando **Min A-NM**) o l'area longitudinale progettata dal programma (comando **Diagramma Barre**). I risultati ovviamente cambiano: tenuto conto che l'area minima ha una funzione fondamentalmente informativa, se si sceglie di adottare l'armatura proposta dal programma la impostazione più corretta da dare sarebbe "Usa area longitudinale di progetto", nel dialogo **Staffe** del comando **C.A.-Imposta**. E' chiaro che l'armatura a taglio andrebbe esaminata dopo aver deciso quella longitudinale.

Il programma dapprima calcola la percentuale di armatura longitudinale  $r_l$ , tenendo un massimo del 2%. Poi viene calcolato il taglio massimo sopportabile in assenza di armatura secondo la formula:

$$V_{Rd,c} = \left[ C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp} \right] \cdot b_w d \geq (v_{\min} + k_1 \sigma_{cp}) \cdot b_w d$$

dove

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$$

$$k_1 = 0,15$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c}$$

$$v_{\min} = 0,035 \sqrt{k^3} \sqrt{f_{ck}}$$

essendo  $d$  l'altezza utile in mm,  $b_w$  la larghezza minima della zona compresa tra il corrente teso e quello compresso.

Se il taglio applicato nella generica sezione e nella generica combinazione è inferiore a questo valore di taglio  $V_{Rd,c}$ , allora l'armatura minima (che ha le dimensioni di un'area per unità di lunghezza) è calcolata con la seguente formula (cfr. 9.5N, par. 9.2.2):

$$a_{stir,min} = b_w 0,08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$$

In caso contrario il programma calcola l'area di acciaio minima per unità di lunghezza, verificando, altresì, che la dimensione della sezione sia accettabile, ovvero verificando la eventuale crisi delle bielle di calcestruzzo compresso.

Questa ultima verifica è realizzata controllando che

$$V \leq 0,5 \cdot \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}$$

Il termine  $v_1$  è diverso tra NTC 2008 ed Eurocodice 2, secondo la seguente tabella:

NORMA	NTC 2008	Eurocodice 2
$v_1$	,5	$0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right)$

#### Valori del coefficiente $v_1$

Il valore  $v_1=0,5$  proposto dalle NTC 2008 coincide con quello indicato dall'Eurocodice 2 per  $f_{ck}=41,66\text{MPa}$ . Il NAD dà una ulteriore formula, identica a quella di EC2 pur di sostituire a 0,6 il numero 0,7.

Il termine  $z$  è il braccio della coppia interna (posto eguale a 0,9d dal programma ed anche eguale a 0,9d nelle NTC 2008), ed  $\alpha_{cw}$  determinato dalle seguenti disequazioni:

se $sc_p = 0$	$\alpha_{cw}=1$
se $0 < sc_p = 0,25f_{cd}$	$\alpha_{cw}=1 + sc_p / f_{cd}$
se $0,25f_{cd} < sc_p = 0,50f_{cd}$	$\alpha_{cw}=1,25$
se $0,50f_{cd} < sc_p = 1,0f_{cd}$	$\alpha_{cw}=2,5(1 - sc_p / f_{cd})$

dove  $sc_p$  è la tensione di compressione dovuta alla sola azione assiale, valutata calcolando l'area totale del calcestruzzo più quella dell'acciaio omogeneizzata. Nel caso di travi semplicemente inflesse, la verifica della biella compressa in accordo alle NTC 2008 si può scrivere:

$$V \leq 0,225 \cdot b_w \cdot d \cdot f_{cd}$$

Se la verifica a taglio-compressione non è soddisfatta il programma dà un messaggio di errore. In caso contrario il calcolo dell'area delle staffe viene fatto mediante la seguente formula:

$$a_{stir,min} = \frac{V}{0,9d \cdot f_{fywd} \cdot \cot(\theta)}$$

Dove  $fywd$  è la tensione di progetto dell'acciaio delle staffe, in pratica  $f_yd$ , e  $\theta$  è l'angolo di inclinazione delle bielle di calcestruzzo compresso, valutato mediante la seguente formula, ove esso figura come incognita, nella quale si eguaglia la componente di schiacciamento delle bielle di calcestruzzo a quanto per equilibrio proviene a causa del taglio applicato:

$$V = \frac{z b_w \alpha_{cw} v_1 f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta} = z b_w \alpha_{cw} v_1 f_{cd} \frac{\sin(2\theta)}{2}$$

ovvero

$$\theta = 0,5 \cdot \arcsin\left(\frac{2V}{z b_w \alpha_{cw} v_1 f_{cd}}\right)$$

Dove se dovesse risultare

$$\cot(\theta) > 2,5$$

allora si pone

$$\theta = 0,3804817 \text{ rad} = 21,80^\circ$$

In modo che  $\cot(\theta) = 2,5$ .

Se viceversa dovesse risultare

$$\cot(\theta) < 1$$

allora si pone

$$\theta = \pi / 4 = 45^\circ$$

Una volta determinata l'area minima, nota l'area della barra usata per le staffe  $A_{sw,1}$  ed il numero di bracci  $n_b$ , è possibile calcolare il passo delle staffe stesse,  $s$ , mediante la seguente semplice formula:

$$s = \frac{n_b \cdot A_{sw,1}}{a_{stir,min}}$$

Il passo calcolato in questo modo deve essere ulteriormente confrontato con il passo minimo che le staffe devono avere in accordo alla norma. L'Eurocodice 2 ha a riguardo delle prescrizioni diverse, come valore suggerito, rispetto a quelle delle NTC 2008. Inoltre il passo massimo varia a seconda che l'elemento sia o meno un pilastro. Nella seguente tabella sono riepilogati i passi massimi in accordo ad Eurocodice 2 ed a NTC 2008 ( $d$  è l'altezza utile e  $f_{min}$  il diametro minimo delle barre longitudinali):

ELEME	NTC 2008	Eurocodice 2
<b>NTO</b>		
TRAVE	Min{333mm, 0,8d}	Min{300, 0,75d}
PILAST	Min{250mm, 12fmin}	Min{400mm, 20 fmin, H, B}
RO		

#### Passi minimi per le staffe

Il quantitativo minimo di area di acciaio per unità di lunghezza deve inoltre rispettare le seguenti limitazioni, rispettivamente di NTC 2008 e di Eurocodice 2:

ELEMENTO	NTC 2008	Eurocodice 2
TRAVE	.0015 $b_w$	$b_w 0,08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$
PILASTRO	-	-

#### Area minima di acciaio per unità di lunghezza, staffe (astir,min)

Nelle formule precedenti  $b_w$  è in mm e le tensioni in MPa.

Si noti che anche se non vi sono formule esplicite per  $a_{stir,min}$  relative ai pilastri, la presenza di limitazioni sul diametro e sul passo di fatto le introduce. Ad esempio una staffa a due bracci di diametro 6mm ogni 333mm equivale ad  $a_{stir} = 0,169 \text{ mm}^2/\text{mm}$ .

Per i pilastri il diametro minimo delle staffe deve essere il massimo tra 6mm ed  $\frac{1}{4}$  del diametro massimo delle barre longitudinali, e ciò sia secondo le NTC 2008 sia secondo l'Eurocodice 2, ove questa condizione non sia soddisfatta il programma dà un messaggio di avviso.

### Verifiche agli SLE

Le verifiche agli stati limite ultimi vengono eseguite dal programma sulle combinazioni appositamente preparate a questo scopo. Le combinazioni caratteristiche sono riconosciute dal programma in quanto il loro nome incomincia per "SLE\_CA", mentre le combinazioni quasi permanenti sono riconosciute dal programma in quanto il loro nome incomincia per "SLE\_QUA".

Le verifiche agli stati limite di esercizio sono essenzialmente di tre tipi:

- Limitazione delle tensioni (verifiche sforzi)
- Limitazione delle fessurazioni (verifiche fessurazione)
- Limitazione della inflessione (verifiche deformabilità)

Il programma esegue in modo automatico le verifiche sulla limitazione delle tensioni e il calcolo di ampiezza della fessura, rapportandola a quella massima specificata dall'utente. Per quanto riguarda le verifiche di deformabilità, queste devono essere eseguite dall'utente sulla base dei rapporti luce/altezza degli elementi. L'approccio più "rigoroso" consisterebbe nell'eseguire complicati calcoli che, modificando la curvatura per tener conto dell'"effettivo" momento di inerzia delle sezioni fessurate, e dell'"effettivo" modulo di elasticità del calcestruzzo che tenga conto della viscosità, dia luogo ad una deformata maggiore di quella elastica ideale, ottenuta con il modulo elastico istantaneo ed il momento di inerzia della sezione lorda di calcestruzzo. Se non che, a parere di chi scrive, il rigore di questi calcoli è completamente illusorio, essendo questi calcoli al più in grado di determinare un valore di massima per la deformata in questione. Si pensi alle incertezze relative a tutti i parametri di calcolo, e si potrà ben comprendere che le incertezze derivanti da queste imprecisioni iniziali elidono ampiamente la presunta precisione del calcolo. Sembra quindi molto più logico eseguire delle verifiche semplificate (perché dichiaratamente conscie delle incertezze in gioco), piuttosto che inseguire con procedure di calcolo apparentemente precise precisioni che sono, semplicemente, irraggiungibili. Sotto questo profilo molto sarebbe ancora da fare per mettere a disposizione dei progettisti procedure semplici ed a favore di sicurezza che, senza avere la assurda pretesa di calcolare esattamente cose che non si possono calcolare, diano invece rapidi ed efficienti fattori correttivi rispetto alle frecce elastiche normalmente calcolate.

Le verifiche allo stato limite ultimo possono essere eseguite con il comando **SLE!** a patto che siano rappresentate le barre di armature di progetto (ovvero deve essere correntemente rappresentata la armatura di progetto, con i ferri effettivamente prescelti dal programma sulla base delle impostazioni dategli). Ciò perché le verifiche di fessurazione hanno bisogno di conoscere l'effettivo diametro delle

barre presenti, al fine di eseguire il controllo sulla ampiezza di fessura. Inoltre, se viene richiesto il tabulato, questo conterrà o meno le verifiche agli SLE a seconda che il comando sia stato dato avendo rappresentata l'area minima (file *modello.sdc.Amin.txt*) o l'area delle barre di progetto (file *modello.sdc.Ades.txt*).

Nel seguito si darà conto delle verifiche eseguite dal programma sia per la limitazione delle tensioni sia per la ampiezza delle fessure.

### *Limitazione delle tensioni*

La verifica alla limitazione delle tensioni è eseguita quasi allo stesso modo dall'Eurocodice 2 e dalle NTC 2008. Il calcolo viene eseguito in regime fessurato, con la stessa metodologia impiegata nei calcoli alle tensioni ammissibili, vale a dire impiegando il coefficiente di omogeneizzazione  $m$  e legami costitutivi elastici lineari. In pratica occorre verificare che la tensione di compressione nel calcestruzzo  $\sigma_c$  soddisfi le seguenti limitazioni:

$$\sigma_c < 0,6 f_{ck}$$

nella combinazione di carico caratteristica (rara) e

$$\sigma_c < 0,45 f_{ck}$$

nella combinazione di carico quasi permanente. Le NTC usano il limite  $0,6f_{ck}$  sempre, mentre l'Eurocodice 2 lo usa solo nel caso di esposizione ad ambienti aggressivi di tipo XD, XF ed XS.

Alle verifiche sul calcestruzzo si sommano le verifiche sulle tensioni nell'acciaio  $\sigma_s$ , che non deve superare la seguente limitazione

$$\sigma_s < 0,8 f_{yk}$$

nelle combinazioni di carico caratteristiche. Se nella combinazione di carico caratteristica allo studio esiste un caso di carico etichettato come "TERMICO", allora il limite di 0.8 è incrementato a 1.

Il programma, per ogni sezione di campionamento dei diagrammi, calcola le tensioni nel calcestruzzo e nell'acciaio secondo il metodo elastico, nelle combinazioni di tipo quasi permanente e nelle combinazioni di tipo caratteristico. Poi esegue un confronto con le tensioni limite precedentemente definite, calcolando uno "sfruttamento" dato dal rapporto tra le tensioni effettivamente presenti e le tensioni limite, nelle combinazioni pertinenti. Il fatto che questo sfruttamento risulti minore di 1 è condizione necessaria e sufficiente alla esecuzione delle verifiche allo SLE per limitazione delle tensioni.

### *Ampiezza delle fessure*

Il calcolo della ampiezza delle fessure viene eseguito dal programma in due modi diversi a seconda che si usino le NTC 2008 o l'Eurocodice 2. Non è chiara la ragione per cui, nelle NTC 2008, non si sia voluto uniformare il calcolo e le prescrizioni a quanto contenuto nella versione EN dell'Eurocodice 2. In

effetti la formulazione presente nelle NTC 2008 ricalca di fatto la formulazione già presente del D.M. del 1996 e la formulazione proposta nella versione ENV della norma.

La versione EN dell'Eurocodice 2 consente di calcolare la ampiezza delle fessure mediante la formula 7.8 seguente:

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

I due fattori che danno luogo alla apertura di fessura sono a loro volta calcolati con le formule seguenti:

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = \frac{\sigma_s - 0,4 \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + m \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$s_{r,max} = 1,3 \cdot (h - x)$$

$$s_{r,max} = 3,4c + \frac{0,8 \cdot k_2 \cdot 0,425 \cdot \phi_{eq}}{\rho_{p,eff}}$$

Nella prima formula:

- $\sigma_s$  è la tensione nell'acciaio teso, calcolata in regime fessurato con un modello elastico lineare e impiegando il coefficiente di omogeneizzazione m;
- $f_{ct,eff}$  è il valor medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo, di fatto si prende di solito  $f_{ctm}$ ;
- $E_s$  è il modulo di elasticità dell'acciaio (200000MPa);

- $\rho_{p,eff}$  è il rapporto tra l'area di acciaio tesa e l'area di calcestruzzo tesa  $\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,ef}}$ . Questa ultima area  $A_{c,ef}$  è data dalla larghezza della zona tesa  $b$  moltiplicata per una altezza di calcestruzzo teso  $h_{c,ef}$  attorno alle barre, valutata dal programma come  $h_{c,ef} = \min\{2,5(h-d); (h-x) / 3; h / 2\}$

essendo  $x$  la estensione di calcestruzzo compresso,  $h$  l'altezza totale e  $d$  la altezza utile della sezione.

La seconda formula è usata quando la spaziatura delle barre supera  $5(c+f/2)$ , essendo  $c$  il copriferro e  $f$  il diametro delle barre longitudinali. Negli altri casi, se le barre sono sufficientemente vicine, allora si usa la terza formula.

Nella terza formula:

- $c$  è il copriferro;
- si è ipotizzato che le barre abbiano aderenza migliorata come ormai avviene sempre;
- il termine  $k_2$  tiene conto della distribuzione delle deformazioni, variando da 0,5 in flessione pura a 1 in trazione pura. In caso di presso flessione (che non esclude la fessurazione) il termine dovrebbe ragionevolmente essere inferiore a 0,5 ma questo caso non è contemplato dalla norma. Salvo il caso di aste tese, è a favore di sicurezza porre  $k_2 = 0,5$ . Se è presente una trazione il programma pone  $k_2=1$ . Altrimenti pone  $k_2=0,5$ .
- il coefficiente 0,425 è quello suggerito dalla norma;

- il diametro equivalente  $\phi_{eq}$  viene calcolato con la seguente formula:

$$\phi_{eq} = \frac{n_1 \phi_1^2 + n_2 \phi_2^2}{n_1 \phi_1 + n_2 \phi_2}$$

Dove  $n_1$  e  $\phi_1$  si riferiscono alla armatura primaria, mentre  $n_2$  e  $\phi_2$  si riferiscono a quella secondaria, superiore o inferiore a seconda di quale sia la zona tesa.

- infine,  $\rho_{p,eff}$  è già stato definito.

I calcoli corrispondenti alle formule indicati sono eseguiti in modo automatico dal programma nella combinazione quasi permanente: in ogni sezione è calcolato  $x$  (mediante le formule opportune, quadratiche o cubiche a seconda dei casi) e tutte le altre grandezze, pervenendo ad una stima della apertura della fessura.

Le verifiche in accordo alle NTC 2008 seguono una formulazione differente, in sostanza quella della versione ENV dell'Eurocodice 2. In pratica viene calcolata una apertura di fessura media  $w_m$  che poi viene amplificata con un coefficiente pari a 1,7 per ottenere il valore di calcolo. Risulta in particolare (punto 4.1.2.2.4.6 delle NTC 2008):

$$w_d = 1,7 w_m$$

$$w_m = \varepsilon_{sm} \Delta_{sm}$$

Dove  $\varepsilon_{sm}$  è la deformazione media e  $\Delta_{sm}$  è la distanza media tra le fessure.

Le NTC 2008 non entrano nel dettaglio di come si debbano calcolare i termini  $\varepsilon_{sm}$  e  $\Delta_{sm}$ , rimandando a “criteri consolidati riportati nella letteratura tecnica”. Nella versione ENV dell'Eurocodice 2 sono reperibili le seguenti formule, che sono adottate dal programma CESCO CONCRETE:

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} \left( 1 - 0,5 \frac{\sigma_{sr}^2}{\sigma_s^2} \right)$$

$$\Delta_{sm} = 50 + \frac{0,25 \cdot 0,8 \cdot k_2 \cdot \phi_{eq}}{\rho_{p,eff}}$$

La seconda formula dà una lunghezza in mm. Questa formula è molto simile a quella già vista nella formulazione della versione EN, ed in particolare hanno il medesimo significato tutti i simboli impiegati sia nella seconda che nella prima formula appena introdotte, rispetto a quelle già viste per la versione EN dell'EC2. Il numero 0.5 nella prima formula è associato a carichi di lunga durata. Il numero 0.8 nella seconda formula a barre ad aderenza migliorata. L'unico termine che resta da definire è la tensione  $\sigma_{sr}$ , che rappresenta “la tensione nella armatura tesa calcolata nella sezione fessurata nella condizione di carico che induce la prima fessura” (par. 4.4.2.4. ENV-1992-1-1). Questa tensione può essere calcolata, data la linearità, come  $p$  volte la tensione  $\sigma_s$ , dove  $p$  è uno scalare minore di 1 calcolato in modo tale che ( $pN$ ,  $pM$ ) provochi la prima fessurazione sulla sezione. Assumendo una sezione con calcestruzzo interamente reagente, e coefficiente di omogeneizzazione pari a  $m$ , si tratta di valutare  $p$  in modo che al lembo teso il calcestruzzo raggiunga la tensione di trazione  $f_{ctm}$ . Se  $J_{eq}$  è il momento di



inerzia della sezione omogeneizzata e  $d$  la distanza del lembo teso dal baricentro,  $A_{eq}$  è l'area omogeneizzata, si ha:

$$f_{ctm} = p \left( \frac{N}{A_{eq}} + \frac{M}{J_{eq}} d \right)$$

Calcolato  $p$  dalla equazione precedente si ha:

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} (1 - 0,5 p^2)$$

In questa equazione va osservato che il programma pone

$$p = \sqrt{2}$$

quando non vi è trazione o quando la trazione applicata è inferiore a  $f_{ctm}$ .

## 2.22 Eseguire le verifiche di strutture in acciaio

### Generalità

Dalla versione 3.0 CESCO PLUS è collegato a tre verificatori esterni in accordo alle norme CNR 10011 alle tensioni ammissibili, agli stati limite, ed in accordo a Eurocodice 3.

I verificatori verificano solo le combinazioni, non i casi di carico base.

I verificatori verificano solo le aste selezionate al momento della esecuzione del comando che lancia le verifiche (comando [Verifica!](#)<sup>[266]</sup>).

I verificatori creano un tabulato di output, in formato ASCII, che ha le seguenti estensioni:

.CS1.cit	per il verificatore in accordo alle norme CNR alle tensioni ammissibili
. CS1.c2i	per il verificatore in accordo alle norme CNR agli stati limite
. CS1.eit	per il verificatore in accordo alle norme Eurocodice 3 o NTC acciaio

Questi verificatori sono gli stessi impiegati in un contesto 3D dal software di calcolo SARGON, vasto programma sviluppato da Castalia s.r.l. ed avente per oggetto proprio le strutture in acciaio.

Nel seguito verranno fornite indicazioni dettagliate relativamente ai tre verificatori. Queste informazioni sono desunte dalla documentazione di Sargon, si tenga presente che, essendo CESCO PLUS un programma piano, le aste non hanno 6 componenti di sollecitazione, ma 3. In particolare (N,M,T) in Cesco corrispondono a (N, M2, T3) in Sargon. Le azioni interne  $M_t$ ,  $M_3$ ,  $T_2$  sono da considerarsi identicamente nulle: lo si tenga presente nel leggere la documentazione.

Prima di entrare nel dettaglio, verranno date delle indicazioni di carattere generale, indispensabili per

operare correttamente con i verificatori.

Benchè le azioni interne fuori piano siano nulle, CESCO assume che sia possibile lo sbandamento delle aste fuori dal piano del disegno. Allo stesso modo è possibile lo svergolamento delle aste inflesse. CESCO governa il comportamento ad instabilità nel piano, fuori piano e lo svergolamento, mediante i coefficienti di libera inflessione  $b$ .

Il coefficiente di libera inflessione  $b_1$  è correlato allo svergolamento;

Il coefficiente di libera inflessione  $b_2$  è correlato allo sbandamento per compressione o pressoflessione nel piano dello schermo;

Il coefficiente di libera inflessione  $b_3$  è correlato allo sbandamento per compressione o pressoflessione fuori dal piano dello schermo (in direzione normale allo schermo).

In effetti, il problema della instabilità è un problema intrinsecamente 3D e non è riconducibile a schemi piani se non a prezzo di pericolose ipotesi semplificative.

E' compito dell'analista impostare il comportamento ad instabilità delle aste mediante la assegnazione di opportuni valori ai tre coefficienti di libera inflessione. Non è possibile in modo attendibile alcun automatismo relativamente ai coefficienti di libera inflessione, in quanto i sistemi proposti in letteratura (abachi di Wood, Alignment Charts) NON sono attendibili in un contesto generale.

Se si intende inibire l'instabilità in una certa direzione è sufficiente assegnare al corrispondente coefficiente di libera inflessione il valore 0.

Un'ulteriore importante insieme di osservazioni riguarda l'uso delle membrature. In CESCO PLUS le operazioni di divisione o di interruzione di un elemento non comportano perdita di informazione relativamente alla membratura: la membratura resta quella originariamente introdotta nelle fasi iniziali del meshing (ogni ramo una membratura).

Siccome la verifica a stabilità dei singoli rami può essere priva di senso, quando esistono più rami allineati, i verificatori consentono di verificare, accanto ai singoli rami, anche le membrature (superelementi nella terminologia di Sargon). Nell'eseguire le verifiche occorre specificare se si vogliono usare o meno le informazioni relative alle membrature (comando [Impostazioni](#)<sup>[269]</sup>). Se non si usano queste informazioni verranno verificati a resistenza e stabilità solo i rami (elementi finiti), non gli insiemi di rami. Se si usano, oltre alle verifiche precedenti verranno eseguite le verifiche delle membrature a stabilità.

E' compito dell'analista accertarsi che le membrature siano correttamente state definite (chiedendone la

numerazione) e che i coefficienti di libera inflessione ad esse attribuiti siano corretti. Se le membrature non risultano definite correttamente occorre cancellare gli elementi e riaggiungerli, tenendo presente quanto segue:

- in origine ogni ramo rappresenta una membratura distinta;
- se un ramo viene diviso o interrotto (anche a causa dell'intersezione con un altro ramo sopraggiunto in seguito) i sottorami restano appartenenti a una stessa membratura;
- se si cancellano aste intermedie, le informazioni sulla membratura originaria si perdono e dovranno essere ridefinite.

L'unico modo per esaminare le membrature presenti nel modello è quello di chiedere la numerazione delle stesse, in quanto al momento non vi sono comandi espliciti, in CESCO PLUS, per la gestione delle membrature.

I verificatori automatici consentono di avere un importante aiuto in fase di progettazione e verifica ma non sollevano il progettista dalla responsabilità di controllare la sua struttura in ogni dettaglio, ciò in quanto i verificatori automatici non possono verificare tutto l'insieme completo di cose che è necessario verificare. Particolare attenzione dovrà essere osservata all'indebolimento delle sezioni a causa dei fori, agli effetti locali di punzonamento o distorsione o imbozzamento sotto carichi locali, e così via.

Verifiche in accordo a CNR 10011 TA

### **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 CESCO, 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> anzichè 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  $b$ . **È compito dell'utente attribuire alle aste il giusto coefficiente  $b$ ; per default il programma assume il valore 1.**

**par 7.2.3**, nel caso di aste composte a correnti ravvicinati, il programma assume un  $I_1 = 50$  o  $40$  a seconda del tipo di acciaio. Valori di  $I_1$  superiori non sono comunque ammessi dalle norme per profili abbottonati (par 7.2.3.4.2). Per profili calastrellati il programma assume  $I_1 = 50$  o  $40$  a seconda del tipo di acciaio anche se la norma, in tal caso, consente  $I_1$  superiori. È compito dell'utente evitare  $I_1$  superiori a  $50$  o  $40$  anche per profili calastrellati.

**par 7.2.6**, È compito dell'utente sincerarsi che i profili scelti verifichino le limitazioni ai rapporti larghezza spessore.

**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.. CESCO PLUS 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 tenso-flessione, 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 CESCO PLUS, la seconda condizione richiede delle convenzioni. CESCO PLUS assume che gli estremi siano vincolati, ovvero che l'asta appartenga ad una sottostruttura a vincoli fissi, se  $b$  risulta  $\leq 1$ . Se  $b$  è  $> 1$ , anche nel caso in cui la distribuzione di momento sia lineare, CESCO PLUS non assume applicabile la formula predetta. Per  $b$  si intende  $b = \max(b_2, b_3)$

**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.

## Membrature

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 membrature, va rilevato che affinché queste abbiano significato, la membratura 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

Cesco PLUS consente di eseguire parte delle verifiche secondo regole stabilite dall'utente. Questa importante funzionalità 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 ( $s$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ), per poi valutare

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau_2^2 + 3\tau_3^2}$$

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  $t_2$  e di  $t_3$ . 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 (di queste sono nonnulle solo N, M2 e T3) e:

0	A	area della sezione
1	W2	modulo di resistenza per calcolare la s dovuta a M2.
2	W3	modulo di resistenza per calcolare la s dovuta a M3.
3	A22	modulo di resistenza per calcolare la t2 dovuta a T2.
4	A32	modulo di resistenza per calcolare la t2 dovuta a T3.
5	W12	modulo di resistenza per calcolare la t2 dovuta a M1.
6	A23	modulo di resistenza per calcolare la t3 dovuta a T2.
7	A33	modulo di resistenza per calcolare la t3 dovuta a T3.
8	W13	modulo di resistenza per calcolare la t3 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 w 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  $l_1$  (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 **I12** e **I13**. 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

0 Il comportamento a svergolamento (par. 7.3) viene tenuto in conto dando una regola generale per il calcolo del fattore  $w_1$ . 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  $w_1$  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

$$\omega = \omega(\lambda_{Tors3})$$

$$\omega_{13} = 1.4 k_{om13} \omega$$

0 Le quantità in grassetto,  **$i_{12}$**  e  **$k_{om12}$**  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  **$i_{13}$**  e  **$k_{om13}$** .

1 La formula che tiene in conto degli effetti combinati, par. 7.4.2.,





Copyright Castalia s.r.l. 1995-2015 tutti i diritti riservati

-144.1	55.62	26.4	0.	+10.495	0.	0.	0.	;	W2i	W3i	At22	At32	W12	At23
At33	W13													
-176.44	-55.62	26.4	0.	-10.495	0.	0.	0.	;	W2i	W3i	At22	At32	W12	At23
At33	W13													
-144.1	-55.62	26.4	0.	+10.495	0.	0.	0.	;	W2i	W3i	At22	At32	W12	At23
At33	W13													
+144.1	0.00	26.4	0.	-10.495	0.	7.8	0.	;	W2i	W3i	At22	At32	W12	At23
At33	W13													
176.44	0.00	26.4	0.	+10.495	0.	7.8	0.	;	W2i	W3i	At22	At32	W12	At23
At33	W13													
0.	1026.83	0.	0.	0.	0.	7.8	-17.76	;	W2i	W3i	At22	At32	W12	At23
At33	W13													
0.	-1026.83	0.	0.	0.	0.	7.8	+17.76	;	W2i	W3i	At22	At32	W12	At23
At33	W13													
-176.44	0.00	26.4	0.	-10.495	0.	7.8	0.	;	W2i	W3i	At22	At32	W12	At23
At33	W13													
-144.10	0.00	26.4	0.	+10.495	0.	7.8	0.	;	W2i	W3i	At22	At32	W12	At23
At33	W13													
_ENDSHAPE														

0 Il file è composto da righe che possono assumere significati differenti.

1        \_UNITS        unità

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**

<b>nome sezione</b>		(A20)				
<b>0</b>	<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)					
	1	W2	W3	A22	A32	W12
	A23	A33	W13			(8E)
<b>riga 1</b>						
	2	W2	W3	A22	A32	W12
	A23	A33	W13			(8E)
<b>riga 2</b>						
<b>3</b>	.....					
	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 (I1) da usare nelle verifiche a svergolamento sotto l'azione del momento M2.

#### **i13**

È il raggio di inerzia usato per calcolare la snellezza (I1) da usare nelle verifiche a svergolamento sotto l'azione del momento M3.

#### **Kom12**

Questo numero ha il seguente scopo. Ad ogni snellezza I1 corrisponde sulla curva di stabilità "c" un certo valore di w. Moltiplicando il valore di w trovato per il termine Kom12 si ottiene il valore di w1 previsto per fare la verifica a svergolamento sotto M2 (cfr. par. 7.3.2.2.1). Overo:

$$\sigma = \frac{\omega_{12} M_{2eq}}{W_2}$$

$$\lambda_{Tors2} = \frac{\beta L}{i_{12}}$$

grazie alla curva di stabilità c

$$\omega = \omega(\lambda_{Tors2})$$

$$\omega_{12} = 1.4k \text{ om}_{12} \omega$$

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 w1 trovato viene impiegato per eseguire le verifiche a svergolamento sotto M3. Overo:

$$\sigma = \frac{\omega_{13} M_{3eq}}{W_3}$$

$$\lambda_{Tors3} = \frac{\beta L}{i_{13}}$$

grazie alla curva di stabilità c

$$\omega = \omega(\lambda_{Tors3})$$

$$\omega_{13} = 1.4k \text{ om}_{13} \omega$$

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 l1 (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

$$\lambda_{2Total} = \sqrt{\lambda_2^2 + \lambda_{12}^2}$$

### 1 Lam13

Le sezioni abbottonate, calastrellate o tralicciate devono essere verificate a stabilità aggiungendo una snellezza fittizia l1 (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 s dovuta a M2.

### W3

Modulo di resistenza per calcolare la s dovuta a M3.

#### **A22**

Modulo di resistenza per calcolare la t2 dovuta a T2.

#### **A32**

Modulo di resistenza per calcolare la t2 dovuta a T3.

#### **W12**

Modulo di resistenza per calcolare la t2 dovuta a M1.

#### **A23**

Modulo di resistenza per calcolare la t3 dovuta a T2.

#### **A33**

Modulo di resistenza per calcolare la t3 dovuta a T3.

#### **W13**

Modulo di resistenza per calcolare la t3 dovuta a M1.

Verifiche in accordo a CNR 10011 SL

#### **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 CESCO, 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 Cesco.

**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  $b$ . **È compito dell'utente attribuire alle aste il giusto coefficiente  $b$ ; per default il programma assume il valore 1.**

**par 7.2.3**, nel caso di aste composte a correnti ravvicinati, il programma assume un  $I_1 = 50$  o  $40$  a seconda del tipo di acciaio. Valori di  $I_1$  superiori non sono comunque ammessi dalle norme per profili abbottonati (par 7.2.3.4.2). Per profili calastrellati il programma assume  $I_1 = 50$  o  $40$  a seconda del tipo di acciaio anche se la norma, in tal caso, consente  $I_1$  superiori. È compito dell'utente evitare  $I_1$  superiori a  $50$  o  $40$  anche per profili calastrellati.

**0** **par 7.2.6**, È compito dell'utente sincerarsi che i profili scelti verifichino le limitazioni sui rapporti larghezza spessore.

**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.. CESCO 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 tenso-flessione, 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 CESCO, la seconda condizione richiede delle convenzioni. CESCO assume che gli estremi siano vincolati, ovvero che l'asta appartenga ad una sottostruttura a vincoli fissi, se  $b$  risulta  $\leq 1$ . Se  $b$  è  $> 1$ , anche nel caso in cui la distribuzione di momento sia lineare, CESCO non assume applicabile la formula predetta. Per  $b$  si intende

$b = \max(b_2, b_3)$

**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 Membrature

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 membrature, va rilevato che affinché queste abbiano significato, la membratura 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

CESCO consente di eseguire parte delle verifiche secondo regole stabilite dall'utente. Questa importante funzionalità 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 ( $s$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ), per poi valutare

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau_2^2 + 3\tau_3^2}$$

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  $t_2$  e di  $t_3$ . 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:

A	area della sezione
W2	modulo di resistenza per calcolare la s dovuta a M2.
W3	modulo di resistenza per calcolare la s dovuta a M3.
A22	modulo di resistenza per calcolare la t2 dovuta a T2.
A32	modulo di resistenza per calcolare la t2 dovuta a T3.
W12	modulo di resistenza per calcolare la t2 dovuta a M1.
A23	modulo di resistenza per calcolare la t3 dovuta a T2.
A33	modulo di resistenza per calcolare la t3 dovuta a T3.
W13	modulo di resistenza per calcolare la t3 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 w 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 I1 (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 **I12** e **I13**. 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 w1. 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 w1 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  $w_1$  viene posto eguale a 1.

## Il file cnrdata.txt

Nel direttorio di installazione del programma è presente il file ASCII "cnrdata.txt", il

[illegible]

\$	sigVonMises = sqrt(sig²+3tau2²+3tau3²)														
\$															
\$	N.b.: tutte le grandezze delle verifiche a resistenza sono dotate di segno,														
\$															
\$	in particolare tutti i moduli														
\$															
\$	At33 W13 hanno il segno.														
\$	_UNITS mm, cm, m, in, ft, yd														
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															
\$															

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)

**nptck****nbc****i12****i13****kom12****kom13****lam12****lam13****tmax**

(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 uguale a 1, 2, 3, o 4.

**i12**

È il raggio di inerzia usato per calcolare la snellezza (I1) da usare nelle verifiche a svergolamento sotto l'azione del momento M2.

**i13**

È il raggio di inerzia usato per calcolare la snellezza (I1) da usare nelle verifiche a svergolamento sotto l'azione del momento M3.

**Kom12**

Questo numero ha il seguente scopo. Ad ogni snellezza I1 corrisponde sulla curva di stabilità "c" un certo valore di w. Moltiplicando il valore di w trovato per il termine Kom12 si ottiene il valore di w1 previsto per fare la verifica a svergolamento sotto M2 (cfr. par. 7.3.2.2.1). Overo:

$$\sigma = \frac{\omega_{12} M_{2eq}}{W_2}$$

$$\lambda_{Tors2} = \frac{\beta L}{i_{12}}$$

grazie alla curva di stabilità c

$$\omega = \omega(\lambda_{Tors2})$$

$$\omega_{12} = 1.4k \text{ om}_{12} \omega$$

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 w1 trovato viene impiegato per eseguire le verifiche a svergolamento sotto M3. Overo:

$$\sigma = \frac{\omega_{13} M_{3eq}}{W_3}$$

$$\lambda_{Tors3} = \frac{\beta L}{i_{13}}$$

grazie alla curva di stabilità c

$$\omega = \omega(\lambda_{Tors3})$$

$$\omega_{13} = 1.4k \text{ om}_{13} \omega$$

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  $\lambda_{12}$  (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  $\lambda_{13}$  (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 s dovuta a M2.

**W3**

Modulo di resistenza per calcolare la s dovuta a M3.

**A22**

Modulo di resistenza per calcolare la t2 dovuta a T2.

**A32**

Modulo di resistenza per calcolare la t2 dovuta a T3.

**W12**

Modulo di resistenza per calcolare la t2 dovuta a M1.

**A23**

Modulo di resistenza per calcolare la t3 dovuta a T2.

**A33**

Modulo di resistenza per calcolare la t3 dovuta a T3.

**W13**

Modulo di resistenza per calcolare la t3 dovuta a M1.

Verifiche in accordo a EC3

**Sommario:**

- |          |                                      |
|----------|--------------------------------------|
| <b>1</b> | <b>Generalità</b>                    |
| <b>2</b> | <b>Paragrafi implementati</b>        |
| <b>3</b> | <b>Classificazione delle sezioni</b> |



<b>4</b>	<b>Verifiche standard</b>
<b>4.1</b>	<b>Verifiche di resistenza</b>
<b>4.2</b>	<b>Verifiche di stabilità</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Il problema dello svergolamento</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Il nuovo formato delle verifiche di pressoflessione (metodo 1 e metodo 2)</b>
<b>5</b>	<b>L'uso di checksolvers</b>
<b>6</b>	<b>Le schede di validazione</b>
<b>7</b>	<b>Bibliografia</b>

## **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;

- E' stato ampliato enormemente il raggio di azione del programma consentendo la esecuzione di verifiche utente su sezioni di forma qualsiasi;
- E' stata migliorata la parte relativa al calcolo a svergolamento;
- E' stata data la possibilità di usare vari tipi diversi di calcoli, scegliendo il miglior modo di eseguire il verificatore.
- E' stata aggiunta a checksolvers la possibilità di eseguire controlli sui coefficienti di sfruttamento ottenuti con la norme EC3.

### **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

### **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.

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 i soli profili ad I laminati. 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.

Un profilo che risulti di classe 4 e non sia un profilo ad I o un profilo-utente 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.

### **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.

### **Verifiche di resistenza**

#### **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  $(1-r2-r3)f_y$  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].

#### **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.

#### Sezioni in classe 4

Le uniche sezioni di classe 4 verificate in modo automatico sono quelle ad I o H laminato. Per queste sezioni la formula di verifica a resistenza è quella presente nella norma alla equazione 6.44. Nel caso in cui sia presente anche taglio e torsione la formula viene corretta riducendo da 1 a  $(1-r_2-r_3)$  la soglia massima. In questo caso

$$\rho_2 = \frac{2V_2}{V_{pl2,T}} - 1$$

$$V_{pl2,T} = V_{pl,2} \left( 1 - \frac{M_1}{M_{1,lim}} \right)$$

E di conseguenza  $r_3$ .

#### 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.

## 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 utente 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:

$$M_{crit} = C_1 \frac{\pi^2 EI_3}{(\beta_1 L)^2} \left\{ \left[ \left( \frac{\beta_1}{k_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_3} + \frac{(\beta_1 L)^2 GI_t}{\pi^2 EI_3} + (C_2 z_g - C_3 z_j)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - (C_2 z_g - C_3 z_j) \right\}$$

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. 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  $ILT$  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.

### 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  $\Delta M$  sono nulle se la classe non è la 4.

Il verificatore è in grado di applicare entrambi i metodi, a scelta.

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.

### 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  $d$ . La massima freccia  $d$  può essere valutata in vari modi. 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.

### 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  $a_s$  ed  $a_h$ , 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.

### Metodo A Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 C.S.LL.PP.

Si tratta del vecchio metodo previsto dalle CNR 10011 con la differenza che a denominatore vengono usati moduli di resistenza che dipendono dalla classe del profilo. A partire dalla versione 5.10 tale metodo è stato aggiunto a quelli disponibili per compatibilità con le NTC 2008.

### 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>_TRESCOM</b>	<b>TNUM</b>	<b>CASE</b>	<b>KIND</b>	<b>TARGET</b>
<b>_TSTACOM</b>	<b>TNUM</b>	<b>CASE</b>	<b>KIND</b>	<b>TARGET</b>
<b>_BRESKOM</b>	<b>BNUM</b>	<b>CASE</b>	<b>KIND</b>	<b>TARGET</b>
<b>_BSTACOM</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 TRESCOM va a leggere il valore del massimo indice di sfruttamento a resistenza per elementi truss nella combinazione considerata; la scheda BRESKOM 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.

### 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. "Calcolo di strutture in acciaio. EN1993-1-1", EPC LIBRI, 2008
- [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

## 2.23 Eseguire le verifiche di strutture in legno

### 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:

1. 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.

2. 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.

3. Le NTC ([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  $g_M$ , 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.

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/C15/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 $q_{k0} \leq 2,0$ kN/m <sup>2</sup> Breve termine per la parte di carico che eccede 2,0 kN/m <sup>2</sup>	Medio termine per $q_{k0} \leq 2,0$ 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 - instantaneo	Istantaneo	Istantaneo	Istantaneo
22	2.3.1.3(1)P Assegnazione delle strutture alle classi di servizio	classi di servizio	Fornire 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	Id	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 $\sigma_{\perp,0.4}$	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) $w_{ult,lim}$ (freccia finale depurata della monta iniziale) $W_{lim}$ ( $W_{ult} - W_{trans}$ )	$1/300 - 1/500$ $1/250 - 1/350$ $1/150 - 1/300$	na na 1/200	na na 1/200	$1/300$ $1/250$ $1/200$	$1/300$ $1/250$ $1/200$
57	7.3.3(2) Limitazione delle vibrazioni per i piani residenziali	Parametri a, b	$0 < a \leq 4$ $50 < b < 150$	$a = 1,5$ 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 Duglasia	na	na	Abete bianco Duglasia	Abete bianco Duglasia
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 $k_1$ per la resistenza $k_2$ e la rigidezza dei sistemi controventanti $k_3$	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 $\Delta_{lim,perm}$ (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 $\Delta_{lim}$ (massima deviazione della reticolare dal piano verticale)	10-50 mm	na	na	20 mm	30 mm

**Tabella 1-1** 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, anche queste sono state approntate, intendendole come un insieme di correzioni al metodo generale di EC5 (vedremo dove) che però resta sostanzialmente invariato.

Relativamente alla situazione delle Norme nel nostro Paese, c'è solo da sperare che un approccio più serio e più responsabile prenda finalmente piede, in modo da evitare situazioni di parossismo confusionario come quelle attualmente in essere.

### **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 cemento) 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-D, "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 –  $R_d$ :

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M} \quad 2-1$$

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:

$$R_d = K_{mod} \frac{R_k}{\gamma_M} \quad 2-2$$

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 gM:

Tipo di legno	Massiccio	Lamellare	LVL, compensato
Valore di gM	,30	,25	,2

**Tabella 2-1 Valori di gM secondo EC5 e N.I.CO.LE.**

Nelle combinazioni accidentali (ad esempio le combinazioni sismiche) il valore di gM 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 [1] va detto che per esse il coefficiente gM vale sempre e comunque 1.35.

Tipo di legno	Massiccio	Lamellare	LVL, compensato
Valore di gM	,35	,35	,35

**Tabella 2-2 Valori di gM 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:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_{R,D} \gamma_M} \quad 2-3$$

Overo

$$K_{mod} = \frac{1}{\gamma_{R,D}} \quad 2-4$$

I valori di gR,D sono forniti insieme a quelli per Kmod, nel par. 2.4.5, infatti, per comprendere come assegnare il valore di Kmod (e di gR,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 gM e di Kmod 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:

1. La presenza di difetti
2. L'umidità dell'ambiente ove il legno si trova
3. La durata del carico che deve sopportare
4. La direzione dello sforzo rispetto a quella della fibratura
5. 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 gM, 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  $f_{mk}$ :

$$f_{mkmod} = k_h f_{mk}$$

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 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 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 e Nicole

Classe di servizio secondo NTC

1

2

3

**Tabella 2-5 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 “permanent”).

Le classi di durata previste da queste norme sono descritte nella tabella successiva:

Classe (EC5, Nicole)	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 2-6 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. 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  $\gamma = 0$ , 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 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 2-7 Classificazione della durata dei carichi secondo NTC**

Come si vede le NTC 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 e Nicole	NTC
Permanenti	Permanenti
Lunga durata	Lunga durata
Media durata	Lunga durata
Breve durata	Breve durata

Istantanei

Breve Durata

**Tabella 2-8 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 gM 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 analoga 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**

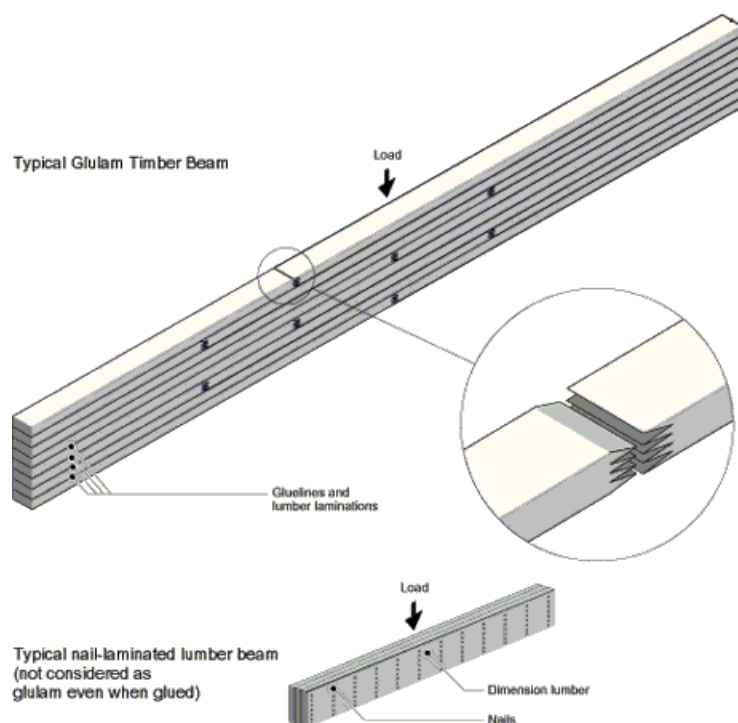
La tipologia del materiale di cui è costituito l'elemento influisce sui coefficienti di sicurezza da adottare nel calcolo. In generale possiamo distinguere le seguenti tipologie di materiale di base:

- 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” (*fibreboard hard*);
- pannelli di fibre “semiduri” (*fibreboard medium*);
- pannelli di fibre “teneri” (*fibreboard*).

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*).

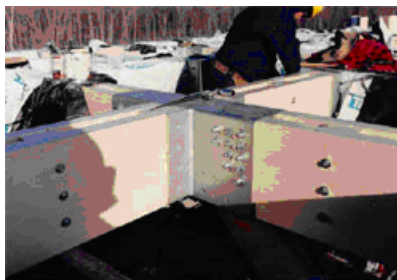
Il legno lamellare incollato è ottenuto dalla riunione di lamine di legno incollate tra loro ed unite mediante giunti di varia specie. La possibilità di scartare le lamine difettate e disporre con cura la orditura delle fibre consente di realizzare un materiale con elevate caratteristiche di resistenza, impregiudicate dalla presenza di collanti sintetici ad alta resistenza.



**Figura 2 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  $g_M$  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 3 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  $g_M$  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
r	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

fc,0,k	Resistenza caratteristica a compressione parallela alle fibre
fc,90,k	Resistenza caratteristica a compressione perpendicolare alle fibre
fv,k	Resistenza caratteristica a taglio
E0,mean	Modulo di elasticità medio per tensioni parallele alle fibre
E0,05	Modulo di elasticità caratteristico (frattile 5%) per tensione parallela alle fibre
E90,mean	Modulo di elasticità medio per tensione perpendicolare alle fibre
Gmean	Modulo di elasticità tangenziale medio
rk	Densità di peso caratteristica
rm	Densità di peso media

**Tabella 2-9 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:

$$G_{k,05} = G_{mean} \frac{E_{0,05}}{E_{0,mean}} \quad 2-10$$

### 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.

Nome	Tipo									Gmean	rk	rm
		fm0k	ft0k	ft90k	fc0k	fc90k	fvk	E0mean	E005	E90mean		
		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
C14	Massiccio	.	.	.4	.	.0	.7	.	.	.	.	.
C16	Massiccio	.	.	.5	.	.2	.8	.	.	.	.	.
C18	Massiccio	.	.	.5	.	.2	.0	.	.	.	.	.
C20	Massiccio	.	.	.5	.	.3	.2	.	.	.	.	.
C22	Massiccio	.	.	.5	.	.4	.4	.	.	.	.	.
C24	Massiccio	.	.	.5	.	.5	.5	.	.	.	.	.
C27	Massiccio	.	.	.6	.	.6	.8	.	.	.	.	.
C30	Massiccio	.	.	.6	.	.7	.0	.	.	.	.	.
C35	Massiccio	.	.	.6	.	.8	.4	.	.	.	.	.
C40	Massiccio	.	.	.6	.	.9	.8	.	.	.	.	.

C45	Massiccio	.	.	.6	.	.1	.8	.	.	.	.	.	.
C50	Massiccio	.	.	.6	.	.2	.8	.	.	.	.	.	.
D30	Massiccio	.	.	.6	.	.0	.0	.	.	.	.	.	.
D35	Massiccio	.	.	.6	.	.4	.4	.	.	.	.	.	.
D40	Massiccio	.	.	.6	.	.8	.8	.	.	.	.	.	.
D50	Massiccio	.	.	.6	.	.7	.6	.	.	.	.	.	.
D60	Massiccio	.	.	.6	.	.5	.3	.	.	.	.	.	.
D70	Massiccio	.	.	.6	.	.5	.0	.	.	.	.	.	.
GL24h	Lamellare	.	.5	.4	.	.7	.7	.	.	.	.	.	.
GL24c	Lamellare	.	.		.	.4	.2	.	.	.	.	.	.
			.35										
GL28h	Lamellare	.	.5		.5	.0	.2	.	.	.	.	.	.
			.45										
GL28c	Lamellare	.	.5		.	.7	.7	.	.	.	.	.	.
			.40										
GL32h	Lamellare	.	.5	.5	.	.3	.8	.	.	.	.	.	.
GL32c	Lamellare	.	.5		.5	.0	.2	.	.	.	.	.	.
			.45										
GL36h	Lamellare	.	.	.6	.	.6	.3	.	.	.	.	.	.
GL36c	Lamellare	.	.5	.5	.	.3	.8	.	.	.	.	.	.

**Tabella 2-10 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	fm0k	ft0k	ft90k	fc0k	fc90k	fvk	E0mean	E005	E90mea	Gmean	rk	rm
										n			
		N/	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
		mmq											
ANS1	Abete	.	.	.4	.	.9	.0	.	.	.	.	.	.
	nord S1												
ANS2	Abete	.	.	.4	.	.9	.5	.	.	.	.	.	.
	nord S2												
ANS3	Abete	.	.	.4	.	.9	.9	.	.	.	.	.	.
	nord S3												
ACSS1	Abete	.	.	.3	.	.1	.2	.	.	.	.	.	.
	centro												

sud S1											
ACSS2	Abete	.	.	.3	.	.1	.9	.	.	.	.
centro											
sud S2											
ACSS3	Abete	.	.	.3	.	.1	.3	.	.	.	.
centro											
sud S3											
LNS1	Larice	.	.	.6	.	.0	.0	.	.	.	.
nord S1											
LNS2	Larice	.	.	.6	.	.0	.2	.	.	.	.
nord S2											
LNS3	Larice	.	.	.6	.	.0	.7	.	.	.	.
nord S3											

**Tabella 2-11 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 gR,D

#### Eurocodice 5 e documento NICOLE

Come abbiamo visto le tensioni di progetto Rd si ricavano da quelle caratteristiche Rk per mezzo dei due fattori gM e Kmod.

$$R_d = K_{mod} \frac{R_k}{\gamma_M}$$

I valori di gM 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.

Materiale	Norma	Classe di servizio	diAzioni permanenti	Azioni lungo termine (LT)	aAzioni medio termine (MT)	aAzioni breve termine (ST)	aAzioni istantanee (IN)
Legno	EN 14081-2		0,60	0,70	0,80	0,90	0,10
massiccio	1	3	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10

			0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Legno	EN 14080	2	0,60	0,70	0,80	0,90	0,10
lamellare		3	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
			0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
LVL	EN 14374,2		0,60	0,70	0,80	0,90	0,10
	EN 14279	3	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
			0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

**Tabella 2-12** Valori di  $K_{mod}$  in accordo ad Eurocodice 5

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  $g_{RD}$ , 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 [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.

Materiale	Norma	Classe di servizio	Azioni permanenti	Azioni lungo termine (LT)	Azioni a breve termine (ST)	a
Qualsiasi	NTC [1]	2	1,70	0,40	0,10	
			2	1,80	1,40	

**Tabella 2-13** Valori di  $g_{RD}$  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 servizio	di	Classe servizio	di	Classe servizio	di
-----------	-------	--------------------	----	--------------------	----	--------------------	----

		1	2	3
Legno massiccio	EN 14081-1 [13]	0.60	0.80	.0
Legno lamellare	EN 14080 [15]	0.60	0.80	.0
LVL	EN 14374 [16], EN 14279 [17]	0.60	0.80	.00
Compensato	EN 636 [18]			
	Parte 1	0.80	–	–
	Parte 2	0.80	1.00	–
	Parte 3	0.80	1.00	2.50

**Tabella 2-14 Valori di Kdef secondo EC5**

Le norme tecniche NTC [1] usano, come abbiamo spiegato, differenti classi di servizio (due e non tre e con diverse delimitazioni) e introducono differenti valori per i coefficienti Kdef. Nella seguente tabella si danno i valori di Kdef 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	0.0
Legno lamellare, incollato, LVL	0.60	0.0
Compensato	0.80	0.5

**Tabella 2-15 Valori di Kdef 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  $\psi_2$  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 viscosità	Deformazione finale
$Q_k$	$u_{ist}$	$u_{ist} \psi_2 K_{def}$	$(1 + \psi_2 K_{def}) u_{ist}$
$\psi_0 Q_k$	$\psi_0 u_{ist}$	$u_{ist} \psi_2 K_{def}$	$(\psi_0 + \psi_2 K_{def}) u_{ist}$
$\psi_1 Q_k$	$\psi_1 u_{ist}$	$u_{ist} \psi_2 K_{def}$	$(\psi_1 + \psi_2 K_{def}) u_{ist}$
$\psi_2 Q_k$	$\psi_2 u_{ist}$	$u_{ist} \psi_2 K_{def}$	$(1 + K_{def}) \psi_2 u_{ist}$

**Tabella 2-16 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:

$$(1 + K_{def}) \left( \sum_{i=1}^{ng} G_{ki} + \sum_{i=1}^{nq} \gamma_{qi} \psi_{2i} Q_{ik} \right)$$

Si tratta di un trucco col quale valutiamo gli effetti lenti modificando le formule di combinazione: in realtà le azioni presenti sulla struttura non cambiano. In particolare gli effetti lenti non corrispondono ad un incremento delle azioni, e quindi le azioni indicate da queste formule di combinazioni non saranno mai presenti sulla struttura. Tuttavia, adottando queste formule di combinazione possiamo impiegare la teoria della elasticità lineare per valutare gli effetti lenti, del tutto anelastici.

Ad esempio sia G un carico permanente e Q un carico variabile e sia  $K_{def} = 0.80$ ,  $\psi_0=0.7$   $\psi_1=0.5$  e  $\psi_2=0.2$ .

Le combinazioni atte a calcolare le deformazioni finali sono le seguenti:

1.8G

$$1.8G + (1 + 0.2 \times 0.8)Q = 1.8G + 2.6Q$$

$$1.8G + (0.5 + 0.2 \times 0.8)Q = 1.8G + 2.1Q$$

$$1.8(G + 0.2Q) = 1.8G + 0.36Q$$

Quale sia la combinazione che dà il valore massimo di spostamento dipende dal segno di G e Q e dal luogo ove sono applicate le azioni, in generale. Se G e Q hanno lo stesso segno e sono egualmente collocati e distribuiti (ad esempio due carichi gravitazionali distribuiti), allora la combinazione più sfavorevole è la 2, che risponde alla formula generale:

$$(1 + K_{def})G + (1 + \psi_2 K_{def})Q$$

**2-11**



L'Eurocodice 5 dà le seguenti delimitazioni alla freccia di travi inflesse, delimitazioni che come abbiamo accennato sono diverse per lo spostamento istantaneo e per lo spostamento finale.

$u_{ist}$	$u_{netto,finale}$	$u_{finale}$
da L/300 a L/500	da L/250 a L/350	da L/150 a L/300

**Tabella 2-17 Limitazioni alla freccia secondo Ec5**

Dove:

$u_{ist}$  è lo spostamento istantaneo della combinazione in esame

$u_{netto,finale}$  è lo spostamento finale rispetto alla configurazione rettilinea ideale ottenuto considerando la controfreccia, lo spostamento istantaneo e lo spostamento differito

$u_{finale}$  è lo spostamento ottenuto sommando i valori assoluti dello spostamento netto finale e della controfreccia

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:

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

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:

Et 1

La tensione caratteristica per il materiale (ft,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 kh (cfr EC5 par. 3.2(3) e 3.3(3)).

Il fattore kh 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

$$k_h = \min \left\{ \left( \frac{600}{d} \right)^{0,2} ; 1.15 \right\}$$

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, fc,0,d.

sc = sc,0,d fc,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

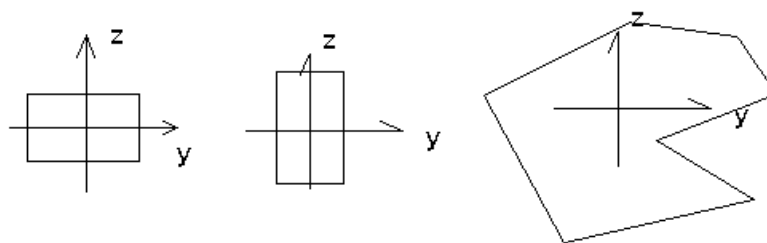
$$E_c \equiv \frac{\sigma_c}{f_{c,0,d}}$$

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

sc = sc,0,d fc,0,d

non avrebbe alcun senso nel caso in cui si assumesse che la tensione di calcolo fosse negativa.

### Flessione semplice o deviata



**Figura 4** 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 ( $f_m$ ) non è in generale eguale nelle due direzioni, ma può variare a causa del fatto che la tensione caratteristica di flessione dipende dal coefficiente  $k_h$  (cfr EC5 par. 3.2(3) e 3.3(3)).

Il fattore  $k_h$  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 disequazioni 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  $f_{mk}$  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.

Analogia 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  $E_s$  è la somma dei coefficienti di sfruttamento per trazione e per flessione:

$$E_s = E_t + E_m$$

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

$$E_s = (E_c)^2 + E_m$$

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  $E_s$ . 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

td  $f_{v,d}$

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  $WV$ , 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:

$$\tau_{yd} = \frac{V_{yd}}{W_{vy}}$$

$$\tau_{zd} = \frac{V_{zd}}{W_{vz}}$$

$$\tau_d = \sqrt{\tau_y^2 + \tau_z^2}$$

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:

$t_{tor,d}$  ksh  $f_{v,d}$

Dove

$t_{tor,d}$  è la tensione di progetto a torsione.

ksh 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:

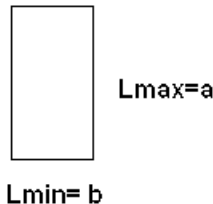


1,2

per sezioni circolari

1+0.15Lmin/Lmax

nel caso di sezioni rettangolari.

**Figura 5**

La tensione di progetto a torsione  $t_{tor,d}$  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:

$$\tau_{tor,d} = \frac{M_1}{W_1} = \frac{M_1}{J_t} b = \frac{M_1}{hb^3} b = \frac{M_1}{hb^2} \frac{1}{3\left(1 + \frac{0,6b}{h}\right)}$$

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:

$$E_T \equiv \frac{\tau_{tor,d}}{k_{zh} f_{v,d}} \leq 1$$

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:

$$E_\tau \equiv E_T + E_V^2 \leq 1$$

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 rettilineità 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 membrane 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:  $l$ ).

$$\lambda_y = \frac{\beta_y L}{\sqrt{\frac{J_y}{A}}}$$

$$\lambda_z = \frac{\beta_z L}{\sqrt{\frac{J_z}{A}}}$$

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 uguali 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:

$$k_y = 0,5 \left( 1 + \beta_c (\lambda_{rel,y}^2 - s) + \lambda_{y,rel}^2 \right)$$

$$k_z = 0,5 \left( 1 + \beta_c (\lambda_{rel,z}^2 - s) + \lambda_{z,rel}^2 \right)$$

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

## Svergolamento

In analogia a quanto visto per la instabilità euleriana, anche per lo svergolamento si definisce una snellezza relativa, normalizzando la tensione caratteristica a flessione  $f_{m,k}$  con la tensione associata allo svergolamento  $\sigma_{m,crit}$ . Risulta quindi per definizione

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

Mentre in generale sarà possibile definire una snellezza relativa in ciascuno dei due piani di flessione, ed esaminare separatamente ciò che avviene nell'uno e nell'altro piano di flessione, nel caso delle sezioni rettangolari tale generalizzazione potrebbe non essere necessaria in quanto lo svergolamento avviene sempre a causa di flessioni attorno all'asse forte. Nell'Eurocodice 5 si parla esplicitamente di flessione attorno all'asse forte, e si immagina che tale asse sia l'asse  $y$ . In generale noi dovremmo supporre che lo svergolamento possa avvenire secondo ciascuno dei due assi principali e cautelarci corrispondentemente.

La tensione critica  $\sigma_{m,crit}$  è ottenibile dal momento critico (il momento in corrispondenza al quale si ha svergolamento), mediante la prevedibile formula seguente

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{crit}}{W} = \frac{M_{y,crit}}{W_y}$$

Dove nell'ultima eguaglianza si è accettata l'ipotesi dell'Eurocodice 5, che l'asse attorno al quale effettuare la verifica sia l'asse y.

Il momento critico, a sua volta, è definito mediante la seguente formula generale in Eurocodice 5

$$M_{y,crit} = \frac{\pi \sqrt{E_{0,05} I_z G_{0,05} I_t}}{L_{ef}}$$

In questa formula compaiono:

$E_{0,05}$  ovvero il modulo elastico caratteristico in direzione delle fibre con frattile 5%.

$I_z$  ovvero il momento di inerzia *attorno all'asse debole*.

$G_{0,05}$  ovvero il modulo di elasticità tangenziale con frattile 5%, tale modulo può essere ottenuto moltiplicando  $G_{mean}$  per il rapporto ( $E_{005k}/E_{0,mean}$ )

$I_t$  ovvero il momento di inerzia torsionale

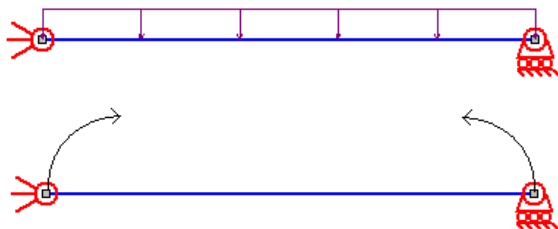
$L_{ef}$  ovvero la lunghezza efficace

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.

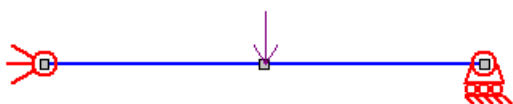
Schema

$L_{ef}$

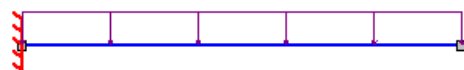


$L_{ef}=0.9L$

$L_{ef}=L$



Lef=0.8L



Lef=0.5L



Lef=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			

Cerniera-carrello	.95	.9	.85
Carico distribuito costante			
Cerniera-carrello	.8/ a	0.75/ a	.7/a
Carico concentrato a $=x/a=1.35-1.4(1-)$ L dal primo appoggio ( adimensionale)			
Mensola Momento costante Coppia all'estremo			
Mensola	.2	.2	.2
Carico uniformemente distribuito			
Mensola	.7	.7	.7
Carico concentrato all'estremo			
Cerniera-carrello	.4	.4	.35
Carico uniformemente distribuito			
Ritegno torsionale a metà			
Cerniera-carrello	.25	.25	.25
Carico concentrato Ritegno torsionale a metà			

**Tabella 2-18 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 calibrizioni, 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  $K_{crit}$  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 ininfluyente 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".

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

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. 2.4.1.3). 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.

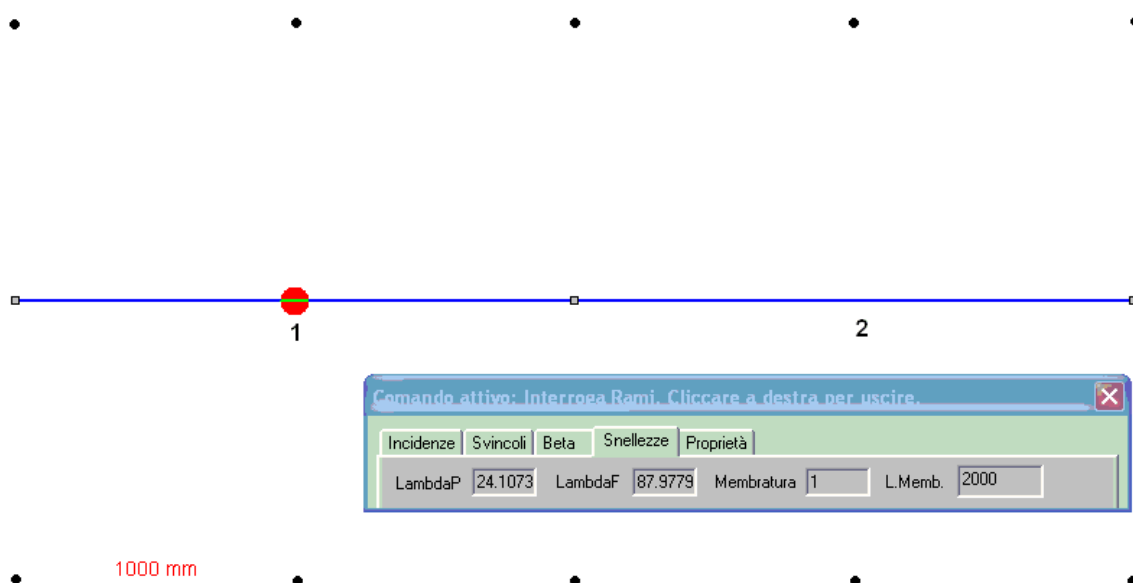
Oltre alla determinazione della classe di durata di ciascun caso di carico, è necessario scegliere la classe di servizio (ovvero la umidità dell'ambiente nel quale la struttura si troverà ad operare). Ciò si fa, come già chiarito, con il comando Post-Verifiche-Imposta.

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 mezzzeria, 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 51 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 52 Dialogo coefficienti di libera inflessione**

Ciò si fa definendo i tre coefficienti di libera inflessione seguenti:

- |                    |                                |
|--------------------|--------------------------------|
| $b_1 = \beta_{SV}$ | per lo svergolamento           |
| $b_2 = \beta_P$    | per lo sbandamento nel piano   |
| $b_3 = \beta_F$    | per lo sbandamento fuori piano |

Se il coefficiente  $b$  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	; shape name	this	shape 'Trapezio' equivalent to exemplum 3
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)
- H3 altezza del profilo per flessioni attorno all'asse 3 (flessioni fuori piano)
- Width larghezza del profilo
- Jt momento di inerzia torsionale
- J2 momento di inerzia per flessioni nel piano
- J3 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)
- fm0k                      tensione caratteristica di rottura per flessione
- ft0k                      tensione caratteristica di rottura per trazione
- ft90k                     tensione caratteristica di rottura per trazione a 90° rispetto alle fibre
- fc0k                      tensione caratteristica di rottura a compressione
- fc90k                    tensione caratteristica di rottura a compressione a 90° rispetto alle fibre
- fvk                        tensione caratteristica di rottura a taglio
- E0mean                    modulo di elasticità medio
- E005                     modulo di elasticità caratteristico frattile 5%
- E90mean                    modulo di elasticità a 90° medio
- Gmean                    modulo di elasticità tangenziale medio
- rk                         densità di peso caratteristica (da dare sempre in Kg/mc indipendentemente dalla unità di misura \_UNITS attiva).
- rm                         densità di peso media (da dare sempre in Kg/mc indipendentemente dalla unità di misura \_UNITS attiva).

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 53 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*

#### CESCOPLUS

CESCOPLUS produce due distinti tabulati. Uno è prodotto a prescindere dalle verifiche ed è in effetti in comune con CESCOPLUS. Questo tabulato ha estensione .txt e contiene informazioni sul modello e sul solving del modello, informazioni che prescindono però dalle verifiche. Per avere informazioni dettagliate su questo tabulato, che è molto esteso ed articolato, si rimanda alla guida in formato PDF ed all'help ipertestuale del programma.

Il secondo tipo di tabulato è creato dal programma solo se vengono eseguite le verifiche, è un file ASCII con estensione .CS1.wit e si può aprire con un qualsiasi editor di testo. A questo secondo tabulato si riferisce questo paragrafo.

Le successive esecuzioni delle verifiche accodano al file (se già esistente) il blocco delle nuove verifiche eseguite.

Nel file .CS1.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.

#### SARGON

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.

#####						
#						#
#						#
#	Eurocode5 and N.I.CO.LE standards Automatic Checker					#
#						#
#	Vers. 8.20 - Copyright (c) 1991-06 Castalia srl. Tutti i diritti riservati.					#
#						#
#####						
----- GENERAL DATA -----						
Structure service class : 3						
----- MATERIAL STIFFNESS DATA -----						
Num	Name	Class	E0mean	E90mean	E005	Gmean
1	woodC14	0	7.000E+03	2.300E+02	4.700E+03	4.400E+02
----- MATERIAL STRENGTH DATA -----						
Num	Name		fm0k	ft0k	ft90k	fc0k
fvk						fc90k
1	woodC14		1.400E+01	8.000E+00	4.000E-01	1.600E+01
1.700E+00						
----- 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	

Copyright Castalia s.r.l. 1995-2015 tutti i diritti riservati

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 54** 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 involuppo, 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  $gM$  ed il coefficiente  $K_{mod}$ , che, come è noto, dipende dalla combinazione.

## 2.24 Eseguire l'analisi modale

Da un punto vista operativo l'analisi modale viene lanciata con il comando [Calcola Modi!](#)<sup>[268]</sup>. A differenza della analisi statica (con il solutore standard), 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 ([Deformata](#)<sup>[270]</sup>) sia in termini di massa partecipante ([Riepilogo](#)<sup>[270]</sup>).

### COME AGGIUNGERE MASSE AL MODELLO

Dalla versione 3.00 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.

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>[235]</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 due masse sono eguali nelle due 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 tre, le due traslazionali più la 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>[237]</sup>.

Oltre ad aggiungere masse secondo valori specificati numericamente, è possibile aggiungere masse secondo i carichi già applicati con il comando [Caso](#)<sup>[236]</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>[269]</sup>. Se si fa così la massa degli elementi nel file di input per l'analisi modale (.din) viene posta eguale a 0.

## 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:

- 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:

$$TOL = (i+1 - i) / i$$

- 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 [Deformata](#)<sup>[270]</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 [Riepilogo](#)<sup>[270]</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.

## 2.25 Eseguire l'analisi a spettro di risposta

Da un punto vista operativo l'analisi a spettro di risposta viene lanciata con il comando [Esegui Analisi!](#) . Perchè l'analisi a spettro di risposta possa essere eseguita è necessario 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 X ed ha una intensità pari a 1.5 volte quella prevista dallo spettro, occorrerà dare ad un nodo una forza (1.5, 0) in Newton.

Prima di eseguire l'analisi a spettro di risposta è necessario, per ognuna delle tre direzioni del sisma, fissare lo spettro di risposta. Lo spettro può essere definito per mezzo delle norme italiane, dell'EC8, dell'Ordinanza 3274/2003 PCM, oppure per punti (file SPETTROX.PTS, SPETTROY.PTS, della cartella di installazione).

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, Cesco Plus 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)**, che 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  $F_x = 1 \text{ N}$ ,  $F_y = 0$ . 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.

### 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).

### 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).

Per eseguire un'analisi a spettro di risposta è necessario che sia stata preventivamente eseguita un'analisi statica ed un'analisi modale.

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 finché 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 due possibili direzioni principali, X, Y è necessario stabilire lo spettro di risposta. Lo spettro può essere quello previsto dal DM 24-1-1986, quello previsto dall'Eurocodice 8, quello della Ordinanza 3274 del 20-3-2003 o uno spettro definito dall'utente.

Nel caso in cui si debba fornire lo spettro secondo il DM occorre fornire il grado di sismicità S (max = 12), il coefficiente di protezione sismica I, il coefficiente di fondazione e ed il coefficiente di struttura b.

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.

Nel caso in cui si debba fornire lo spettro secondo l'EC8 occorre fornire 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.


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. 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 ed un moltiplicatore. Di solito il moltiplicatore è l'accelerazione del suolo in unità g, per esempio 0.04, mentre le ordinate sono numeri minori od eguali ad 1). **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

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](#) ).

Il numero "cluster" 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).

Se si esegue il metodo NRC Guide senza alcuna modifica le sollecitazioni che si ottengono **non sono in equilibrio**. Per ottenere questo risultato i numeri  $n$ ,  $m2$  devono essere nulli. Ciò vuol dire che non verrà applicata alcuna correzione al metodo.

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.

Il numero " $mt$ " non è usato.

Il numero " $m2$ " ha una doppia funzione. Se è diverso da zero i tagli  $T$  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  $T$  saranno ricalcolati. La scelta sulla distribuzione influenza il calcolo del momento equivalente a stabilità. Pertanto deve essere compiuta con cura.

Il numero " $m3$ " non è usato.

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 ( $n$ ,  $mt$ ,  $m2$ ,  $m3$ ) 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. 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  $1/\sqrt{P}$ .

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. **A differenza di quel metodo, 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.

# Parte

---





## 3 Comandi

### 3.1 File

#### 3.1.1 Nuovo



Con questo comando si comincia una nuova struttura. Se è presente una struttura che è stata modificata, viene chiesto se la si vuole salvare o meno.

#### 3.1.2 Apri

Consente di aprire un file memorizzato su disco rigido o dischetto (anche in rete, se presente).

#### 3.1.3 Salva



Consente di salvare su disco il lavoro svolto.

#### 3.1.4 Salva in

Consente di salvare la struttura in esame con un nome diverso da quello attuale. Il modello originario non verrà modificato.

#### 3.1.5 Salva configurazione

Questo comando consente di salvare le impostazioni correnti, in modo che in una successiva sessione di lavoro queste possano essere ritrovate. Le impostazioni sono salvate nel file “cesco.sts” nella cartella di installazione. E’ sufficiente sostituire il file per sostituire le impostazioni. Se ad esempio si vogliono memorizzare due diverse impostazioni, sarà sufficiente salvare ciascun file “cesco.sts” con un nome diverso, eppoi copiare il file nuovamente con il nome “cesco.sts”. Naturalmente le impostazioni possono essere cambiate in ogni momento usando i comandi del caso. Se però queste non vengono salvate usando questo comando, esse verranno perse, ed ad una successiva apertura di CESCO verranno impiegate le impostazioni contenute nel file “cesco.sts”.

Le impostazioni salvate nel file “cesco.sts” mediante questo comando non sovrascrivono le scelte salvate in una certa struttura. Esse si riferiscono, invece, a quanto il programma propone per i *nuovi* file.

#### 3.1.6 Stampa

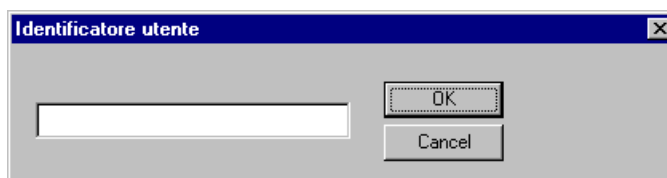


Questo comando serve a mandare in stampa quanto si vede a schermo. Nelle stampe vengono aggiunte informazioni come la data e l'ora, il copyright, legende per facilitare la lettura, il nome dell'utente, ecc.

### 3.1.7 Utente

Questo comando consente di specificare il nome dell'utente e/o una sigla identificativa. Nelle stampe viene sempre riportato il nome dell'utente. Il nome dell'utente può essere salvato con la configurazione ([Salva Configurazione](#)<sup>[161]</sup>), così da non doverlo ripetere ogni volta.

#### 3.1.7.1 DialogoIdentificatoreutente



Questo dialogo serve a fornire l'identificatore dell'utente. L'identificatore qui fornito comparirà nelle stampe.

### 3.1.8 Anteprima di stampa

Questo comando consente di vedere in anteprima ciò che verrà stampato.

### 3.1.9 Titolo di stampa

Con questo comando si sceglie un titolo che verrà poi inserito nelle stampe successive. Per cambiare il titolo rieseguire il comando. Per eliminare il titolo inserire una stringa vuota.

### 3.1.10 Setup stampante

Questo comando consente di impostare il funzionamento della stampante, nonché di scegliere quale stampante si voglia.

### 3.1.11 Fotografa



Questo comando comporta il trasferimento agli appunti del contenuto della finestra attiva. Da qualsiasi applicazione che gestisce bitmap (Word, Write, Excel, Paint, ecc.) sarà possibile incollare l'immagine così memorizzata.

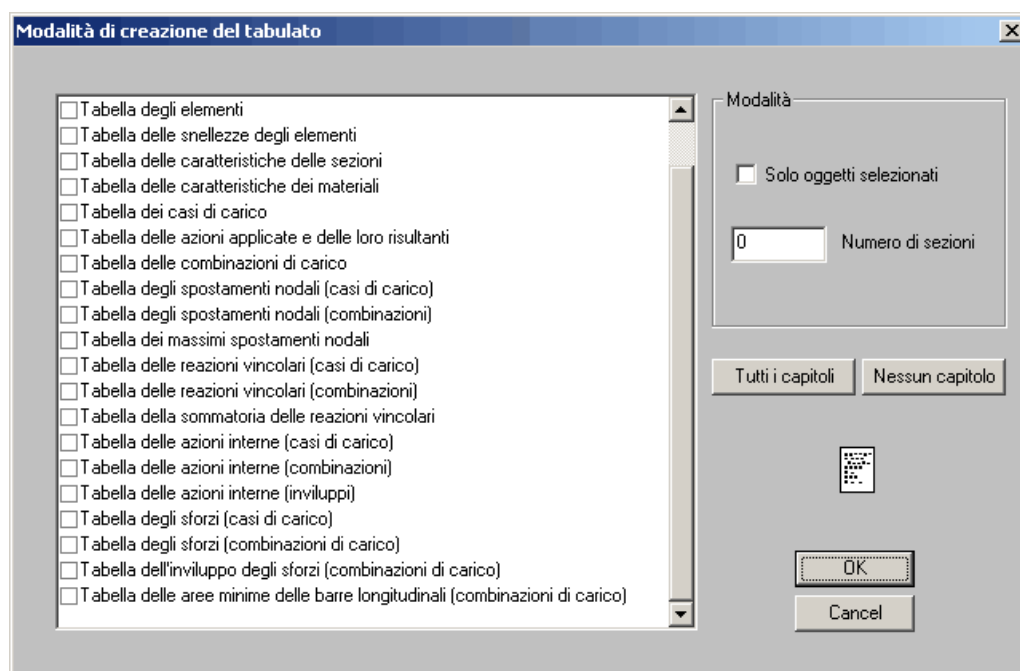
### 3.1.12 Crea listato



Questo comando serve a creare un file ASCII contenente il tabulato di uscita del programma. Il tabulato è diviso in capitoli che possono essere inclusi o meno.

Appena il comando viene eseguito si apre un opportuno [dialogo](#)<sup>163</sup> che consente di specificare le proprie preferenze.

#### 3.1.12.1 Dialogo Modalità di creazione del tabulato



Con questo dialogo si scelgono le proprie preferenze per la creazione del tabulato, sia chiarendo quali capitoli si voglia includere e quali no, sia chiarendo se le informazioni devono essere elencate per tutti gli oggetti o solo per gli oggetti attualmente selezionati.

Il campo “Numero di sezioni” serve a chiarire in quanti diversi punti equispaziati gli elementi saranno scanditi al fine di calcolare i valori delle azioni interne e tutti i dati derivati (involuppi, sforzi normali, tangenziali, Von Mises, ecc.). Un numero elevato aumenta la corposità dell’output e la precisione con la quale i diagrammi vengono restituiti.

Il campo “solo oggetti selezionati” serve a stabilire se la stampa verrà fatta relativamente ai soli oggetti (nodi e rami) presentemente selezionati.

Il bottone “Tutti i capitoli” serve a marcare tutti i capitoli come da aggiungere. Il bottone “Nessun Capitolo” serve ad escludere tutti i capitoli dalla stampa.

Nel riquadro a sinistra sono elencati tutti i possibili capitoli, che vengono qui riepilogati:

1. Legenda
2. Tabella dei nodi
3. Tabella degli elementi
4. Tabella delle snellezze degli elementi
5. Tabella delle caratteristiche delle sezioni
6. Tabella delle caratteristiche dei materiali
7. Tabella dei casi di carico
8. Tabella delle azioni applicate e delle loro risultanti
9. Tabella delle combinazioni di carico
10. Tabella degli spostamenti nodali (casi di carico)
11. Tabella degli spostamenti nodali (combinazioni)
12. Tabella dei massimi spostamenti nodali
13. Tabella delle reazioni vincolari (casi di carico)
14. Tabella delle reazioni vincolari (combinazioni)
15. Tabella della sommatoria delle reazioni vincolari
16. Tabella delle azioni interne (casi di carico)
17. Tabella delle azioni interne (combinazioni)
18. Tabella delle azioni interne (involuppi)
19. Tabella degli sforzi (casi di carico)
20. Tabella degli sforzi (combinazioni)
21. Tabella degli sforzi (involuppi sulle combinazioni)
22. Tabella delle aree minime delle barre longitudinali (solo combinazioni).

### 3.1.13 Esci

Questo comando serve ad uscire da CESCO.

### 3.1.14 Modalità

#### 3.1.14.1 Predimensionamento

Fa passare alla modalità di funzionamento "Predimensionamento". Questa scelta comporta un particolare funzionamento del programma.

[Modalità di funzionamento](#)<sup>[332]</sup>

### 3.1.14.2 Equilibrio

Fa passare alla modalità di funzionamento “Equilibrio”. Questa scelta comporta un particolare funzionamento del programma.

[Modalità di funzionamento](#)<sup>[332]</sup>

### 3.1.14.3 Congruenza

Fa passare alla modalità di funzionamento “Congruenza”. Questa scelta comporta un particolare funzionamento del programma.

[Modalità di funzionamento](#)<sup>[332]</sup>

### 3.1.14.4 Analisi

Fa passare alla modalità di funzionamento “Analisi”. Questa scelta comporta un particolare funzionamento del programma. Cescio PLUS funziona in questa unica possibile modalità.

[Modalità di funzionamento](#)<sup>[332]</sup>

## 3.2 Mostra

### 3.2.1 Barra strumenti

Questo comando fa apparire o scomparire la barra di comandi principale.

[Barre di comandi](#)<sup>[310]</sup>

### 3.2.2 Barra di stato

Questo comando fa apparire o scomparire la barra di stato..

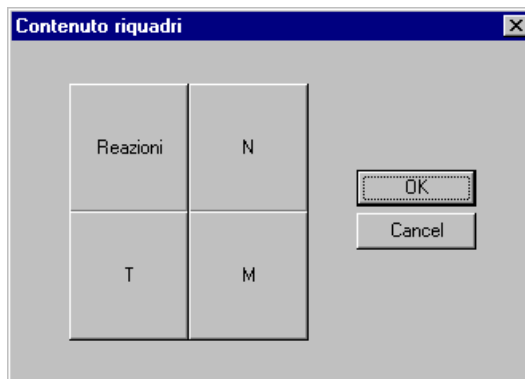
### 3.2.3 Quattro riquadri

Questo comando attiva o disattiva la modalità a quattro riquadri. Nella modalità a quattro riquadri la struttura viene mostrata quattro volte, con quattro differenti contenuti, vale a dire facendo vedere cose diverse (i diagrammi di N, M, o T, la spostata, le reazioni vincolari, l'ingombro, ecc.). Questa modalità è utile per riassumere brevemente i risultati di una struttura, tipicamente, ad esempio, per dare i risultati di un tema di esame.

Prima di stampare in questa modalità di consiglia di usare in comando includi ([Includi](#)<sup>[178]</sup>) e poi, se

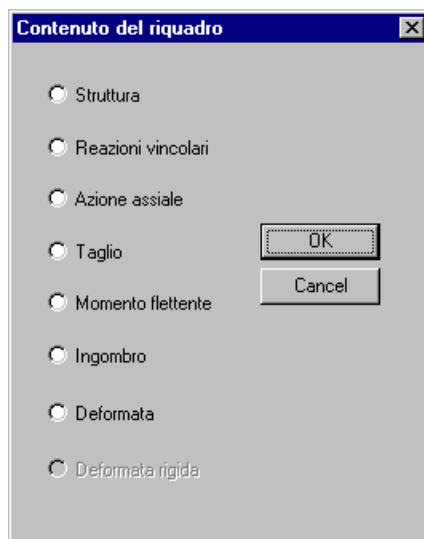
necessario, le barre di scorrimento e o lo zoom in modo da ottimizzare la stampa.

### 3.2.3.1 DialogoContenutoriquadri



Questo dialogo mostra quattro bottoni, ciascuno dei quali rappresenta un riquadro. In ogni bottone è presente una scritta che indica cosa conterrà il riquadro corrispondente. Se si vuole cambiare il contenuto di un riquadro, è sufficiente premere il bottone corrispondente, ciò porterà al dialogo [Contenuto del riquadro](#)<sup>[166]</sup>.

### 3.2.3.2 DialogoContenutodeiriquadri



Questo dialogo consente di specificare quale sarà il contenuto di un riquadro. I contenuti possibili sono chiaramente elencati nel dialogo. Se un campo è inaccessibile vuol dire che non ha senso, in quel momento, per quella struttura.

### 3.2.4 Imposta quadri

Questo comando serve a decidere cosa dovrà far vedere ciascun riquadro tra i quattro possibili. All'apertura del comando compare un primo [dialogo](#)<sup>[166]</sup> che mostra quattro bottoni, uno per ogni riquadro. Se si vogliono cambiare le impostazioni di un riquadro si preme il bottone corrispondente accedendo ad un secondo [dialogo](#)<sup>[166]</sup> che consente di fare la scelta.

### 3.2.5 Barra Interroga



Questo comando mostra o nasconde la barra che contiene i bottoni relativi ai comandi di interrogazione.

[Barre di comandi](#)<sup>[310]</sup>

### 3.2.6 Barra mesh



Questo comando mostra o nasconde la barra che contiene i bottoni relativi ai comandi di mesh.

[Barre di comandi](#)<sup>[310]</sup>

### 3.2.7 Barra delle forze



Questo comando mostra o nasconde la barra delle forze. Avere visibile la barra delle forze consente di applicare le forze (ma anche i carichi distribuiti, i cedimenti e i carichi termici) con molta maggiore facilità.

[Barre di comandi](#)<sup>[310]</sup>

### 3.2.8 Barra dei vincoli

Questo comando mostra o nasconde la barra dei vincoli. Avere visibile la barra dei vincoli consente di applicare i vincoli esterni con molta maggiore facilità.

[Barre di comandi](#)<sup>[310]</sup>

### 3.2.9 Barra degli svincoli



Questo comando mostra o nasconde la barra degli svincoli. Avere visibile la barra degli svincoli consente di applicare gli svincoli con molta maggiore facilità.

[Barre di comandi](#)<sup>[310]</sup>

### 3.2.10 Barra dei casi e delle combinazioni



Questo comando mostra o nasconde la barra che contiene i bottoni relativi ai comandi sui casi e le combinazioni.

[Barre di comandi](#)<sup>[310]</sup>

### 3.2.11 Post processing

#### MOSTRA-BARRA POST (CESCO PLUS)



Questo comando mostra o nasconde la barra che contiene i bottoni relativi ai comandi di post-processing.

[Barre di comandi](#)<sup>[310]</sup>

### 3.2.12 Barra c.a.



Questo comando mostra o nasconde la barra che contiene i bottoni relativi ai comandi relativi al cemento armato.

[Barre di comandi](#)<sup>[310]</sup>



### 3.2.13 Barra plv



Questo comando mostra o nasconde la barra plv. Avere visibile la barra plv consente di usare i comandi relativi al plv con molta maggiore facilità.

[Barre di comandi](#)<sup>[310]</sup>

[PLV](#)<sup>[337]</sup>

### 3.2.14 Nessuna barra



Questo comando toglie dallo schermo tutte le barre tematiche, ed è utile quando serva maggiore spazio di schermo e quando nessuno dei temi propri delle barre sia attuale, non si stiano applicando azioni, né vincoli o svincoli, né si stia usando il [plv](#)<sup>[337]</sup>.

[Barre di comandi](#)<sup>[310]</sup>

### 3.2.15 Griglia

Questo comando serve a specificare come la griglia debba essere visualizzata, che passo e che ruolo essa debba avere. Alla esecuzione del comando compare un [dialogo](#)<sup>[170]</sup> che consente di fare tutte le scelte in questione.

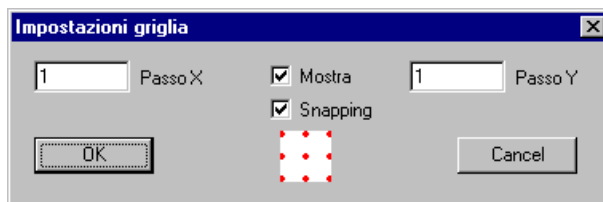
La griglia può essere visualizzata o meno. Può avere il passo che si vuole in entrambe le direzioni. Si può fare in modo che il cursore vada sempre a finire su un punto della griglia (snapping) oppure che questo sia libero di muoversi nel piano.

Avere lo snapping attivo è utile quando la struttura “sta” su una griglia di passo noto. Nella stragrande maggioranza dei casi, conviene avere lo snapping attivo, la griglia visibile ed un passo intermedio (né troppo piccolo, per non invadere lo schermo di puntini rossi, né troppo grande, per non doversi trovare a corto di punti).

Nel corso della definizione dello schema può essere utile infittire temporaneamente il passo della griglia, per poi tornare ad un passo più ampio.

[Come fare a descrivere la struttura](#)<sup>[44]</sup>

### 3.2.15.1 DialogoImpostazionigriglia



Questo dialogo consente di impostare il funzionamento della griglia. I flag Mostra e Snapping, servono a fare in modo che la griglia si veda o meno, e a fare in modo che lo snapping sia attivo, o meno. Gli altri due campi consentono di determinare il passo della griglia nelle due direzioni. Il passo è definito nella unità di misura attiva. Se si è in [modalità](#)<sup>[332]</sup> Scienza o Statica, il passo è definito in unità L.

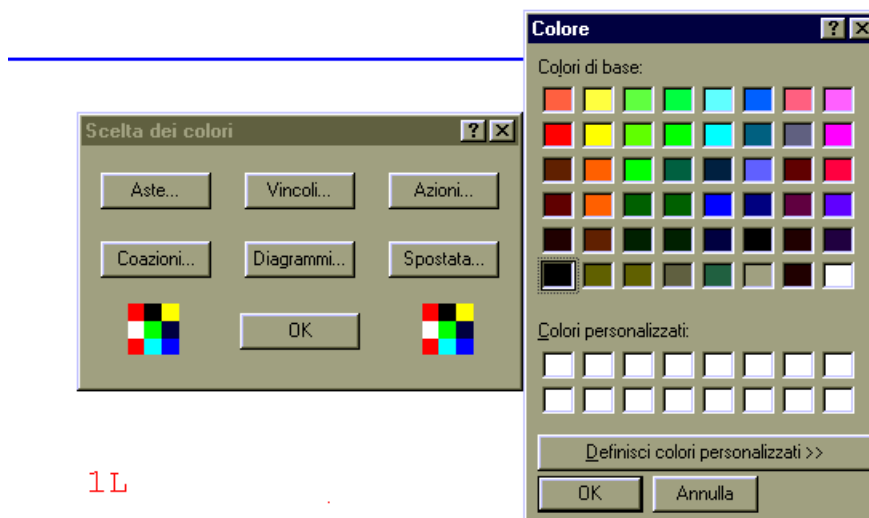
### 3.2.16 Colori

Questo comando consente di cambiare i colori usati dal programma per rappresentare varie entità.

Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[170]</sup> che consente di fare le scelte desiderate.

Le scelte fatte possono essere diverse a seconda che si voglia ottimizzare il comportamento a schermo o quello delle stampe.

#### 3.2.16.1 DialogoSceltadeicolori



Con questo dialogo (a sinistra nella figura) si decide qual è l'oggetto del quale si vuole cambiare il colore. L'oggetto si sceglie premendo il bottone corrispondente. Alla pressione del tasto compare il dialogo di destra che consente di scegliere il colore vero e proprio.

### 3.2.17 Dimensioni

Questo comando consente di cambiare la dimensione dei simboli usati dal programma per rappresentare varie entità. Dipendentemente dalla scheda grafica, dal monitor, e dai propri personali gusti, ciascuno può scegliere le impostazioni che preferisce e salvarle, una volta per tutte, con il comando [Salva Configurazione](#)<sup>[161]</sup>.

Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[171]</sup> che consente di scegliere le dimensioni volute.

Le scelte fatte possono essere diverse a seconda che si voglia ottimizzare il comportamento a schermo o quello delle stampe.

#### 3.2.17.1 Dialogo Dimensione dei simboli



Questo dialogo consente di specificare la dimensione dei simboli. Conviene fare qualche prova per trovare le impostazioni migliori per il proprio schermo, e poi salvare le scelte con [Salva Configurazione](#)<sup>[161]</sup>.

La “dimensione dello zoom iniziale” serve a stabilire quanto grande debba essere l’area reale mostrata sullo schermo. E’ una impostazione che può essere salvata nel file di configurazione. Si consiglia di fare qualche prova (usare il comando Nuovo del menu file dopo aver modificato le impostazioni).

### 3.2.18 Font

Questo comando consente di cambiare la dimensione il colore ed il tipo di font usati dal programma per stampare scritte e numeri. Dipendentemente dalla scheda grafica, dal monitor, e dai propri personali gusti, ciascuno può scegliere le impostazioni che preferisce e salvarle, una volta per tutte, con il comando [Salva Configurazione](#)<sup>[161]</sup>.

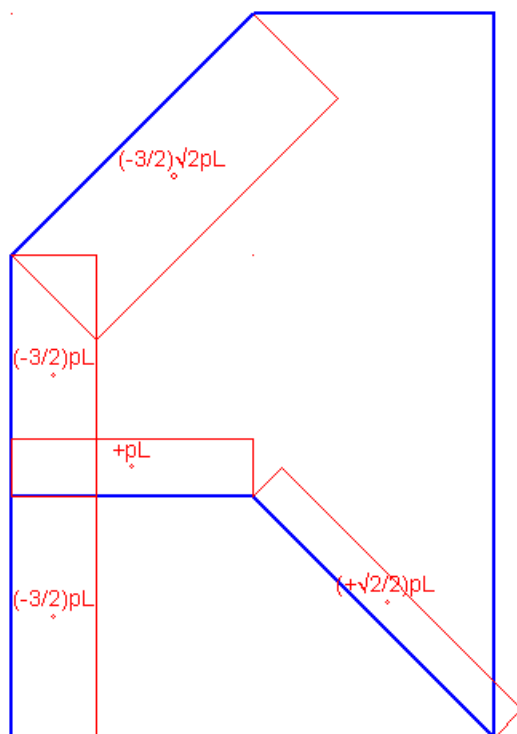
Le scelte fatte possono essere diverse a seconda che si voglia ottimizzare il comportamento a

schermo o quello delle stampe.

### 3.2.19 Formato

Questo comando consente di cambiare il modo con cui vengono stampati i numeri. Molte volte può essere conveniente avere numeri con un formato ridotto anche al fine di evitare numeri “impastati”. Il comando influenza il modo in cui vengono resi i valori dei diagrammi delle azioni interne, le reazioni vincolari e le reazioni vincolari. Influenza anche il formato del modulo delle forze e delle coppie.

Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>173</sup> che consente di scegliere il formato voluto.

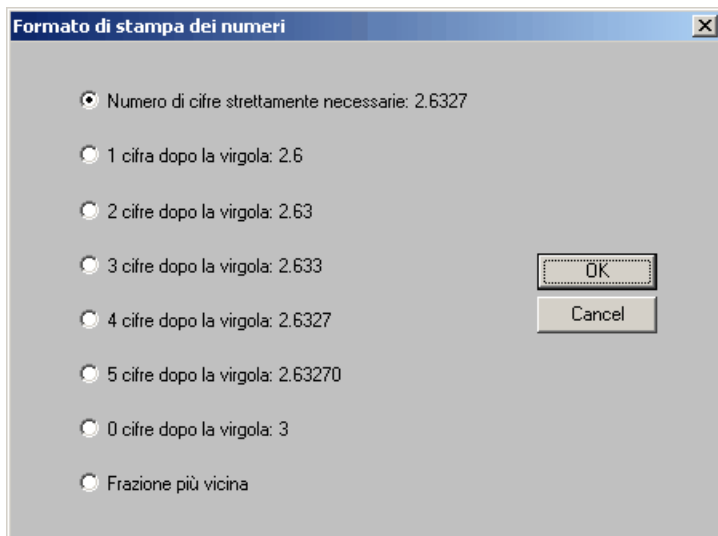


Tra i formati disponibili vi è anche quello frazionario. Va tenuto presente che in questa modalità il programma cerca di esprimere il numero dato come numero nella forma  $(m/n)B$ , dove  $m$  ed  $n$  sono degli interi e  $B$  è una base che può essere 1, 2, 3, 5.

Sebbene il numero stampato sia in generale un'approssimazione, molte volte il numero è invece la esatta rappresentazione aritmetica del risultato, in un formato, oltre tutto, particolarmente compatto (si pensi ad esempio  $2/2=0.707106\dots$ ). Questo tipo di modalità di stampa è particolarmente adatta nelle modalità Equilibrio e Congruenza, quando si privilegiano i calcoli in forma chiusa su esercizi convenzionali, per i quali sono da attendersi risultati aventi questa forma (in questo caso le unità di misura saranno convenzionali,  $p$ ,  $L$ ). Negli altri casi, ed in presenza di numeri grandi ottenibili ad esempio con le unità di forza più minute (ad esempio i N), questo tipo di formato può essere anche

molto scomodo: si consiglia di usare un numero di cifre dopo la virgola coerente con le reali necessità.

### 3.2.19.1 DialogoFormatodistampadeinumeri



Questo dialogo influenza il modo in cui vengono stampati i risultati sui diagrammi delle azioni interne e sulle reazioni vincolari. Influenza inoltre anche il modo in cui vengono stampati i moduli delle azioni applicate (forze e coppie). Questa impostazione può essere salvata nel file di configurazione.

### 3.2.20 Numerazione nodi

Questo comando consente di far vedere o meno la numerazione dei nodi.

### 3.2.21 Numerazione rami

Questo comando consente di far vedere o meno la numerazione dei rami (vale a dire, degli elementi finiti di tipo beam).

### 3.2.22 Numerazione membrature

Questo comando consente di far vedere o meno la numerazione degli elementi strutturali. Gli elementi strutturali, o membrature, sono riunioni di rami allineati e contigui che hanno in comune sezione e materiale.

[Come fare a descrivere la struttura](#)<sup>[44]</sup>

[Membratura](#)<sup>[33]</sup>

### 3.2.24 Ingombro elementi strutturali



Questo comando fa vedere l'aspetto in scala degli [elementi strutturali](#)<sup>[331]</sup>, così da dare una idea dell'aspetto reale (e dunque anche della fattibilità) di una struttura.

All'interno dell'elemento viene inoltre stampata una sigla che dice che sezione abbia e di quale materiale sia fatta una membratura. Se la sezione è una tipologia viene accodato il suffisso "TIP".

[Ingombro](#)<sup>[325]</sup>

[Sezione](#)<sup>[342]</sup>

[Tipologia](#)<sup>[346]</sup>

[Membratura](#)<sup>[331]</sup>

### 3.2.25 Masse

Questo comando consente di far vedere o meno dei pallini colorati in corrispondenza ai nodi che hanno una massa. Se un generico nodo non ha massa, il pallino colorato non verrà mostrato.

[Come fare l'analisi modale](#)<sup>[151]</sup>

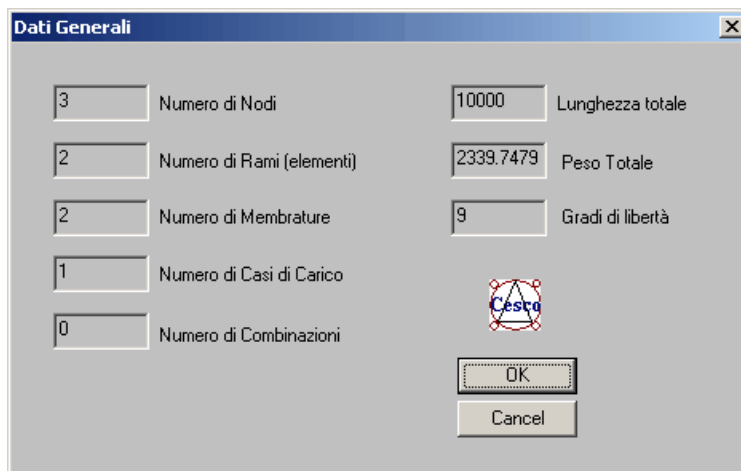
## 3.3 Interroga

### 3.3.1 Dati generali



Questo comando dà accesso ad un [dialogo](#)<sup>[174]</sup> che riepiloga i dati salienti del modello in esame.

#### 3.3.1.1 DialogoInterroga-Generale



Il dialogo "Dati Generali" mostra i seguenti dati:

Valore	Descrizione	Valore	Descrizione
3	Numero di Nodi	10000	Lunghezza totale
2	Numero di Rami (elementi)	2339.7479	Peso Totale
2	Numero di Membrature	9	Gradi di libertà
1	Numero di Casi di Carico		
0	Numero di Combinazioni		

Nella parte inferiore del dialogo è presente il logo "Cescro" e i pulsanti "OK" e "Cancel".

Questo comando dà una serie di informazioni generali sul modello in esame.

### 3.3.2 Geometria



Questo comando è usato sia per conoscere la posizione dei vari nodi del modello, sia per chiedere la distanza tra punti diversi del modello.

Appena eseguito il comando si entra in una fase non modale in cui, muovendo il mouse, si ha un pallino rosso che indica il punto del modello (o della griglia) più vicino al cursore. Nella barra di stato, in basso a destra, si ha un aggiornamento automatico delle coordinate (nella unità di misura attiva) del punto indicato dal pallino rosso.

Non appena si preme il tasto sinistro del mouse il punto viene scelto e diviene la “base” da cui si parte per andare ad indagare un altro punto. Ora nella barra di stato vengono date le distanze dx e dy dal primo punto indicato.

Il secondo click del mouse riporta alla condizione iniziale, in cui si va a scegliere il primo punto.

Ripetendo la sequenza di fasi il numero desiderato di volte è possibile informarsi sia sulla posizione di un punto, sia sulla distanza tra due punti qualsiasi.

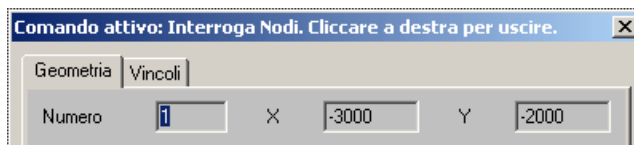
### 3.3.3 Nodi



Questo comando è impiegato per avere informazioni relative ai nodi. Non appena si esegue il comando si apre una finestra con due riquadri, uno relativo alle coordinate ([geometria](#)<sup>[175]</sup>), l'altro relativo ai vincoli ([vincoli](#)<sup>[176]</sup>). Grazie a questo comando è facile informarsi sui nodi.

Per uscire dal comando premere il tasto destro del mouse quando il mouse è al di fuori della finestrella.

#### 3.3.3.1 DialogoGeometria



Questo dialogo dà il numero del nodo e le sue coordinate nella unità attiva.

### 3.3.4 Rami



Questo comando è usato per avere informazioni relative ai rami. Appena eseguito il comando si apre una finestra composta da cinque sottofinestre:

Incidenze

[svincoli](#)<sup>[345]</sup>

[beta](#)<sup>[314]</sup>

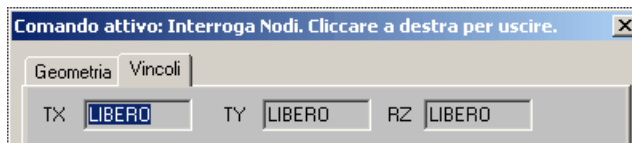
[snellezze](#)<sup>[344]</sup>

proprietà

Muovendo il mouse il pallino rosso indica il ramo più vicino, ed i dati all'interno della finestra e delle sue sotto-finestre vengono automaticamente aggiornati.

Per uscire basta premere il tasto destro del mouse.

#### 3.3.4.1 DialogoGeometria1



Questo dialogo dà i vincoli del nodo indicato dal pallino rosso.

#### 3.3.5 Oggetti selezionati



Questo comando è usato per avere informazioni sul numero ed il tipo degli oggetti correntemente selezionati. Non appena eseguito il comando compare un dialogo che riepiloga i dati in questione. Questo comando è utile perché consente di conoscere il peso o la lunghezza in profilati di parti della struttura. E' utile anche per eseguire controlli sul modello.

#### 3.3.6 Risultanti



Questo comando è molto importante. Serve a conoscere la risultante delle azioni applicate nel caso di carico corrente, sui soli oggetti correntemente selezionati. Perché il comando sia attivo devono essere selezionati degli oggetti (nodi o rami) e ci si deve trovare in uno dei casi di carico base (non in una combinazione).

Grazie a questo comando si possono eseguire importanti controlli di attendibilità sul modello (ho messo i carichi giusti ?).

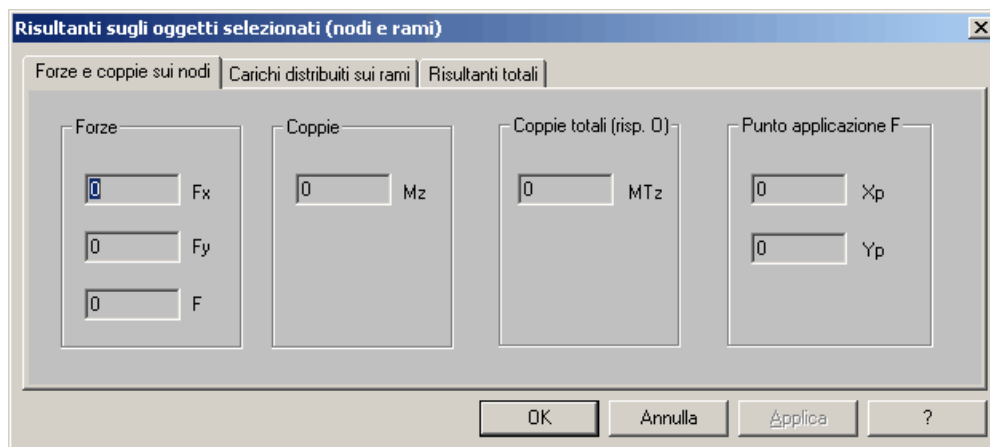
Appena il comando viene eseguito il programma somma tutte le forze e le coppie applicate sui nodi, e tutti i carichi distribuiti, in modo da fornire la risultante dei carichi applicati sui soli oggetti selezionati. Se si vuole conoscere la risultante complessiva, basta selezionare tutti i nodi e tutti i rami.

Alla esecuzione del comando si vede aprirsi un'opportuna [finestra](#)<sup>[177]</sup>, che dà le informazioni



desiderate (nella unità di misura attiva).

### 3.3.6.1 Dialogo Risultanti



Questo dialogo serve a listare le risultanti delle forze e coppie applicate sui nodi selezionati (e in questo caso ha il nome “Forze e coppie sui nodi”); le risultanti dei carichi distribuiti applicati ai rami selezionati (e in questo caso ha il nome “Carichi distribuiti sui rami”); le risultanti complessive sui nodi ed i rami selezionati (ed in questo caso ha il nome “Risultanti totali”).

Il dialogo dà il vettore risultante delle sole forze, il valore risultante delle sole coppie, il valore complessivo delle coppie rispetto all’origine (il valore cioè dovuto sia alle coppi che alle forze), il punto di applicazione del risultante.

### 3.3.7 Masse Nodi Selezionati

Questo comando è molto utile. Esso dà la somma delle masse applicate all’insieme dei nodi selezionati. Selezionando opportunamente insieme diversi di nodi, si può controllare che le masse siano state correttamente applicate.

Il comando fornisce le masse in unità di forza equivalenti, ovvero, se una certa massa è quella che ha un peso di tot daN (immaginando che l’unità di forza attiva sia il daN), il numero stampato sarà il numero di daN corrispondenti al peso della massa in questione: in altre parole CESCO PLUS non usa unità di massa, ma calcola da solo la “massa” partendo dal peso.

### 3.3.8 Azioni



Questo comando serve ad avere informazioni dettagliate sulle azioni applicate nel caso di carico corrente a singoli oggetti (nodi o rami).

Appena eseguito il comando si entra in una fase non modale in cui si può scegliere indifferentemente un nodo o un ramo del modello. Il programma listerà tutte le azioni applicate a quel nodo o a quel ramo, nella unità di misura attiva.

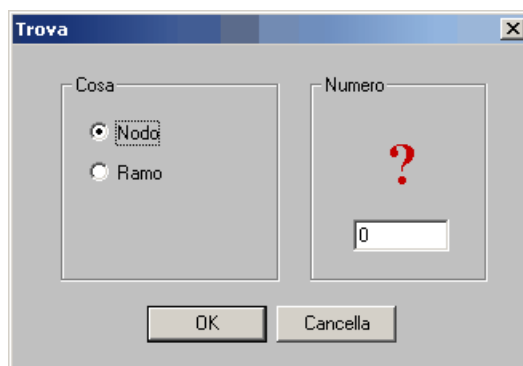
Per uscire dal comando occorre premere il tasto destro del mouse.

### 3.3.9 Trova



Questo comando serve a localizzare nel modello nodi o rami dei quali si conosca il numero. Appena eseguito il comando appare un opportuno [dialogo](#)<sup>[178]</sup> che chiede il tipo dell'oggetto che si vuole cercare ed il suo numero identificativo. Il programma selezionerà automaticamente il nodo o il ramo in questione, evidenziandolo.

#### 3.3.9.1 DialogoGeometria7



Questo dialogo consente di specificare il numero ed il tipo di un oggetto che si vuole individuare a schermo.

## 3.4 Disegna

### 3.4.1 Ridisegna



Questo comando comporta l'immediato refreshing dello schermo che viene ridisegnato. Può essere utile quando, nel corso di [comandi non modali](#)<sup>[31]</sup>, restano visibili due cerchi luminosi o nessuno.

### 3.4.2 Includi



Questo comando, molto utile, consente di includere l'intera struttura, in modo che stia nello schermo nel modo generalmente migliore.

### 3.4.3 Zoom in



Questo comando, non modale, consente di ingrandire una zona dello schermo. Appena eseguito il comando si preme una prima ed una seconda volta con il tasto sinistro del mouse, definendo una regione rettangolare, che è la regione da ingrandire a tutto schermo.

### 3.4.4 Zoom out



Questo comando, non modale, consente di rimpicciolire il disegno della struttura. Appena eseguito il comando si preme una prima ed una seconda volta con il tasto sinistro del mouse, definendo una regione rettangolare, che è la regione nella quale verrà fatta stare la finestra corrente.

## 3.5 Seleziona

### 3.5.1 Tutti



Questo comando comporta l'immediata selezione di tutti i nodi e di tutti i rami.

### 3.5.2 Nessuno



Questo comando comporta l'immediata deselectione di tutti i nodi e di tutti i rami.

### 3.5.3 Click



Questo comando consente di selezionare gli oggetti desiderati (nodi o rami) facendovi click con il mouse sopra. Appena eseguito il comando si entra in un ciclo infinito (fase non modale) che consente di selezionare quanti oggetti si vuole. Per terminare il comando occorre cliccare il tasto destro del mouse. Se nel corso del comando si vuole eseguire un altro comando (per esempio cambiare gli oggetti da selezionare, o fare uno zoom) ciò è possibile.

### 3.5.4 Box



Questo comando consente di selezionare gli oggetti che si trovano all'interno di un rettangolo specificato dall'utente. Appena eseguito il comando, il programma si aspetta due click del mouse, che definiscono due spigoli opposti del rettangolo di selezione. Per interrompere il comando cliccare il tasto

destro del mouse.

### 3.5.5 Nodi



Questo comando consente di scegliere che si andranno a selezionare nodi con il comando di selezione con click o con box.

### 3.5.6 Rami



Questo comando consente di scegliere che si andranno a selezionare rami con il comando di selezione con click o con box.

## 3.6 Strutture

### 3.6.1 Travi reticolari a briglie parallele

Questo comando consente di generare rapidamente una trave reticolare a briglie parallele, completa di carichi e di vincoli.

### 3.6.2 Multipiano

Questo comando consente di generare rapidamente un telaio multipiano completo di carichi e di vincoli.

## 3.7 Edit

### 3.7.1 Annulla



Questo comando consente di annullare l'ultimo comando eseguito. Sono previsti fino a 20 livelli di annulla.

### 3.7.2 Rifà



Questo comando comporta la riesecuzione dell'ultimo comando annullato.

### 3.7.3 Applica Materiale

Questo dialogo consente di applicare un desiderato materiale alle [membrature](#)<sup>[33]</sup>.

Appena eseguito il comando, il programma chiede se si vuole scorrere l'archivio dei materiali o se si vuole descrivere un nuovo materiale dandone le caratteristiche. Se si sceglie di scorrere l'archivio si potrà scegliere tra una lista di materiali disponibili. Se invece si sceglie di descrivere il materiale non in archivio, compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[188]</sup>.

Una volta scelto il materiale, o perché estratto dalla lista (comando Apply), o perché se ne sono date le caratteristiche numeriche in modo esplicito, il programma chiede se si vuole applicare il materiale a tutte le membrature oppure no. Se si dice di Sì, tutte le membrature avranno il materiale specificato, se si dice di no allora il comando diviene non modale, e si può cliccare una per una sulle membrature che interessano. Per uscire dal comando premere il tasto destro del mouse o il tasto ESC.

[solo CESCO PLUS].

Una volta scelto il materiale, o perché estratto dalla lista (comando Apply), o perché se ne sono date le caratteristiche numeriche in modo esplicito, il programma controlla se vi sono elementi selezionati, e, se ci sono, chiede se si vuole applicare il materiale a tutte le membrature selezionate oppure no. Se si dice di Sì, tutte le membrature selezionate avranno il materiale specificato, se si dice di no – oppure se non c'erano elementi selezionati- allora il comando diviene non modale, e si può cliccare una per una sulle membrature che interessano. Una membratura è selezionata quando almeno uno dei suoi rami è selezionato. Per uscire dal comando premere il tasto destro del mouse o il tasto ESC.

[Generalità sui comandi](#)<sup>[31]</sup>

### 3.7.4 Applica Sezione

Questo comando serve ad assegnare alle membrature una [sezione](#)<sup>[342]</sup>. Appena eseguito il comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[183]</sup> che consente di scegliere tra due possibilità.

**La prima possibilità** consiste nello scegliere la categoria di sezione che si vuole assegnare tramite uno dei pulsanti immagine. Ciò fatto compare un dialogo che dipende dal tipo di sezione, il quale consente di fornire le quote della sezione nella unità attiva.

Qui di seguito la lista dei possibili dialoghi:

Sezioni laminate

Sezioni saldate

Sezioni saldate a cassone

Tubi e tondi

Sezioni saldate

Sezioni rettangolari o piatti

Sezioni saldate

Sezioni generiche

**La seconda possibilità** consiste nello scegliere la sezione tra quelle disponibili in archivio con il pulsante privo di immagine. Nella presente versione di CESCO base sono disponibili in archivio le sezioni di tipo HEA, HEB, HEM, IPE. In CESCO PLUS, invece, sono disponibili tutti i tipi sezionali e l'archivio completo. Se si preme il pulsante privo di immagine si apre un [dialogo opportuno](#)<sup>[184]</sup> che consente di scegliere i criteri (filtri) con i quali estrarre una parte delle sezioni.

Una volta definita la sezione, in uno dei due modi possibili, il programma chiede se si vuole attribuire la sezione descritta a tutte le membrature oppure no. Se si dice di Sì, tutte le membrature avranno la sezione specificata, se si dice di no allora il comando diviene non modale, e si può cliccare una per una sulle membrature che interessano. Per uscire dal comando premere il tasto destro del mouse o il tasto ESC.

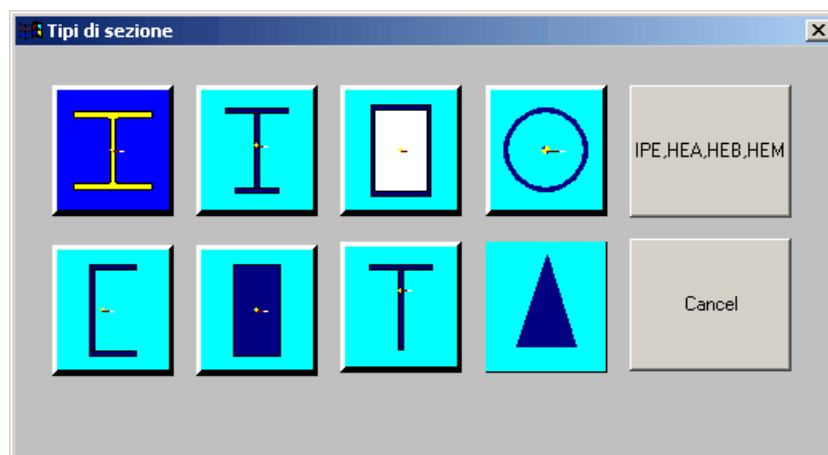
[solo CESCO PLUS].

Una volta scelta la sezione, o perché estratta dalla lista (comando Apply), o perché se ne sono date le caratteristiche numeriche in modo esplicito, il programma controlla se vi sono elementi selezionati, e, se ci sono, chiede se si vuole applicare la sezione a tutte le membrature selezionate oppure no. Se si dice di Sì, tutte le membrature selezionate avranno la sezione specificata, se si dice di no – oppure se non c'erano elementi selezionati- allora il comando diviene non modale, e si può cliccare una per una sulle membrature che interessano. Una membratura è selezionata quando almeno uno dei suoi rami è selezionato. Per uscire dal comando premere il tasto destro del mouse o il tasto ESC.

Per quanto riguarda l'orientazione dei profili essa può assumere i seguenti quattro valori: 0, 90, 180, 270 (cfr. [come assegnare le sezioni](#)<sup>[41]</sup>). Se il profilo è stato scelto dall'archivio sarà possibile specificare la sua orientazione dando l'angolo nello stesso [dialogo](#)<sup>[187]</sup> che serve a scegliere il profilo tra quelli estratti (l'angolo deve valere 0, 90, 180 o 270, questi sono gli unici angoli ammissibili). Se invece il profilo è stato scelto dandone espressamente le quote identificative, allora, dopo aver fornito le quote, si apre un dialogo che chiede l'orientazione, la scelta della quale viene fatta premendo il bottone che interessa.

[Generalità sui comandi](#)<sup>[31]</sup>

### 3.7.4.1 DialogoTipidisezione



Questo dialogo consente di scegliere la sezione da attribuire. La sezione può essere una sezione standard (IPE, HEA, HEB, HEM) ed in tale caso occorre premere il pulsante corrispondente, privo di immagine; oppure può essere una sezione particolare, della quale occorre scegliere il tipo cliccando sul corrispondente bottone immagine. Ciò porterà direttamente ad uno dei seguenti possibili dialoghi, nei quali occorre fornire le quote ed il nome:

Sezioni laminate ad H

Sezioni saldate ad H

Sezioni saldate a cassone

Tubi e tondi

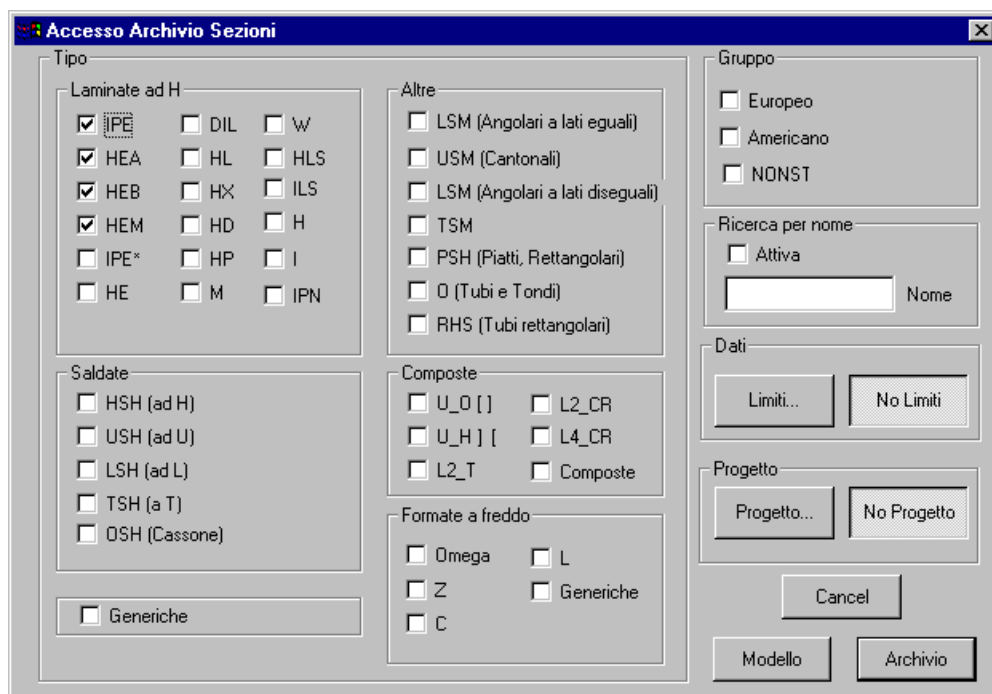
Sezioni saldate ad U

Sezioni rettangolari o piatti

Sezioni saldate a T

Sezioni generiche

## 3.7.4.2 Dialogo Accesso archivio sezioni



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**.

Lamine 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 uguali o diseguali (LSM) le sezioni a T (TSM) 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 W e quelle del tutto generiche.

Generiche: raggruppa le sezioni individuate solo dai momenti di inerzia e dalla area.



**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 "PIPPPO", si può dare una stringa di ricerca del tipo "PIPPPO\*".

**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>187)</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). 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>187</sup> e Scelta di un criterio di progetto, 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 dovut alla flessione inferiore a 1600 Kg/cm<sup>2</sup>. 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.

### 3.7.4.3 DialogoFiltrisullequantita

	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](#)<sup>[184]</sup>.

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.

### 3.7.4.4 DialogoArchiviosezioni

Questo dialogo è usato per scorrere le sezioni estratte dall'archivio e sceglierne una. Per scegliere la sezione premere il tasto **Applica**.

[solo CESCO PLUS]

Se la orientazione che compare nel disegno non è quella desiderata è possibile ruotare il profilo di un angolo, che deve essere fornito in gradi e che viene interpretato come rotazione antioraria da dare al profilo. La rotazione può assumere i solo i valori 0, 90, 180, 270.

### 3.7.5 Materiale

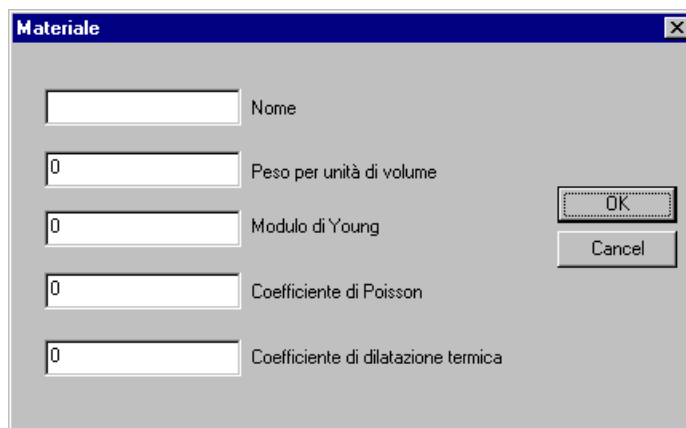
Questo comando ha un duplice scopo: serve ad interrogare il programma sul materiale applicato ad una certa membratura, e serve anche a modificare i dati del materiale, senza doverlo riattribuire dal principio.

Appena eseguito il comando si entra in una [fase non modale](#)<sup>[31]</sup> che chiede di specificare una delle [membrature](#)<sup>[331]</sup>. Ciò si fa premendo il tasto sinistro del mouse quando il pallino rosso è sopra la membratura che interessa. Ciò fatto si apre un [dialogo](#)<sup>[188]</sup>. Sarà così possibile modificare i dati non più aggiornati, o limitarsi a leggere i dati che interessano. Se si esce dal dialogo con OK, e si era eseguito il solving, questo dovrà essere rieseguito per accedere ai risultati. Se invece si esce con Cancel, nulla verrà modificato.

Per uscire dal comando è necessario premere il tasto destro del mouse o il tasto ESC della tastiera.

[Generalità sui comandi](#)<sup>[31]</sup>

#### 3.7.5.1 DialogoMateriale



The image shows a Windows-style dialog box titled "Materiale". It has a blue title bar with a close button (X) on the right. The main area is light gray and contains five rows of input fields. Each row consists of a text box and a label to its right. The labels are: "Nome", "Peso per unità di volume", "Modulo di Young", "Coefficiente di Poisson", and "Coefficiente di dilatazione termica". Each text box contains the number "0". To the right of these fields are two buttons: "OK" and "Cancel".

Questo dialogo è usato sia per dare informazioni sui dati di un materiale, sia per prendere i dati di un nuovo materiale. Tutti i dati devono essere forniti usando le unità di misura attive. Allo stesso modo,

se il dialogo dà informazioni, queste sono tutte nelle unità di misura attive.

[Unità di misura](#)<sup>[33]</sup>

### 3.7.6 Sezione

Questo comando ha un duplice scopo: serve ad interrogare il programma sulla sezione applicata ad una certa membratura, e serve anche a modificare le quote di questa sezione, senza doverla riattribuire dal principio.

Appena eseguito il comando si entra in una [fase non modale](#)<sup>[31]</sup> che chiede di specificare una delle [membrature](#)<sup>[33]</sup>. Ciò si fa premendo il tasto sinistro del mouse quando il pallino rosso è sopra la membratura che interessa. Ciò fatto si apre un dialogo, che dipende dal tipo di sezione ([tipi di sezione](#)<sup>[183]</sup>). Sarà così possibile modificare i dati non più aggiornati, o limitarsi a leggere i dati che interessano. Se si esce dal dialogo con OK, e si era eseguito il solving, questo dovrà essere rieseguito per accedere ai risultati. Se invece si esce con Cancel, nulla verrà modificato.

Per uscire dal comando è necessario premere il tasto destro del mouse o il tasto ESC della tastiera.

[solo CESCO PLUS]

Dopo aver modificato le quote e chiuso il dialogo corrispondente si apre un successivo dialogo ("Rotazione del profilo") che chiede di specificare l'orientazione del profilo. Se si vuole modificare l'orientazione di un profilo senza modificarne le quote, basta eseguire il comando, accettare le quote preesistenti senza modificarle, eppoi, mediante l'ultimo dialogo, modificare l'orientazione.

[Generalità sui comandi](#)<sup>[31]</sup>

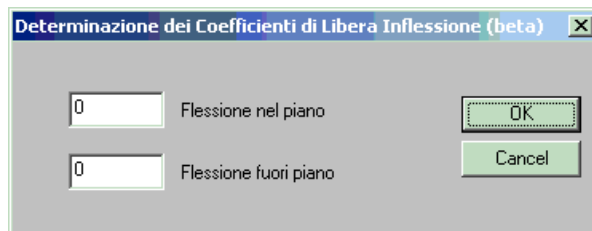
### 3.7.7 Pick BT

### 3.7.8 Applica beta

Questo comando serve ad assegnare i coefficienti di libera inflessione alle membrature preventivamente selezionate. Per selezionare una membratura composta da più rami è sufficiente selezionare uno dei rami componenti. Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[190]</sup> che chiede il valore dei coefficienti di libera inflessione. I valori dei coefficienti di libera inflessione sono usati dal programma per calcolare le snellezze.

[Generalità sui comandi](#)<sup>[31]</sup>

### 3.7.8.1 Dialogo Determinazione coefficienti di libera inflessione



Questo dialogo serve a fissare i valori dei coefficienti di libera inflessione, per sbandamenti nel piano e fuori del piano. Valori ragionevoli sono compresi tra 0.8 ed 1 per strutture a nodi fissi, mentre possono essere di molto superiori ad 1 per telai a nodi spostabili. Si rimanda ai testi di teoria per una trattazione del problema.

### 3.7.9 Modifica orientazione

Questo comando serve a modificare l'orientazione dei profili. Appena il comando viene eseguito si apre un opportuno dialogo (Rotazione sezione), che chiede quale sarà l'orientazione dei profili prescelti. Data l'orientazione possono succedere due cose diverse. Se esistono degli elementi selezionati il programma chiederà se si vuole applicare l'orientazione prescelta a tutte le membrature corrispondenti agli elementi selezionati. Se si risponde di sì il comando prevede l'applicazione automatica della orientazione a tutte le membrature aventi almeno uno degli elementi componenti selezionati. Se si risponde di no si va a cliccare le membrature una per una, assegnando ad esse l'orientazione del profilo prescelta. Se invece non esistono elementi selezionati al momento della esecuzione del comando, allora si passa direttamente a cliccare gli elementi uno per uno, senza passare dalla "domanda" fatta dal programma.

[Generalità sui comandi](#)<sup>[31]</sup>

### 3.7.10 Applica gravità

Questo comando è in realtà un flag, vale a dire una opzione. Se essa è attiva allora il peso proprio delle aste, diretto verso il basso, verrà aggiunto automaticamente ai carichi applicati. Se invece essa è inattiva, allora la gravità non verrà aggiunta. La modifica di questo flag, se fatta dopo il solving, comporta l'indisponibilità dei risultati: occorre rieseguire il solving stesso.

### 3.7.11 Unità



Questo comando serve per cambiare le unità di misura correnti. Il comando è accessibile solo nelle [modalità](#)<sup>[332]</sup>. La Concezione Strutturale e Tecnica.

Non appena eseguito il comando appare un property sheet che consente di cambiare le unità come desiderato. Non appena le unità vengono cambiate, nella barra di stato compaiono le nuove unità. Da questo momento, tutti i dati che CESCO fornirà e tutti i dati che CESCO riceverà saranno nelle nuove unità di misura.

[Unità di misura](#)<sup>[331]</sup>.

### 3.7.12 Nodi

#### 3.7.12.1 Trasla



Questo comando consente di assegnare una traslazione all'insieme dei nodi preventivamente selezionati. La traslazione consente di modificare la geometria di una struttura, in quanto ai nodi sono attaccati gli elementi, che seguono le traslazioni imposte ai nodi.

Il comando è attivo se sono stati preventivamente selezionati dei nodi.

Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[194]</sup> che consente di specificare le componenti del vettore di traslazione (nella unità di misura attiva).

#### 3.7.12.2 Trasla 2 (/)

Enter topic text here.

#### 3.7.12.3 Trasla 3 (/)

Enter topic text here.

### 3.7.13 Rami

#### 3.7.13.1 Disgiunti



Questo comando fa aggiungere [rami](#)<sup>[339]</sup> ciascuno dei quali coincide con una nuova [membratura](#)<sup>[331]</sup>. Il comando è di tipo [non modale](#)<sup>[31]</sup> e pertanto viene interrotto solo premendo il tasto destro del mouse o il tasto ESC della tastiera.

Questo comando consente di aggiungere rami disgiunti, senza cioè che due rami successivi

abbiano alcun [nodo](#)<sup>[336]</sup> in comune.

Appena il comando viene eseguito compare un pallino, che si muove al movimento del mouse.

Il modo in cui il pallino si muove dipende dalle impostazioni della [griglia](#)<sup>[169]</sup>. Se lo snapping è attivo il punto passerà da un punto della griglia ad un altro punto della griglia (il punto più vicino al cursore del mouse) a seconda di come lo muoviamo. Se invece lo snapping non è attivo allora il punto si muoverà con continuità nel piano.

In ogni istante le coordinate del punto (quelle del pallino rosso) sono indicate nella barra di stato.

Per definire un nuovo ramo occorre fornire i due estremi. Ogni estremo corrisponde alla posizione del pallino rosso quando viene premuto il tasto sinistro del mouse. Una volta definito il secondo estremo di un ramo si ricomincia, e occorre fornire il primo estremo del ramo successivo.

In pratica bastano una serie di click per aggiungere i rami che interessano.

Se capita di non vedere il pallino o di vederne due, basta premere il tasto della barra principale che corrisponde al comando [Ridisegna](#)<sup>[178]</sup>, e ciò mentre si sta eseguendo il comando, senza bisogno di uscire.

Dalla versione 2 il comando è stato migliorato nel modo che segue.

- 1) Dopo aver scelto il primo nodo dell'elemento nella barra di stato compaiono la distanza dx e quella dy corrente dall'ultimo nodo aggiunto;
- 2) Per il primo nodo: se non ci si vuole attaccare alla griglia ma si vogliono dare le coordinate esatte, basta premere la barra spaziatrice: comparirà un [dialogo](#)<sup>[193]</sup> che chiederà le coordinate nel punto nelle unità attive.
- 3) Per il secondo nodo: se non si ci vuole attaccare alla griglia basta premere la barra spaziatrice, comparirà un [dialogo](#)<sup>[194]</sup> che consente di scegliere la preferita modalità di introduzione dei dati: (dx, dy), (angolo e distanza), (dx ed angolo), (dy ed angolo). Queste scelte possono essere fatte direttamente, senza passare dal [dialogo](#)<sup>[194]</sup> precedente, premendo rispettivamente il tasto 1, 2, 3, o 4.

[Generalità sui comandi](#)<sup>[31]</sup>

### 3.7.13.2 Congiunti



Questo comando fa aggiungere [rami](#)<sup>[339]</sup> ciascuno dei quali coincide con una nuova [membratura](#)<sup>[331]</sup>. Il comando è di tipo [non modale](#)<sup>[31]</sup> e pertanto viene interrotto solo premendo il tasto destro del mouse o il tasto ESC della tastiera.

Questo comando consente di aggiungere rami congiunti, fatti cioè in modo tale da formare un'unica spezzata poligonale.

Appena il comando viene eseguito compare un pallino, che si muove al movimento del mouse.



Il modo in cui il pallino si muove dipende dalle impostazioni della [griglia](#)<sup>[169]</sup>. Se lo snapping è attivo il punto passerà da un punto della griglia ad un altro punto della griglia (il punto più vicino al cursore del mouse) a seconda di come lo muoviamo. Se invece lo snapping non è attivo allora il punto si muoverà con continuità nel piano.

In ogni istante le coordinate del punto (quelle del pallino rosso) sono indicate nella barra di stato.

Per definire un nuovo ramo occorre fornire i due estremi. Il primo estremo del primo ramo della spezzata va fornito esplicitamente. Il primo estremo dei rami successivi coincide con il secondo estremo dei rami via via appena introdotti, cosicché fornito il primo punto si forniscono solo i secondi estremi.

In pratica bastano una serie di click per aggiungere i rami che interessano.

Se capita di non vedere il pallino o di vederne due, basta premere il tasto della barra principale che corrisponde al comando [Ridisegna](#)<sup>[178]</sup>, e ciò mentre si sta eseguendo il comando, senza bisogno di uscire.

Dalla versione 2 il comando è stato migliorato nel modo che segue.

- 1 Dopo aver scelto il primo nodo dell'elemento nella barra di stato compaiono la distanza dx e quella dy corrente dall'ultimo nodo aggiunto;
- 2 Per il primo nodo: se non ci si vuole attaccare alla griglia ma si vogliono dare le coordinate esatte, basta premere la barra spaziatrice: comparirà un [dialogo](#)<sup>[193]</sup> che chiederà le coordinate nel punto nelle unità attive.
- 3 Per il secondo nodo: se non si ci vuole attaccare alla griglia basta premere la barra spaziatrice, comparirà un [dialogo](#)<sup>[194]</sup> che consente di scegliere la preferita modalità di introduzione dei dati: (dx, dy), (angolo e distanza), (dx ed angolo), (dy ed angolo). Queste scelte possono essere fatte direttamente, senza passare dal [dialogo](#)<sup>[194]</sup> precedente, premendo rispettivamente il tasto 1, 2, 3, o 4.

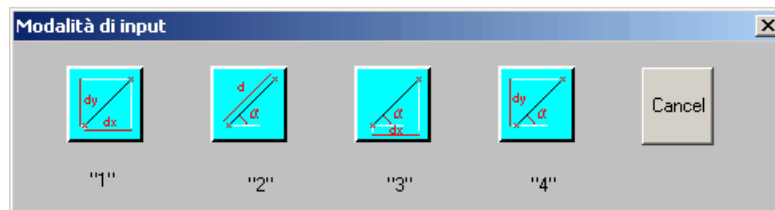
[Generalità sui comandi](#)<sup>[31]</sup>

### 3.7.13.3 DialogoRichiestadicoordinate



Questo dialogo consente di specificare le coordinate del punto richiesto dal programma nelle unità di misura attive.

### 3.7.13.4 DialogoModalitdiinput



Questo dialogo consente di specificare in che modo sarà dato il punto successivo del ramo che si sta aggiungendo. Il punto è definito prendendo il punto precedente come riferimento. Sono possibili quattro modalità: (dx, dy), (angolo e distanza), (dx ed angolo), (dy ed angolo). Questo dialogo può essere saltato premendo direttamente i tasti, rispettivamente, 1 per (dx, dy), 2 per (angolo e distanza), 3 per (angolo e dx), 4 per (angolo e dy).

Ad ogni modalità corrisponde un differente dialogo successivo, secondo la seguente corrispondenza:

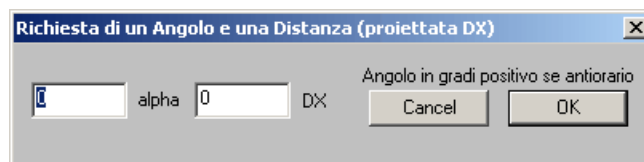
- |   |   |
|---|---|
| 1 | <a href="#">(dx, dy)</a> <sup>[194]</sup>           |
| 2 | <a href="#">(angolo, distanza)</a> <sup>[195]</sup> |
| 3 | <a href="#">(angolo, dx)</a> <sup>[194]</sup>       |
| 4 | <a href="#">(angolo, dy)</a> <sup>[195]</sup>       |

#### 3.7.13.4.1 DialogoRichiestadidxedy



Questo dialogo consente di specificare le coordinate del secondo punto di un ramo dando la posizione di questo rispetto al nodo precedentemente introdotto. Vengono chieste le due distanze dx e dy nella unità di misura attiva.

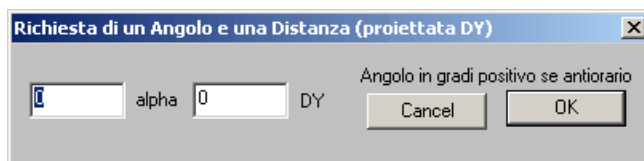
#### 3.7.13.4.2 DialogoRichiestadiunangoloeunadistanzapro



Questo dialogo consente di specificare le coordinate del secondo punto di un ramo dando la posizione di questo rispetto al nodo precedentemente introdotto. Viene chiesta la distanza dal primo punto proiettata lungo x e l'angolo formato dal ramo rispetto all'orizzontale. L'angolo è in gradi, positivo

se antiorario.

#### 3.7.13.4.3 DialogoRichiestadiunangoloediunadistanza



Questo dialogo consente di specificare le coordinate del secondo punto di un ramo dando la posizione di questo rispetto al nodo precedentemente introdotto. Viene chiesta la distanza dal primo punto proiettata lungo y e l'angolo formato dal ramo rispetto all'orizzontale. L'angolo è in gradi, positivo se antiorario.

#### 3.7.13.4.4 DialogoRichiestadiunangoloeunadistanza



Questo dialogo consente di specificare le coordinate del secondo punto di un ramo dando la posizione di questo rispetto al nodo precedentemente introdotto. Viene chiesta la distanza dal primo punto e l'angolo formato dal ramo rispetto all'orizzontale.

### 3.7.13.5 Arco



Questo comando fa aggiungere aste aventi la forma di archi di circonferenza, ciascuno dei quali coincide con una nuova [membratura](#)<sup>[331]</sup>. Ogni arco è diviso in un certo numero di [rami](#)<sup>[339]</sup> rettilinei, al fine di sposare con il necessario grado di precisione l'andamento curvo dell'arco.

Il comando chiede dapprima il centro della circonferenza, poi chiede un punto che giace sulla circonferenza, poi chiede a ripetizione l'angolo di apertura iniziale dell'arco e l'angolo di apertura finale dell'arco che si intende aggiungere. Aggiunto un arco se ne può aggiungere un successivo, contiguo o meno con il precedente, e così via, finché non si esce. Tutti gli archi aggiunti durante l'esecuzione di uno stesso comando hanno in comune il centro della circonferenza ed il raggio della stessa. Due archi successivi possono o meno avere l'estremo in comune: per default il programma propone che l'arco successivo sia contiguo con il precedente (ovvero che l'angolo iniziale del successivo sia eguale all'angolo finale del precedente), ma l'utente può scegliere a piacere.

Gli angoli si misurano in gradi, positivi se antiorari, prendendo come riferimento il raggio orizzontale orientato verso destra. Essi sono compresi tra  $-360^\circ$  e  $+360^\circ$ .

Dopo aver dato, per ciascun arco, il suo angolo iniziale ed il suo angolo finale, occorre decidere in quanti rami rettilinei l'arco sarà suddiviso.

Vediamo passo passo come funziona il comando.

All'avvio del comando il programma si aspetta il centro della circonferenza.

Il centro della circonferenza può essere dato sia cliccando su un punto della griglia, sia dandone le coordinate per mezzo della tastiera: in questo caso occorrerà premere la barra spaziatrice per fare in modo che compaia il [dialogo](#)<sup>[193]</sup> opportuno.

Una volta dato il centro della circonferenza occorre dare il raggio. Ciò si fa o cliccando in corrispondenza al punto che rappresenta il punto che giace sulla circonferenza, o specificando per mezzo di un opportuno [dialogo](#)<sup>[194]</sup> la distanza dx e dy dal centro del punto della circonferenza. Se dx è diverso da zero e dy è uguale a zero, dx rappresenta il raggio della circonferenza; viceversa, se dx=0 e dy è diverso da zero il raggio è dy; se sia dx che dy sono diversi da zero allora il raggio della circonferenza è  $r=\sqrt{dx^2+dy^2}$ .

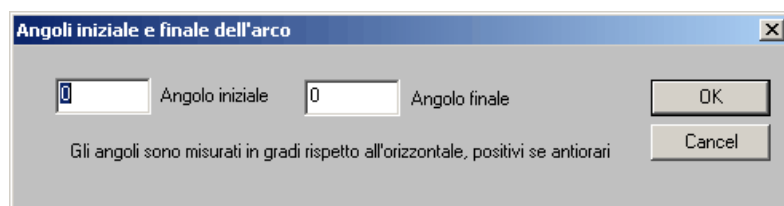
Fatto ciò si apre il [dialogo](#)<sup>[196]</sup> che consente di fornire l'angolo iniziale e finale dell'arco da aggiungere.

Infine compare il [dialogo](#)<sup>[197]</sup> che chiede in quanti rami dividere l'arco.

A questo punto l'arco viene aggiunto e si chiede di nuovo l'angolo iniziale e finale dell'arco successivo, e così via. Per interrompere il comando basta uscire con "annulla" da uno dei due dialoghi precedenti.

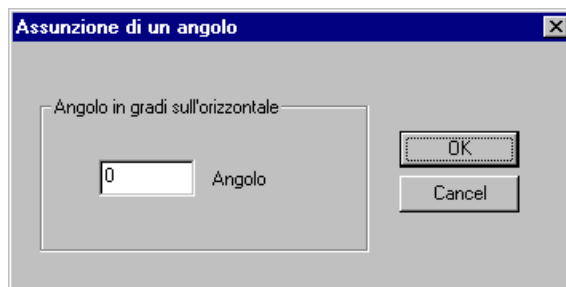
Si ribadisce che nel comando si possono dare più archi di seguito: ciascun arco (anche se suddiviso in più rami) verrà trattato come una [membratura](#)<sup>[331]</sup> singola.

### 3.7.13.6 DialogoAngoliinizialeefinaledellarco



Questo dialogo consente di specificare l'angolo iniziale e l'angolo finale dell'arco che si intende aggiungere. Ad esempio, per dare una semicirconferenza con diametro orizzontale inferiore rispetto all'arco si daranno i due angoli (0, 180) come angolo iniziale e finale, rispettivamente. Se si vuole dare un arco con diametro orizzontale superiore rispetto all'arco si daranno i valori (180, 360), o anche (-180, 0).

### 3.7.13.7 Dialogo Assunzione di un angolo



Questo dialogo è usato per specificare un angolo. L'angolo va specificato in gradi (90 è un angolo retto) e misurato a partire dall'orizzontale, positivo se antiorario.

### 3.7.13.8 Dividi



Questo comando consente di suddividere un [ramo](#)<sup>[339]</sup> in parti, vale a dire consente di spezzare un ramo in parti eguali. Se il ramo coincide con una [membratura](#)<sup>[331]</sup> questa verrà ad essere composta da un numero di rami pari al numero di suddivisioni. Se invece il ramo è solo parte di una membratura, che ha già un numero  $m$  di rami, questa verrà ad avere  $n+m$  rami, essendo  $n$  il numero di suddivisioni.

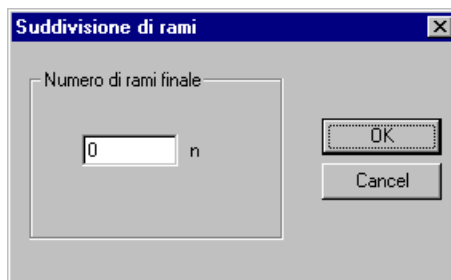
Il comando è [non modale](#)<sup>[31]</sup>: appena eseguito si clicca sul ramo che interessa, poi, grazie ad un opportuno [dialogo](#)<sup>[197]</sup>, si stabilisce il numero di suddivisioni.

Appena usciti dal dialogo con OK il comando termina automaticamente.

La suddivisione di rami esistente è indispensabile se si vogliono applicare forze all'interno di rami esistenti. Poiché è solo possibile applicare forze ad estremi di rami, sarà prima necessario spezzare i rami esistenti in parti eguali, così da creare il nodo che serve.

[Generalità sui comandi](#)<sup>[31]</sup>

#### 3.7.13.8.1 Dialogo Suddivisione di rami



Questo dialogo consente di specificare il numero di suddivisioni di un ramo. Se si specifica, ad esempio, 4, il ramo verrà diviso in quattro parti eguali.

### 3.7.13.9 Spezza



Questo comando consente di suddividere un [ramo](#)<sup>[339]</sup> in due parti diseguali. Se il ramo coincide con una [membratura](#)<sup>[331]</sup> questa verrà ad essere composta da un numero di rami pari al numero di suddivisioni. Se invece il ramo è solo parte di una membratura, che ha già un numero  $m$  di rami, questa verrà ad avere  $2+m$  rami.

Il comando è [non modale](#)<sup>[31]</sup>: appena eseguito si clicca sul ramo che interessa, poi, grazie ad un opportuno dialogo, si stabilisce il numero di suddivisioni.

Appena usciti dal dialogo con OK il comando rientra nella fase non modale, consentendo di scegliere un altro ramo, e così via sinché non si clicca il tasto destro del mouse.

La suddivisione di rami esistente è indispensabile se si vogliono applicare forze all'interno di rami esistenti. Poiché è solo possibile applicare forze ad estremi di rami, sarà prima necessario spezzare i rami esistenti in parti eguali o diseguali, così da creare il nodo che serve.

[Generalità sui comandi](#)<sup>[31]</sup>

### 3.7.13.10 Copia



Questo comando consente di copiare i rami preventivamente selezionati, in modo da generare nuove parti della struttura. Il comando è disponibile solo se ci sono dei rami selezionati. Appena eseguito il comando occorre fornire un vettore di copia. Ciò si può fare con il mouse o con la tastiera, o con entrambi i sistemi. In tutti i casi occorre fornire due punti, che identificano il vettore traslazione (dato  $P$  e poi dato  $Q$ , il vettore sarà  $(Q-P)$ , da  $P$  a  $Q$ ). Sia  $P$  che  $Q$  possono essere dati con il mouse: basterà cliccarne il tasto sinistro in corrispondenza ai punti disponibili. I punti disponibili sono i punti della griglia ed i nodi della struttura. Per fornire le coordinate di  $P$  o la distanza di  $Q$  da  $P$  con la tastiera basterà premere un tasto qualsiasi, ad esempio la barra spaziatrice.

Una volta specificati  $P$  e  $Q$  il programma chiede se deve cercare le intersezioni oppure no. Se si è certi che i nuovi elementi non intersecheranno in alcun modo la struttura così da formare nuovi nodi, e se si vuole risparmiare un po' di tempo di calcolo si risponde di "No". Se invece le intersezioni potrebbero esistere, oppure non serve risparmiare tempo (il modello è piccolo), si risponde di "Sì".

### 3.7.13.11 Ricopia



Questo comando consente di applicare ai nodi correntemente selezionati l'ultimo vettore di copia

definito.

Poiché al termine di una copia i nuovi elementi generati vengono selezionati, ed i vecchi che li hanno generati vengono deselegioati, questo comando è molto utile per duplicare o triplicare delle parti, ad esempio i piani di un edificio. Come nel caso del comando di copia, il programma chiede se si vogliono controllare eventuali intersezioni tra i nuovi elementi e la struttura. Se si è certi che i nuovi elementi non intersecheranno in alcun modo la struttura così da formare nuovi nodi, e se si vuole risparmiare un po' di tempo di calcolo si risponda di "No". Se invece le intersezioni potrebbero esistere, oppure non serve risparmiare tempo (il modello è piccolo), si risponda di "Sì".

### 3.7.13.12 Specchia



Questo comando consente di specchiare gli elementi preventivamente selezionati rispetto ad un piano del quale occorre fornire la traccia. La traccia è individuata da un segmento definito da due punti. I due punti P e Q possono essere specificati sia con la tastiera che con il mouse. Sia P che Q possono essere dati con il mouse: basterà cliccarne il tasto sinistro in corrispondenza ai punti disponibili. I punti disponibili sono i punti della griglia ed i nodi della struttura. Per fornire le coordinate di P o la distanza di Q da P con la tastiera basterà premere un tasto qualsiasi, ad esempio la barra spaziatrice.

Una volta specificati P e Q il programma chiede se deve cercare le intersezioni oppure no. Se si è certi che i nuovi elementi non intersecheranno in alcun modo la struttura così da formare nuovi nodi, e se si vuole risparmiare un po' di tempo di calcolo si risponda di "No". Se invece le intersezioni potrebbero esistere, oppure non serve risparmiare tempo (il modello è piccolo), si risponda di "Sì".

### 3.7.13.13 Seleziona



Questo comando consente di selezionare rami cliccandoci sopra. Appena un ramo è selezionato, esso cambia colore assumendo una colorazione mista giallo-rossa. Per deselegioare un ramo selezionato è sufficiente cliccarci nuovamente sopra.

Selezionare rami serve per i comandi che agiscono – appunto – sui rami precedentemente selezionati, ad esempio il comando che cancella i rami cancella i rami correntemente selezionati.

### 3.7.13.14 Cancella



Questo comando serve a cancellare i rami precedentemente selezionati con il comando [Seleziona](#)<sup>[199]</sup>. Se vi sono carichi applicati ai rami cancellati questi saranno altresì automaticamente eliminati. Se la cancellazione di rami comporta la cancellazione di una membratura, perché tutti i rami dei quali è composta sono stati eliminati, allora la numerazione delle membrature verrà automaticamente aggiornata in modo che non vi siano "buchi". Se invece solo alcuni elementi di una membratura

vengono cancellati ed altri no si possono dare due casi.

Nel primo caso i rami cancellati sono tutti in sequanza e rappresentano uno dei due estremi della membratura. In tal caso i rami rimasti conservano il numero di membratura originario.

Nel secondo caso i rami cancellati comportano l'esistenza di uno o più "salti" nella membratura originaria, che viene così ad essere divisa in un certo numero di parti tra loro scollegate. In questo secondo caso il programma riconosce i rami appartenenti a pezzi unici e per ciascuno dei pezzi disgiunti superiore al primo aggiunge una nuova membratura.

In questo ultimo caso la successiva riaggiunta di un elemento, a colmare il buco lasciato dalla precedente cancellazione, *non* comporta la riunificazione degli elementi nella membratura originaria.

### 3.7.14 Azioni

#### 3.7.14.1 Gravità



Questo comando serve ad aggiungere i carichi di gravità corrispondenti al peso delle aste selezionate prima di eseguire il comando stesso. Perché il comando sia attivo è necessario che siano selezionati degli elementi, e che sia attivo un caso di carico (non una combinazione).

Per comprendere l'uso del comando, si tenga presente che le azioni vengono *aggiunte* a quelle esistenti. Pertanto, se a seguito della modifica di parte dei materiali o degli elementi attribuiti si vuole ridefinire i carichi di gravità, occorrerà prima di eseguire il comando azzerare il caso di carico che racchiude tali effetti.

Appena eseguito il comando i carichi uniformemente distribuiti in direzione -Y corrispondenti alla gravità vengono aggiunti ai carichi precedentemente esistenti nel caso di carico attivo.

In genere le azioni dovute alla gravità vengono messe in un caso di carico a se stante, opportunamente etichettato col tipo "GRAVITA".

#### 3.7.14.2 px



Questo comando serve ad aggiungere [carichi distribuiti](#)<sup>[312]</sup> diretti come l'asse x. Alla esecuzione del comando si entra in una [fase non modale](#)<sup>[31]</sup> che serve ad ottenere la scelta di un [ramo](#)<sup>[339]</sup>. In questa fase muovendo il mouse si vede un pallino rosso muoversi sullo schermo. Il pallino va a mettersi sul ramo più vicino, indicando il luogo ove verrà messa l'azione se si preme il tasto sinistro del mouse. Per interrompere il comando in questa fase basta premere il tasto destro del mouse o il tasto ESC. Per accettare la posizione indicata dal pallino premere il tasto sinistro del mouse.

Se capita di non vedere il pallino o di vederne due, basta premere il tasto della barra principale che corrisponde al comando [Ridisegna](#)<sup>[178]</sup>, e ciò mentre si sta eseguendo il comando, senza bisogno di uscire.



Scelto il ramo compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[202]</sup>, che serve a prendere il valore della azione. Se si vuole si può ancora interrompere il comando premendo il tasto cancella. Se invece si dà il valore e poi si preme OK la azione verrà aggiunta e il comando termina.

Questo comando può essere usato anche per cancellare i carichi distribuiti precedentemente applicati: basta dare un modulo nullo.

[solo CESCO PLUS].

Le azioni vengono assegnate al caso di carico attivo al momento della esecuzione del comando.

Il carico specificato si aggiunge a quelli esistenti, non si sostituisce.

Come tutti i comandi di aggiunta azioni ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati oggetti, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare carichi diversi, o carichi su pochi oggetti). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono oggetti selezionati, allora il comando applicherà l'azione prescelta a tutti gli oggetti selezionati (utile per specificare carichi eguali su molti oggetti per volta).

[Generalità sui comandi](#)<sup>[31]</sup>

### 3.7.14.3 py



Questo comando serve ad aggiungere [carichi distribuiti](#)<sup>[312]</sup> diretti come l'asse y. Alla esecuzione del comando si entra in una [fase non modale](#)<sup>[31]</sup> che serve ad ottenere la scelta di un [ramo](#)<sup>[339]</sup>. In questa fase muovendo il mouse si vede un pallino rosso muoversi sullo schermo. Il pallino va a mettersi sul ramo più vicino, indicando il luogo ove verrà messa l'azione se si preme il tasto sinistro del mouse. Per interrompere il comando in questa fase basta premere il tasto destro del mouse o il tasto ESC. Per accettare la posizione indicata dal pallino premere il tasto sinistro del mouse.

Se capita di non vedere il pallino o di vederne due, basta premere il tasto della barra principale che corrisponde al comando [Ridisegna](#)<sup>[178]</sup>, e ciò mentre si sta eseguendo il comando, senza bisogno di uscire.

Scelto il ramo compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[202]</sup>, che serve a prendere il valore della azione. Se si vuole si può ancora interrompere il comando premendo il tasto cancella. Se invece si dà il valore e poi si preme OK la azione verrà aggiunta e il comando termina.

Questo comando può essere usato anche per cancellare i carichi distribuiti precedentemente applicati: basta dare un modulo nullo.

[solo CESCO PLUS].

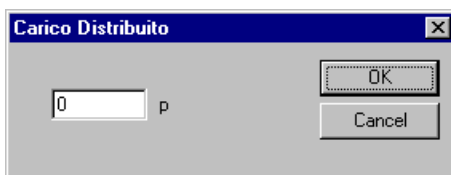
Le azioni vengono assegnate al caso di carico attivo al momento della esecuzione del comando.

Il carico specificato si aggiunge a quelli esistenti, non si sostituisce.

Come tutti i comandi di aggiunta azioni ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati oggetti, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare carichi diversi, o carichi su pochi oggetti). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono oggetti selezionati, allora il comando applicherà l'azione prescelta a tutti gli oggetti selezionati (utile per specificare carichi eguali su molti oggetti per volta).

[Generalità sui comandi](#)<sup>[31]</sup>

#### 3.7.14.4 DialogoCaricodistribuito



Questo dialogo serve a definire il valore di un carico distribuito. Il valore del carico distribuito deve essere dato utilizzando le unità di misura attive. Se si dà un valore negativo il carico avrà un verso opposto a quello indicato nel disegno. Se si vuole eliminare un carico precedentemente introdotto basta dare un modulo pari a zero.

#### 3.7.14.5 Carico lineare



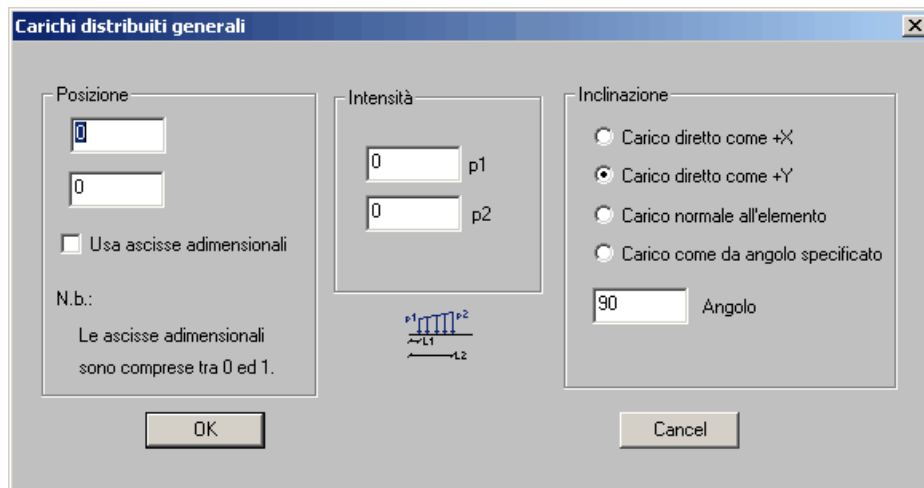
Questo comando serve ad aggiungere carichi distribuiti variabili linearmente sugli elementi. Appena il comando viene eseguito, dopo aver scelto l'elemento, si apre un opportuno [dialogo](#)<sup>[203]</sup> che consente di specificare il carico. Il carico specificato si aggiunge a quelli esistenti.

Le azioni vengono assegnate al caso di carico attivo al momento della esecuzione del comando.

Come tutti i comandi di aggiunta azioni ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati oggetti, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per

volta (utile per specificare carichi diversi, o carichi su pochi oggetti). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono oggetti selezionati, allora il comando applicherà l'azione prescelta a tutti gli oggetti selezionati (utile per specificare carichi eguali su molti oggetti per volta). Nel caso del carico linearmente variabile, è necessario che le aste preventivamente selezionate abbiano tutte la stessa lunghezza e la stessa giacitura, in modo da consentire una univoca interpretazione dei dati di input.

#### 3.7.14.5.1 DialogoCarichidistribuitigenerali



Questo dialogo serve a specificare un carico distribuito variabile linearmente. Esso è diviso in tre zone. Nella prima zona si specifica il punto iniziale ed il punto finale del carico. Il punto può essere specificato sia con ascisse adimensionali a partire dal primo estremo, sia con le distanza dimensionali dal primo estremo (e in questo caso occorre usare l'unità di misura attiva al momento della esecuzione del comando).

Nella seconda zona si specifica l'intensità del carico, impiegando le unità di misura attive: se ad esempio sono attivi i metri ed i N, l'intensità del carico sarà specificata in N/m.

Nella terza zona si dà la direzione del carico. Si noti che il segno dato alla intensità mette a posto il verso. Ad esempio per dare un carico verso il basso si daranno intensità negative e si sceglierà "carico diretto come +Y". Nel caso in cui si scelga di dare un angolo, si tenga presente che questo angolo è misurato a partire dal segmento orizzontale corrispondente alle ascisse positive, positivo se antiorario.

#### 3.7.14.6 Termico



Questo comando serve ad applicare una distribuzione termica su un [ramo](#)<sup>[339]</sup>. Alla esecuzione del comando si entra in una [fase non modale](#)<sup>[31]</sup> che serve ad ottenere la scelta di un [ramo](#)<sup>[339]</sup>. In questa fase muovendo il mouse si vede un pallino rosso muoversi sullo schermo. Il pallino va a mettersi sul ramo più vicino, indicando il luogo ove verrà messa l'azione se si preme il tasto sinistro del mouse. Per interrompere il comando in questa fase basta premere il tasto destro del mouse o il tasto ESC. Per

accettare la posizione indicata dal pallino premere il tasto sinistro del mouse.

Se capita di non vedere il pallino o di vederne due, basta premere il tasto della barra principale che corrisponde al comando [Ridisegna](#)<sup>[178]</sup>, e ciò mentre si sta eseguendo il comando, senza bisogno di uscire.

Scelto il ramo compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[204]</sup>, che serve a saper come è fatta la distribuzione di temperatura. Se si vuole si può ancora interrompere il comando premendo il tasto cancella. Se invece si danno i valori e poi si preme OK il carico termico verrà aggiunto ed il comando termina.

Questo comando può essere usato anche per cancellare i carichi termici precedentemente applicati: basta dare una distribuzione nulla.

[solo CESCO PLUS].

Le azioni vengono assegnate al caso di carico attivo al momento della esecuzione del comando.

Come tutti i comandi di aggiunta azioni ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati oggetti, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare carichi diversi, o carichi su pochi oggetti). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono oggetti selezionati, allora il comando applicherà l'azione prescelta a tutti gli oggetti selezionati (utile per specificare carichi eguali su molti oggetti per volta).

[Generalità sui comandi](#)<sup>[31]</sup>

#### 3.7.14.6.1 DialogoCaricotermico



Questo dialogo serve a definire una distribuzione termica su un [ramo](#)<sup>[339]</sup>. I valori da fornire devono essere coerenti con l'[unità di misura](#)<sup>[348]</sup> attiva.

I due valori T1 e T2 sono due temperature. Precisamente, come chiarito dal disegno, il valore T2 va sulle fibre di sopra (o, in caso di ramo verticale, sulle fibre di sinistra), mentre il valore T1 va sulle fibre di sotto (o di destra).

Se i due valori sono identici la distribuzione genera solo una [elongazione termica](#)<sup>[319]</sup>. Se i due valori

sono eguali ed opposti la distribuzione genera solo una [flessione termica](#)<sup>[322]</sup>, se i due valori sono diversi si generano sia una elongazione che una flessione.

Lo stato finale del ramo deve essere calcolato: è infatti possibile che, per congruenza, non vi sia alcuna elongazione o flessione totale, e che invece insorgano delle azioni interne.

[solo CESCO PLUS]

Le azioni vengono assegnate al caso di carico attivo al momento della esecuzione del comando.

### 3.7.14.7 Cedimento



Questo comando serve ad aggiungere [cedimenti](#)<sup>[313]</sup>. Alla esecuzione del comando si entra in una [fase non modale](#)<sup>[31]</sup> che serve ad ottenere la scelta di un [nodo](#)<sup>[336]</sup>. In questa fase muovendo il mouse si vede un pallino rosso muoversi sullo schermo. Il pallino va a mettersi sul nodo più vicino, indicando il luogo ove verrà messo il cedimento se si preme il tasto sinistro del mouse. Per interrompere il comando in questa fase basta premere il tasto destro del mouse o il tasto ESC. Per accettare la posizione indicata dal pallino premere il tasto sinistro del mouse.

Se capita di non vedere il pallino o di vederne due, basta premere il tasto della barra principale che corrisponde al comando [Ridisegna](#)<sup>[178]</sup>, e ciò mentre si sta eseguendo il comando, senza bisogno di uscire.

Un cedimento può essere applicato solo su un nodo vincolato in qualche modo. Se si sceglie un nodo non vincolato il programma dà un avviso.

Scelto il nodo compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[206]</sup> che serve a specificare il cedimento. Se si vuole si può ancora interrompere il comando premendo il tasto cancella. Se invece si dà il valore e poi si preme OK il cedimento verrà aggiunto e il comando termina.

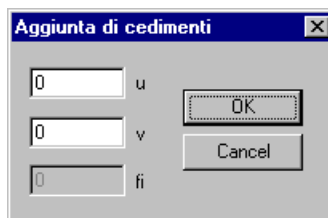
Questo comando può essere usato anche per cancellare i cedimenti precedentemente applicati: basta dare un cedimento nullo.

[solo CESCO PLUS]

Le azioni vengono assegnate al caso di carico attivo al momento della esecuzione del comando.

[Generalità sui comandi](#)<sup>[31]</sup>

## 3.7.14.7.1 Dialogo Aggiuntacedimenti



Questo dialogo serve ad assumere i dati relativi ad un [cedimento](#)<sup>[313]</sup>. L'utente deve specificare il cedimento in direzione orizzontale (u), in direzione verticale (v) ed il cedimento rotazionale (b).

I cedimenti traslazionali vanno specificati nella unità attiva (mm, cm, ecc.). Se si sta lavorando nella [modalità](#)<sup>[332]</sup> Statica o Scienza, i numeri da fornire vengono interpretati in millesimi di unità L. Così se si dà un valore 1 in queste modalità comparirà il valore "1u", che corrisponde a "L/1000", ovvero, in definitiva ad 1mm.

Il cedimento rotazionale, allo stesso modo, è espresso in radianti se si sta lavorando con vere unità di misura, è invece espresso in unità b, vale a dire centesimi di radiante, se si sta lavorando nelle modalità Statica e Scienza. Se si sta lavorando in queste modalità e si dà un cedimento rotazionale pari a 1, comparirà la scritta "1b". Se si passa alla modalità Tecnica senza fare variazioni comparirà la scritta "0.01rad".

Dipendentemente dal tipo di vincolo applicato, è possibile che certe componenti di cedimento non abbiano senso. In questo caso il campo corrispondente ha lo sfondo grigio, ed è *read only*.

## 3.7.14.8 Sisma statico equivalente

## EDIT-AZIONI-SISMA (SOLO CESCO PLUS)

Questo comando serve ad aggiungere forze ai nodi in modo da simulare l'effetto di un sisma (analisi statica equivalente). Le forze verranno applicate unicamente ai nodi selezionati al momento della esecuzione del comando. Si terrà conto unicamente della massa dei nodi selezionati al momento del comando. Appena il comando viene eseguito, si apre un opportuno dialogo che consente di specificare la quota di riferimento e l'accelerazione (in g) del suolo.

Perché il comando possa funzionare, è necessario che la massa sia già stata applicata ai nodi. Al termine del comando, il programma fornisce la forza risultante ed il momento ribaltante risultante.

Le masse nodali relative ai carichi applicati possono essere facilmente generate impiegando il comando [Caso...](#)<sup>[236]</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 del 1996 esso vale:

$$k = C_e b_l$$

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

$$g_x = H_i * \text{Sum}(\text{Mix}) / \text{Sum}(\text{Mix} * H_i)$$

è l'omonimo coefficiente della normativa italiana.

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.

### 3.7.14.9 Canc Sel



Questo comando serve a cancellare tutte le azioni presenti, nel caso di carico attivo, sugli oggetti selezionati. Se sono selezionati solo dei nodi verranno cancellate le forze nodali. Se sono selezionate solo delle aste verranno cancellati tutti i carichi termici ed i carichi distribuiti. Se sono selezionati entrambi verranno fatte entrambe le cose.

Perché il comando sia attivo ci si deve trovare in un caso di carico e devono essere selezionati o nodi o aste (almeno un oggetto).

### 3.7.14.10 Forza

#### 3.7.14.10.1 +X



Questo comando serve ad aggiungere [forze](#)<sup>[324]</sup> dirette come l'asse x. Alla esecuzione del comando si entra in una [fase non modale](#)<sup>[31]</sup> che serve ad ottenere la scelta di un [nodo](#)<sup>[336]</sup>. In questa fase muovendo il mouse si vede un pallino rosso muoversi sullo schermo. Il pallino va a mettersi sul nodo più vicino, indicando il luogo ove verrà messa l'azione se si preme il tasto sinistro del mouse. Per interrompere il comando in questa fase basta premere il tasto destro del mouse o il tasto ESC. Per accettare la posizione indicata dal pallino premere il tasto sinistro del mouse.

Se capita di non vedere il pallino o di vederne due, basta premere il tasto della barra principale che corrisponde al comando [Ridisegna](#)<sup>[178]</sup>, e ciò mentre si sta eseguendo il comando, senza bisogno di uscire.

Scelto il nodo compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[215]</sup>, che serve a prendere il valore della azione. Se si vuole si può ancora interrompere il comando premendo il tasto cancella. Se invece si dà il valore e

poi si preme OK la azione verrà aggiunta e il comando termina.

Questo comando può essere usato anche per cancellare le forze precedentemente applicate: basta dare un modulo nullo.

[solo CESCO PLUS].

Le azioni vengono assegnate al caso di carico attivo al momento della esecuzione del comando.

Come tutti i comandi di aggiunta azioni ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati oggetti, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare carichi diversi, o carichi su pochi oggetti). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono oggetti selezionati, allora il comando applicherà l'azione prescelta a tutti gli oggetti selezionati (utile per specificare carichi eguali su molti oggetti per volta).

[Generalità sui comandi](#)<sup>[31]</sup>

#### 3.7.14.10.2 -X



Questo comando serve ad aggiungere [forze](#)<sup>[324]</sup> dirette come l'asse x. Alla esecuzione del comando si entra in una [fase non modale](#)<sup>[31]</sup> che serve ad ottenere la scelta di un [nodo](#)<sup>[336]</sup>. In questa fase muovendo il mouse si vede un pallino rosso muoversi sullo schermo. Il pallino va a mettersi sul nodo più vicino, indicando il luogo ove verrà messa l'azione se si preme il tasto sinistro del mouse. Per interrompere il comando in questa fase basta premere il tasto destro del mouse o il tasto ESC. Per accettare la posizione indicata dal pallino premere il tasto sinistro del mouse.

Se capita di non vedere il pallino o di vederne due, basta premere il tasto della barra principale che corrisponde al comando [Ridisegna](#)<sup>[178]</sup>, e ciò mentre si sta eseguendo il comando, senza bisogno di uscire.

Scelto il nodo compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[215]</sup>, che serve a prendere il valore della azione. Se si vuole si può ancora interrompere il comando premendo il tasto cancella. Se invece si dà il valore e poi si preme OK la azione verrà aggiunta e il comando termina.

Questo comando può essere usato anche per cancellare le forze precedentemente applicate: basta dare un modulo nullo.



[solo CESCO PLUS].

Le azioni vengono assegnate al caso di carico attivo al momento della esecuzione del comando.

Come tutti i comandi di aggiunta azioni ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati oggetti, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare carichi diversi, o carichi su pochi oggetti). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono oggetti selezionati, allora il comando applicherà l'azione prescelta a tutti gli oggetti selezionati (utile per specificare carichi eguali su molti oggetti per volta).

### [Generalità sui comandi](#)<sup>[31]</sup>

#### 3.7.14.10.3 +Y



Questo comando serve ad aggiungere [forze](#)<sup>[324]</sup> dirette come l'asse y. Alla esecuzione del comando si entra in una [fase non modale](#)<sup>[31]</sup> che serve ad ottenere la scelta di un [nodo](#)<sup>[336]</sup>. In questa fase muovendo il mouse si vede un pallino rosso muoversi sullo schermo. Il pallino va a mettersi sul nodo più vicino, indicando il luogo ove verrà messa l'azione se si preme il tasto sinistro del mouse. Per interrompere il comando in questa fase basta premere il tasto destro del mouse o il tasto ESC. Per accettare la posizione indicata dal pallino premere il tasto sinistro del mouse.

Se capita di non vedere il pallino o di vederne due, basta premere il tasto della barra principale che corrisponde al comando [Ridisegna](#)<sup>[178]</sup>, e ciò mentre si sta eseguendo il comando, senza bisogno di uscire.

Scelto il nodo compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[215]</sup>, che serve a prendere il valore della azione. Se si vuole si può ancora interrompere il comando premendo il tasto cancella. Se invece si dà il valore e poi si preme OK la azione verrà aggiunta e il comando termina.

Questo comando può essere usato anche per cancellare le forze precedentemente applicate: basta dare un modulo nullo.

[solo CESCO PLUS].

Le azioni vengono assegnate al caso di carico attivo al momento della esecuzione del comando.

Come tutti i comandi di aggiunta azioni ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati oggetti, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare carichi diversi, o carichi su pochi oggetti). Se invece all'atto della esecuzione

del comando ci sono oggetti selezionati, allora il comando applicherà l'azione prescelta a tutti gli oggetti selezionati (utile per specificare carichi eguali su molti oggetti per volta).

[Generalità sui comandi](#)<sup>[31]</sup>

3.7.14.10.4 -Y



Questo comando serve ad aggiungere [forze](#)<sup>[324]</sup> dirette come l'asse y. Alla esecuzione del comando si entra in una [fase non modale](#)<sup>[31]</sup> che serve ad ottenere la scelta di un [nodo](#)<sup>[336]</sup>. In questa fase muovendo il mouse si vede un pallino rosso muoversi sullo schermo. Il pallino va a mettersi sul nodo più vicino, indicando il luogo ove verrà messa l'azione se si preme il tasto sinistro del mouse. Per interrompere il comando in questa fase basta premere il tasto destro del mouse o il tasto ESC. Per accettare la posizione indicata dal pallino premere il tasto sinistro del mouse.

Se capita di non vedere il pallino o di vederne due, basta premere il tasto della barra principale che corrisponde al comando [Ridisegna](#)<sup>[178]</sup>, e ciò mentre si sta eseguendo il comando, senza bisogno di uscire.

Scelto il nodo compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[215]</sup>, che serve a prendere il valore della azione. Se si vuole si può ancora interrompere il comando premendo il tasto cancella. Se invece si dà il valore e poi si preme OK la azione verrà aggiunta e il comando termina.

Questo comando può essere usato anche per cancellare le forze precedentemente applicate: basta dare un modulo nullo.

[solo CESCO PLUS].

Le azioni vengono assegnate al caso di carico attivo al momento della esecuzione del comando.

Come tutti i comandi di aggiunta azioni ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati oggetti, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare carichi diversi, o carichi su pochi oggetti). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono oggetti selezionati, allora il comando applicherà l'azione prescelta a tutti gli oggetti selezionati (utile per specificare carichi eguali su molti oggetti per volta).

[Generalità sui comandi](#)<sup>[31]</sup>

## 3.7.14.10.5 (+X+Y)



Questo comando serve ad aggiungere [forze](#)<sup>[324]</sup> dirette a +45°. Alla esecuzione del comando si entra in una [fase non modale](#)<sup>[31]</sup> che serve ad ottenere la scelta di un [nodo](#)<sup>[336]</sup>. In questa fase muovendo il mouse si vede un pallino rosso muoversi sullo schermo. Il pallino va a mettersi sul nodo più vicino, indicando il luogo ove verrà messa l'azione se si preme il tasto sinistro del mouse. Per interrompere il comando in questa fase basta premere il tasto destro del mouse o il tasto ESC. Per accettare la posizione indicata dal pallino premere il tasto sinistro del mouse.

Se capita di non vedere il pallino o di vederne due, basta premere il tasto della barra principale che corrisponde al comando [Ridisegna](#)<sup>[178]</sup>, e ciò mentre si sta eseguendo il comando, senza bisogno di uscire.

Scelto il nodo compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[215]</sup>, che serve a prendere il valore della azione. Se si vuole si può ancora interrompere il comando premendo il tasto cancella. Se invece si dà il valore e poi si preme OK la azione verrà aggiunta e il comando termina.

Questo comando può essere usato anche per cancellare le forze precedentemente applicate: basta dare un modulo nullo.

[solo CESCO PLUS].

Le azioni vengono assegnate al caso di carico attivo al momento della esecuzione del comando.

Come tutti i comandi di aggiunta azioni ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati oggetti, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare carichi diversi, o carichi su pochi oggetti). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono oggetti selezionati, allora il comando applicherà l'azione prescelta a tutti gli oggetti selezionati (utile per specificare carichi eguali su molti oggetti per volta).

[Generalità sui comandi](#)<sup>[31]</sup>

## 3.7.14.10.6 (+X-Y)



Questo comando serve ad aggiungere [forze](#)<sup>[324]</sup> dirette a -45°. Alla esecuzione del comando si entra in una [fase non modale](#)<sup>[31]</sup> che serve ad ottenere la scelta di un [nodo](#)<sup>[336]</sup>. In questa fase muovendo il mouse si vede un pallino rosso muoversi sullo schermo. Il pallino va a mettersi sul nodo più vicino, indicando il luogo ove verrà messa l'azione se si preme il tasto sinistro del mouse. Per interrompere il

comando in questa fase basta premere il tasto destro del mouse o il tasto ESC. Per accettare la posizione indicata dal pallino premere il tasto sinistro del mouse.

Se capita di non vedere il pallino o di vederne due, basta premere il tasto della barra principale che corrisponde al comando [Ridisegna](#)<sup>[178]</sup>, e ciò mentre si sta eseguendo il comando, senza bisogno di uscire.

Scelto il nodo compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[215]</sup>, che serve a prendere il valore della azione. Se si vuole si può ancora interrompere il comando premendo il tasto cancella. Se invece si dà il valore e poi si preme OK la azione verrà aggiunta e il comando termina.

Questo comando può essere usato anche per cancellare le forze precedentemente applicate: basta dare un modulo nullo.

[solo CESCO PLUS].

Le azioni vengono assegnate al caso di carico attivo al momento della esecuzione del comando.

Come tutti i comandi di aggiunta azioni ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati oggetti, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare carichi diversi, o carichi su pochi oggetti). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono oggetti selezionati, allora il comando applicherà l'azione prescelta a tutti gli oggetti selezionati (utile per specificare carichi eguali su molti oggetti per volta).

[Generalità sui comandi](#)<sup>[31]</sup>

#### 3.7.14.10.7 (-X+Y)



Questo comando serve ad aggiungere [forze](#)<sup>[324]</sup> dirette a +135°. Alla esecuzione del comando si entra in una [fase non modale](#)<sup>[31]</sup> che serve ad ottenere la scelta di un [nodo](#)<sup>[336]</sup>. In questa fase muovendo il mouse si vede un pallino rosso muoversi sullo schermo. Il pallino va a mettersi sul nodo più vicino, indicando il luogo ove verrà messa l'azione se si preme il tasto sinistro del mouse. Per interrompere il comando in questa fase basta premere il tasto destro del mouse o il tasto ESC. Per accettare la posizione indicata dal pallino premere il tasto sinistro del mouse.

Se capita di non vedere il pallino o di vederne due, basta premere il tasto della barra principale che corrisponde al comando [Ridisegna](#)<sup>[178]</sup>, e ciò mentre si sta eseguendo il comando, senza bisogno di uscire.

Scelto il nodo compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[215]</sup>, che serve a prendere il valore della azione. Se si vuole

si può ancora interrompere il comando premendo il tasto cancella. Se invece si dà il valore e poi si preme OK la azione verrà aggiunta e il comando termina.

Questo comando può essere usato anche per cancellare le forze precedentemente applicate: basta dare un modulo nullo.

[solo CESCO PLUS].

Le azioni vengono assegnate al caso di carico attivo al momento della esecuzione del comando.

Come tutti i comandi di aggiunta azioni ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati oggetti, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare carichi diversi, o carichi su pochi oggetti). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono oggetti selezionati, allora il comando applicherà l'azione prescelta a tutti gli oggetti selezionati (utile per specificare carichi eguali su molti oggetti per volta).

[Generalità sui comandi](#)<sup>[31]</sup>

#### 3.7.14.10.8 (-X-Y)



Questo comando serve ad aggiungere [forze](#)<sup>[324]</sup> dirette a +225°. Alla esecuzione del comando si entra in una [fase non modale](#)<sup>[31]</sup> che serve ad ottenere la scelta di un [nodo](#)<sup>[336]</sup>. In questa fase muovendo il mouse si vede un pallino rosso muoversi sullo schermo. Il pallino va a mettersi sul nodo più vicino, indicando il luogo ove verrà messa l'azione se si preme il tasto sinistro del mouse. Per interrompere il comando in questa fase basta premere il tasto destro del mouse o il tasto ESC. Per accettare la posizione indicata dal pallino premere il tasto sinistro del mouse.

Se capita di non vedere il pallino o di vederne due, basta premere il tasto della barra principale che corrisponde al comando [Ridisegna](#)<sup>[178]</sup>, e ciò mentre si sta eseguendo il comando, senza bisogno di uscire.

Scelto il nodo compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[218]</sup>, che serve a prendere il valore della azione. Se si vuole si può ancora interrompere il comando premendo il tasto cancella. Se invece si dà il valore e poi si preme OK la azione verrà aggiunta e il comando termina.

Questo comando può essere usato anche per cancellare le forze precedentemente applicate: basta dare un modulo nullo.

[solo CESCO PLUS].

Le azioni vengono assegnate al caso di carico attivo al momento della esecuzione del comando.

Come tutti i comandi di aggiunta azioni ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati oggetti, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare carichi diversi, o carichi su pochi oggetti). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono oggetti selezionati, allora il comando applicherà l'azione prescelta a tutti gli oggetti selezionati (utile per specificare carichi eguali su molti oggetti per volta).

[Generalità sui comandi](#)<sup>[31]</sup>

#### 3.7.14.10.9 Qualsiasi



Questo comando serve ad aggiungere [forze](#)<sup>[324]</sup> dirette in modo arbitrario. Alla esecuzione del comando si entra in una [fase non modale](#)<sup>[31]</sup> che serve ad ottenere la scelta di un [nodo](#)<sup>[336]</sup>. In questa fase muovendo il mouse si vede un pallino rosso muoversi sullo schermo. Il pallino va a mettersi sul nodo più vicino, indicando il luogo ove verrà messa l'azione se si preme il tasto sinistro del mouse. Per interrompere il comando in questa fase basta premere il tasto destro del mouse o il tasto ESC. Per accettare la posizione indicata dal pallino premere il tasto sinistro del mouse.

Se capita di non vedere il pallino o di vederne due, basta premere il tasto della barra principale che corrisponde al comando [Ridisegna](#)<sup>[178]</sup>, e ciò mentre si sta eseguendo il comando, senza bisogno di uscire.

Scelto il nodo compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[215]</sup>, che serve a prendere il valore della azione. Se si vuole si può ancora interrompere il comando premendo il tasto cancella. Se invece si dà il valore e poi si preme OK la azione verrà aggiunta e il comando termina.

Questo comando può essere usato anche per cancellare le forze precedentemente applicate.

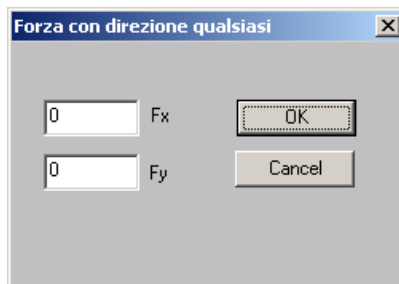
[solo CESCO PLUS].

Le azioni vengono assegnate al caso di carico attivo al momento della esecuzione del comando.

Come tutti i comandi di aggiunta azioni ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati oggetti, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare carichi diversi, o carichi su pochi oggetti). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono oggetti selezionati, allora il comando applicherà l'azione prescelta a tutti gli oggetti selezionati (utile per specificare carichi eguali su molti oggetti per volta).

### [Generalità sui comandi](#)<sup>[31]</sup>

#### 3.7.14.10.9.1 DialogoForzacondirezionequalsiasi



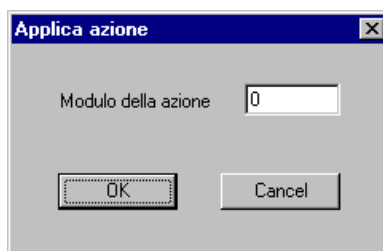
Questo dialogo serve a specificare il valore di una forza diretta in modo arbitrario. L'[unità di misura](#)<sup>[348]</sup> deve essere coerente con il tipo di azione e con le unità di misura correnti. Occorre fornire le componenti della forza in direzione X ed Y. Se entrambe le componenti sono pari a zero l'azione eventualmente presente verrà eliminata dal [nodo](#)<sup>[336]</sup>.

[solo CESCO PLUS].

Le azioni vengono assegnate al caso di carico attivo al momento della esecuzione del comando.

Come tutti i comandi di aggiunta azioni ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati oggetti, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare carichi diversi, o carichi su pochi oggetti). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono oggetti selezionati, allora il comando applicherà l'azione prescelta a tutti gli oggetti selezionati (utile per specificare carichi eguali su molti oggetti per volta).

#### 3.7.14.10.10 DialogoApplicaazione



Questo dialogo serve a specificare il valore di una azione. L'[unità di misura](#)<sup>[348]</sup> deve essere coerente con il tipo di azione e con le unità di misura correnti. Se viene dato un valore negativo l'azione avrà verso opposto rispetto a quello scelto. Se il modulo è pari a zero l'azione verrà eliminata dal [nodo](#)<sup>[336]</sup>.

### 3.7.14.11 Coppia

#### 3.7.14.11.1 Antioraria



Questo comando serve ad aggiungere [momenti](#)<sup>[334]</sup> antiorari. Alla esecuzione del comando si entra in una [fase non modale](#)<sup>[31]</sup> che serve ad ottenere la scelta di un [nodo](#)<sup>[336]</sup>. In questa fase muovendo il mouse si vede un pallino rosso muoversi sullo schermo. Il pallino va a mettersi sul nodo più vicino, indicando il luogo ove verrà messa l'azione se si preme il tasto sinistro del mouse. Per interrompere il comando in questa fase basta premere il tasto destro del mouse o il tasto ESC. Per accettare la posizione indicata dal pallino premere il tasto sinistro del mouse.

Se capita di non vedere il pallino o di vederne due, basta premere il tasto della barra principale che corrisponde al comando [Ridisegna](#)<sup>[178]</sup>, e ciò mentre si sta eseguendo il comando, senza bisogno di uscire.

Scelto il nodo compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[215]</sup>, che serve a prendere il valore della azione. Se si vuole si può ancora interrompere il comando premendo il tasto cancella. Se invece si dà il valore e poi si preme OK la azione verrà aggiunta e il comando termina.

Questo comando può essere usato anche per cancellare i momenti precedentemente applicati: basta dare un modulo nullo.

[solo CESCO PLUS].

Le azioni vengono assegnate al caso di carico attivo al momento della esecuzione del comando.

Come tutti i comandi di aggiunta azioni ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati oggetti, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare carichi diversi, o carichi su pochi oggetti). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono oggetti selezionati, allora il comando applicherà l'azione prescelta a tutti gli oggetti selezionati (utile per specificare carichi eguali su molti oggetti per volta).

[Generalità sui comandi](#)<sup>[31]</sup>

#### 3.7.14.11.2 Oraria



Questo comando serve ad aggiungere [momenti](#)<sup>[334]</sup> orari. Alla esecuzione del comando si entra in una [fase non modale](#)<sup>[31]</sup> che serve ad ottenere la scelta di un [nodo](#)<sup>[336]</sup>. In questa fase muovendo il



mouse si vede un pallino rosso muoversi sullo schermo. Il pallino va a mettersi sul nodo più vicino, indicando il luogo ove verrà messa l'azione se si preme il tasto sinistro del mouse. Per interrompere il comando in questa fase basta premere il tasto destro del mouse o il tasto ESC. Per accettare la posizione indicata dal pallino premere il tasto sinistro del mouse.

Se capita di non vedere il pallino o di vederne due, basta premere il tasto della barra principale che corrisponde al comando [Ridisegna](#)<sup>[178]</sup>, e ciò mentre si sta eseguendo il comando, senza bisogno di uscire.

Scelto il nodo compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[215]</sup>, che serve a prendere il valore della azione. Se si vuole si può ancora interrompere il comando premendo il tasto cancella. Se invece si dà il valore e poi si preme OK la azione verrà aggiunta e il comando termina.

Questo comando può essere usato anche per cancellare i momenti precedentemente applicati: basta dare un modulo nullo.

[solo CESCO PLUS].

Le azioni vengono assegnate al caso di carico attivo al momento della esecuzione del comando.

Come tutti i comandi di aggiunta azioni ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati oggetti, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare carichi diversi, o carichi su pochi oggetti). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono oggetti selezionati, allora il comando applicherà l'azione prescelta a tutti gli oggetti selezionati (utile per specificare carichi eguali su molti oggetti per volta).

[Generalità sui comandi](#)<sup>[31]</sup>

### 3.7.15 Vincolo

#### 3.7.15.1 Nessuno



Questo comando serve ad eliminare i vincoli esterni da un nodo.

#### Modalità operative

Alla esecuzione del comando si entra in una [fase non modale](#)<sup>[31]</sup> che serve ad ottenere la scelta di un [nodo](#)<sup>[336]</sup>. In questa fase muovendo il mouse si vede un pallino rosso muoversi sullo schermo. Il pallino va a mettersi sul nodo più vicino, indicando il luogo ove verrà messo il vincolo se si preme il tasto sinistro

del mouse. Per interrompere il comando in questa fase basta premere il tasto destro del mouse o il tasto ESC. Per accettare la posizione indicata dal pallino premere il tasto sinistro del mouse.

Se capita di non vedere il pallino o di vederne due, basta premere il tasto della barra principale che corrisponde al comando [Ridisegna](#)<sup>[178]</sup>, e ciò mentre si sta eseguendo il comando, senza bisogno di uscire.

Scelto il nodo, il vincolo (nullo in questo caso) verrà istantaneamente applicato ad esso, al posto del vincolo precedentemente applicato.

[solo CESCO PLUS].

Come tutti i comandi di aggiunta vincoli ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati nodi, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare vincoli su pochi nodi). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono nodi selezionati, allora il comando applicherà il vincolo prescelto a tutti i nodi selezionati (utile per specificare vincoli uguali su molti nodi per volta).

[Generalità sui comandi](#)<sup>[31]</sup>

### 3.7.15.2 Incastro



Questo comando serve a vincolare un certo nodo con un incastro.

Per le modalità operative, si rimanda al comando che serve ad eliminare i vincoli ([modalità operative](#)<sup>[217]</sup>).

[solo CESCO PLUS].

Come tutti i comandi di aggiunta vincoli ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati nodi, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare vincoli su pochi nodi). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono nodi selezionati, allora il comando applicherà il vincolo prescelto a tutti i nodi selezionati (utile per specificare vincoli uguali su molti nodi per volta).

### 3.7.15.3 Cerniera



Questo comando serve a vincolare un certo nodo con una cerniera.

Per le modalità operative, si rimanda al comando che serve ad eliminare i vincoli ([modalità operative](#)<sup>[217]</sup>).

[solo CESCO PLUS].

Come tutti i comandi di aggiunta vincoli ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati nodi, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare vincoli su pochi nodi). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono nodi selezionati, allora il comando applicherà il vincolo prescelto a tutti i nodi selezionati (utile per specificare vincoli eguali su molti nodi per volta).

#### 3.7.15.4 Manicotto



Questo comando serve a vincolare un certo nodo con un manicotto. Un manicotto può essere aggiunto solo su [nodi](#)<sup>[336]</sup> ai quali è attaccato un solo ramo o due rami allineati.

Per le modalità operative, si rimanda al comando che serve ad eliminare i vincoli ([modalità operative](#)<sup>[217]</sup>).

[solo CESCO PLUS].

Come tutti i comandi di aggiunta vincoli ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati nodi, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare vincoli su pochi nodi). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono nodi selezionati, allora il comando applicherà il vincolo prescelto a tutti i nodi selezionati (utile per specificare vincoli eguali su molti nodi per volta).

#### 3.7.15.5 Pattino

##### 3.7.15.5.1 Giù



Questo comando serve a vincolare un certo nodo con un pattino posizionato come in figura.

Per le modalità operative, si rimanda al comando che serve ad eliminare i vincoli ([modalità operative](#)<sup>[217]</sup>).

[solo CESCO PLUS].

Come tutti i comandi di aggiunta vincoli ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati nodi, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare vincoli su pochi nodi). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono nodi selezionati, allora il comando applicherà il vincolo prescelto a tutti i nodi selezionati (utile per specificare vincoli eguali su molti nodi per volta).

##### 3.7.15.5.2 Su



Questo comando serve a vincolare un certo nodo con un pattino posizionato come in figura.

Per le modalità operative, si rimanda al comando che serve ad eliminare i vincoli ([modalità operative](#)<sup>[217]</sup>).

[solo CESCO PLUS].

Come tutti i comandi di aggiunta vincoli ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati nodi, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare vincoli su pochi nodi). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono nodi selezionati, allora il comando applicherà il vincolo prescelto a tutti i nodi selezionati (utile per specificare vincoli uguali su molti nodi per volta).

#### 3.7.15.5.3 Sinistra



Questo comando serve a vincolare un certo nodo con un pattino posizionato come in figura.

Per le modalità operative, si rimanda al comando che serve ad eliminare i vincoli ([modalità operative](#)<sup>[217]</sup>).

[solo CESCO PLUS].

Come tutti i comandi di aggiunta vincoli ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati nodi, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare vincoli su pochi nodi). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono nodi selezionati, allora il comando applicherà il vincolo prescelto a tutti i nodi selezionati (utile per specificare vincoli uguali su molti nodi per volta).

#### 3.7.15.5.4 Destra



Questo comando serve a vincolare un certo nodo con un pattino posizionato come in figura.

Per le modalità operative, si rimanda al comando che serve ad eliminare i vincoli ([modalità operative](#)<sup>[217]</sup>).

[solo CESCO PLUS].

Come tutti i comandi di aggiunta vincoli ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati nodi, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare vincoli su pochi nodi). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono nodi selezionati, allora il comando applicherà il vincolo prescelto a tutti i nodi selezionati (utile per specificare vincoli uguali su molti nodi per volta).

#### 3.7.15.5.5 Giù-destra



Questo comando serve a vincolare un certo nodo con un pattino posizionato come in figura.

Per le modalità operative, si rimanda al comando che serve ad eliminare i vincoli ([modalità operative](#)<sup>[217]</sup>).

[solo CESCO PLUS].

Come tutti i comandi di aggiunta vincoli ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati nodi, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare vincoli su pochi nodi). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono nodi selezionati, allora il comando applicherà il vincolo prescelto a tutti i nodi selezionati (utile per specificare vincoli eguali su molti nodi per volta).

#### 3.7.15.5.6 Giù sinistra



Questo comando serve a vincolare un certo nodo con un pattino posizionato come in figura.

Per le modalità operative, si rimanda al comando che serve ad eliminare i vincoli ([modalità operative](#)<sup>[217]</sup>).

[solo CESCO PLUS].

Come tutti i comandi di aggiunta vincoli ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati nodi, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare vincoli su pochi nodi). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono nodi selezionati, allora il comando applicherà il vincolo prescelto a tutti i nodi selezionati (utile per specificare vincoli eguali su molti nodi per volta).

#### 3.7.15.5.7 Su destra



Questo comando serve a vincolare un certo nodo con un pattino posizionato come in figura.

Per le modalità operative, si rimanda al comando che serve ad eliminare i vincoli ([modalità operative](#)<sup>[217]</sup>).

[solo CESCO PLUS].

Come tutti i comandi di aggiunta vincoli ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati nodi, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare vincoli su pochi nodi). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono nodi selezionati, allora il comando applicherà il vincolo prescelto a tutti i nodi selezionati (utile per specificare vincoli eguali su molti nodi per volta).

#### 3.7.15.5.8 Su-sinistra



Questo comando serve a vincolare un certo nodo con un pattino posizionato come in figura.

Per le modalità operative, si rimanda al comando che serve ad eliminare i vincoli ([modalità operative](#)<sup>[217]</sup>).

[solo CESCO PLUS].

Come tutti i comandi di aggiunta vincoli ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati nodi, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare vincoli su pochi nodi). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono nodi selezionati, allora il comando applicherà il vincolo prescelto a tutti i nodi selezionati (utile per specificare vincoli eguali su molti nodi per volta).

### 3.7.15.6 Carrello

#### 3.7.15.6.1 Giù



Questo comando serve a vincolare un certo nodo con un carrello posizionato come in figura. Per le modalità operative, si rimanda al comando che serve ad eliminare i vincoli ([modalità operative](#)<sup>[217]</sup>).

[solo CESCO PLUS].

Come tutti i comandi di aggiunta vincoli ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati nodi, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare vincoli su pochi nodi). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono nodi selezionati, allora il comando applicherà il vincolo prescelto a tutti i nodi selezionati (utile per specificare vincoli eguali su molti nodi per volta).

#### 3.7.15.6.2 Su



Questo comando serve a vincolare un certo nodo con un carrello posizionato come in figura. Per le modalità operative, si rimanda al comando che serve ad eliminare i vincoli ([modalità operative](#)<sup>[217]</sup>).

[solo CESCO PLUS].

Come tutti i comandi di aggiunta vincoli ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati nodi, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare vincoli su pochi nodi). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono nodi selezionati, allora il comando applicherà il vincolo prescelto a tutti i nodi selezionati (utile per specificare vincoli eguali su molti nodi per volta).

#### 3.7.15.6.3 Sinistra



Questo comando serve a vincolare un certo nodo con un carrello posizionato come in figura. Per le modalità operative, si rimanda al comando che serve ad eliminare i vincoli ([modalità operative](#)<sup>[217]</sup>).

[solo CESCO PLUS].

Come tutti i comandi di aggiunta vincoli ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati nodi, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare vincoli su pochi nodi). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono nodi selezionati, allora il comando applicherà il vincolo prescelto a tutti i nodi selezionati (utile per specificare vincoli eguali su molti nodi per volta).

#### 3.7.15.6.4 Destra



Questo comando serve a vincolare un certo nodo con un carrello posizionato come in figura.

Per le modalità operative, si rimanda al comando che serve ad eliminare i vincoli ([modalità operative](#)<sup>[217]</sup>).

[solo CESCO PLUS].

Come tutti i comandi di aggiunta vincoli ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati nodi, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare vincoli su pochi nodi). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono nodi selezionati, allora il comando applicherà il vincolo prescelto a tutti i nodi selezionati (utile per specificare vincoli eguali su molti nodi per volta).

#### 3.7.15.6.5 Giù-destra



Questo comando serve a vincolare un certo nodo con un carrello posizionato come in figura.

Per le modalità operative, si rimanda al comando che serve ad eliminare i vincoli ([modalità operative](#)<sup>[217]</sup>).

[solo CESCO PLUS].

Come tutti i comandi di aggiunta vincoli ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati nodi, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare vincoli su pochi nodi). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono nodi selezionati, allora il comando applicherà il vincolo prescelto a tutti i nodi selezionati (utile per specificare vincoli eguali su molti nodi per volta).

#### 3.7.15.6.6 Giù-sinistra



Questo comando serve a vincolare un certo nodo con un carrello posizionato come in figura.

Per le modalità operative, si rimanda al comando che serve ad eliminare i vincoli ([modalità operative](#)<sup>[217]</sup>).

[solo CESCO PLUS].

Come tutti i comandi di aggiunta vincoli ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati nodi, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare vincoli su pochi nodi). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono nodi selezionati, allora il comando applicherà il vincolo prescelto a tutti i nodi selezionati (utile per specificare vincoli eguali su molti nodi per volta).

#### 3.7.15.6.7 Su-destra



Questo comando serve a vincolare un certo nodo con un carrello posizionato come in figura. Per le modalità operative, si rimanda al comando che serve ad eliminare i vincoli ([modalità operative](#)<sup>[217]</sup> 9q8dru).

[solo CESCO PLUS].

Come tutti i comandi di aggiunta vincoli ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati nodi, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare vincoli su pochi nodi). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono nodi selezionati, allora il comando applicherà il vincolo prescelto a tutti i nodi selezionati (utile per specificare vincoli eguali su molti nodi per volta).

#### 3.7.15.6.8 Su-sinistra



Questo comando serve a vincolare un certo nodo con un carrello posizionato come in figura. Per le modalità operative, si rimanda al comando che serve ad eliminare i vincoli ([modalità operative](#)<sup>[217]</sup>).

[solo CESCO PLUS].

Come tutti i comandi di aggiunta vincoli ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati nodi, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare vincoli su pochi nodi). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono nodi selezionati, allora il comando applicherà il vincolo prescelto a tutti i nodi selezionati (utile per specificare vincoli eguali su molti nodi per volta).

### 3.7.16 Svincolo

#### 3.7.16.1 Nessuno



Questo comando serve ad vincolare completamente (incastrare) un ramo rispetto agli altri attaccati



allo stesso nodo.

### Modalità operative

Alla esecuzione del comando si entra in una [fase non modale](#)<sup>[31]</sup> che serve ad ottenere la scelta di un estremo di un [ramo](#)<sup>[339]</sup>. In questa fase muovendo il mouse si vede un pallino rosso muoversi sullo schermo. Il pallino va a mettersi sull'estremo più vicino del ramo più vicino, indicando il luogo ove verrà messo lo svincolo se si preme il tasto sinistro del mouse. Per interrompere il comando in questa fase basta premere il tasto destro del mouse o il tasto ESC. Per accettare la posizione indicata dal pallino premere il tasto sinistro del mouse.

Se capita di non vedere il pallino o di vederne due, basta premere il tasto della barra principale che corrisponde al comando [Ridisegna](#)<sup>[178]</sup>, e ciò mentre si sta eseguendo il comando, senza bisogno di uscire.

Scelto l'estremo, lo svincolo (nullo in questo caso) verrà istantaneamente applicato ad esso, al posto dello svincolo precedentemente applicato.

[solo CESCO PLUS].

Come tutti i comandi di aggiunta svincoli ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati estremi di aste, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare svincoli su poche aste). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono estremi selezionati, allora il comando applicherà lo svincolo prescelto a tutti gli estremi selezionati (utile per specificare svincoli eguali su molti estremi per volta). Per selezionare un estremo di un'asta deve essere selezionata l'asta e deve essere selezionato il nodo di estremo corrispondente.

[Generalità sui comandi](#)<sup>[31]</sup>

### 3.7.16.2 Completo



Questo comando serve a svincolare completamente (staccare) un ramo rispetto agli altri attaccati allo stesso nodo. Alla esecuzione del comando si entra in una [fase non modale](#)<sup>[31]</sup> che serve ad ottenere la scelta di un estremo di un [ramo](#)<sup>[339]</sup>. In questa fase muovendo il mouse si vede un pallino rosso muoversi sullo schermo. Il pallino va a mettersi sull'estremo più vicino del ramo più vicino, indicando il luogo ove verrà messo lo svincolo se si preme il tasto sinistro del mouse. Per interrompere il comando in questa fase basta premere il tasto destro del mouse o il tasto ESC. Per accettare la posizione indicata

dal pallino premere il tasto sinistro del mouse.

Se capita di non vedere il pallino o di vederne due, basta premere il tasto della barra principale che corrisponde al comando [Ridisegna](#)<sup>[178]</sup>, e ciò mentre si sta eseguendo il comando, senza bisogno di uscire.

Scelto l'estremo, lo svincolo (completo in questo caso) verrà istantaneamente applicato ad esso, al posto dello svincolo precedentemente applicato.

[solo CESCO PLUS].

Come tutti i comandi di aggiunta svincoli ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati estremi di aste, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare svincoli su poche aste). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono estremi selezionati, allora il comando applicherà lo svincolo prescelto a tutti gli estremi selezionati (utile per specificare svincoli eguali su molti estremi per volta). Per selezionare un estremo di un'asta deve essere selezionata l'asta e deve essere selezionato il nodo di estremo corrispondente.

[Generalità sui comandi](#)<sup>[31]</sup>

### 3.7.16.3 Cerniera



Questo comando serve a fare in modo che l'estremo di un [ramo](#)<sup>[339]</sup> sia vincolato con una [cerniera](#)<sup>[313]</sup> (svincolo rotazionale) rispetto agli altri estremi di rami attaccati allo stesso [nodo](#)<sup>[336]</sup>.

Per le modalità operative, si rimanda al comando che applica uno svincolo nullo ([modalità operative](#)<sup>[224]</sup>).

[solo CESCO PLUS].

Come tutti i comandi di aggiunta svincoli ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati estremi di aste, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare svincoli su poche aste). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono estremi selezionati, allora il comando applicherà lo svincolo prescelto a tutti gli estremi selezionati (utile per specificare svincoli eguali su molti estremi per volta). Per selezionare un estremo di un'asta deve essere selezionata l'asta e deve essere selezionato il nodo di estremo corrispondente.

### 3.7.16.4 Cerniera su tutti



Questo comando serve a fare in modo che tutti gli estremi di [rami](#)<sup>[339]</sup> affluenti ad un [nodo](#)<sup>[336]</sup> siano svincolati a [cerniera](#)<sup>[313]</sup> (svincolo rotazionale).

Per le modalità operative, si rimanda al comando che applica uno svincolo nullo ([modalità operative](#)<sup>[224]</sup>).

[solo CESCO PLUS].

Come tutti i comandi di aggiunta svincoli ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati estremi di aste, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare svincoli su poche aste). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono estremi selezionati, allora il comando applicherà lo svincolo prescelto a tutti gli estremi selezionati (utile per specificare svincoli eguali su molti estremi per volta). Per selezionare un estremo di un'asta deve essere selezionata l'asta e deve essere selezionato il nodo di estremo corrispondente.

### 3.7.16.5 Manicotto



Questo comando serve a fare in modo che l'estremo di un [ramo](#)<sup>[339]</sup> sia vincolato con un [manicotto](#)<sup>[330]</sup> (svincolo assiale) rispetto agli altri estremi di rami attaccati allo stesso [nodo](#)<sup>[336]</sup>.

Per le modalità operative, si rimanda al comando che applica uno svincolo nullo ([modalità operative](#)<sup>[224]</sup>).

[solo CESCO PLUS].

Come tutti i comandi di aggiunta svincoli ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati estremi di aste, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare svincoli su poche aste). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono estremi selezionati, allora il comando applicherà lo svincolo prescelto a tutti gli estremi selezionati (utile per specificare svincoli eguali su molti estremi per volta). Per selezionare un estremo di un'asta deve essere selezionata l'asta e deve essere selezionato il nodo di estremo corrispondente.

### 3.7.16.6 Pattino 0°



Questo comando serve a fare in modo che l'estremo di un [ramo](#)<sup>[339]</sup> sia vincolato con un [pattino](#)<sup>[336]</sup> (svincolo traslazionale) rispetto agli altri estremi di rami attaccati allo stesso [nodo](#)<sup>[336]</sup>.

Per le modalità operative, si rimanda al comando che applica uno svincolo nullo ([modalità operative](#)<sup>[224]</sup>).

[solo CESCO PLUS].

Come tutti i comandi di aggiunta svincoli ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati estremi di aste, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare svincoli su poche aste). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono estremi selezionati, allora il comando applicherà lo svincolo prescelto a tutti gli estremi selezionati (utile per specificare svincoli eguali su molti estremi per volta). Per selezionare un estremo di un'asta deve essere selezionata l'asta e deve essere

selezionato il nodo di estremo corrispondente.

### 3.7.16.7 Pattino +45°



Questo comando serve a fare in modo che l'estremo di un [ramo](#)<sup>[339]</sup> sia vincolato con un [pattino](#)<sup>[336]</sup> (svincolo traslazionale) rispetto agli altri estremi di rami attaccati allo stesso [nodo](#)<sup>[336]</sup>.

Per le modalità operative, si rimanda al comando che applica uno svincolo nullo ([modalità operative](#)<sup>[224]</sup>).

[solo CESCO PLUS].

Come tutti i comandi di aggiunta svincoli ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati estremi di aste, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare svincoli su poche aste). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono estremi selezionati, allora il comando applicherà lo svincolo prescelto a tutti gli estremi selezionati (utile per specificare svincoli eguali su molti estremi per volta). Per selezionare un estremo di un'asta deve essere selezionata l'asta e deve essere selezionato il nodo di estremo corrispondente.

### 3.7.16.8 Pattino -45°



Questo comando serve a fare in modo che l'estremo di un [ramo](#)<sup>[339]</sup> sia vincolato con un [pattino](#)<sup>[336]</sup> (svincolo traslazionale) rispetto agli altri estremi di rami attaccati allo stesso [nodo](#)<sup>[336]</sup>.

Per le modalità operative, si rimanda al comando che applica uno svincolo nullo ([modalità operative](#)<sup>[224]</sup>).

[solo CESCO PLUS].

Come tutti i comandi di aggiunta svincoli ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati estremi di aste, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare svincoli su poche aste). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono estremi selezionati, allora il comando applicherà lo svincolo prescelto a tutti gli estremi selezionati (utile per specificare svincoli eguali su molti estremi per volta). Per selezionare un estremo di un'asta deve essere selezionata l'asta e deve essere selezionato il nodo di estremo corrispondente.

### 3.7.16.9 Carrello 0°



Questo comando serve a fare in modo che l'estremo di un [ramo](#)<sup>[339]</sup> sia vincolato con un [carrello](#)<sup>[312]</sup> (svincolo traslazionale e rotazionale) rispetto agli altri estremi di rami attaccati allo stesso [nodo](#)<sup>[336]</sup>.

Per le modalità operative, si rimanda al comando che applica uno svincolo nullo ([modalità operative](#)<sup>[224]</sup>).

[solo CESCO PLUS].

Come tutti i comandi di aggiunta svincoli ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati estremi di aste, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare svincoli su poche aste). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono estremi selezionati, allora il comando applicherà lo svincolo prescelto a tutti gli estremi selezionati (utile per specificare svincoli eguali su molti estremi per volta). Per selezionare un estremo di un'asta deve essere selezionata l'asta e deve essere selezionato il nodo di estremo corrispondente.

### 3.7.16.10 Carrello +90°



Questo comando serve a fare in modo che l'estremo di un [ramo](#)<sup>[339]</sup> sia vincolato con un [carrello](#)<sup>[312]</sup> (svincolo traslazionale e rotazionale) rispetto agli altri estremi di rami attaccati allo stesso [nodo](#)<sup>[336]</sup>. Per le modalità operative, si rimanda al comando che applica uno svincolo nullo ([modalità operative](#)<sup>[224]</sup>).

[solo CESCO PLUS].

Come tutti i comandi di aggiunta svincoli ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati estremi di aste, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare svincoli su poche aste). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono estremi selezionati, allora il comando applicherà lo svincolo prescelto a tutti gli estremi selezionati (utile per specificare svincoli eguali su molti estremi per volta). Per selezionare un estremo di un'asta deve essere selezionata l'asta e deve essere selezionato il nodo di estremo corrispondente.

### 3.7.16.11 Carrello -90°



Questo comando serve a fare in modo che l'estremo di un [ramo](#)<sup>[339]</sup> sia vincolato con un [carrello](#)<sup>[312]</sup> (svincolo traslazionale e rotazionale) rispetto agli altri estremi di rami attaccati allo stesso [nodo](#)<sup>[336]</sup>. Per le modalità operative, si rimanda al comando che applica uno svincolo nullo ([modalità operative](#)<sup>[224]</sup>).

[solo CESCO PLUS].

Come tutti i comandi di aggiunta svincoli ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati estremi di aste, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare svincoli su poche aste). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono estremi selezionati, allora il comando applicherà lo svincolo prescelto a tutti gli estremi selezionati (utile per specificare svincoli eguali su molti estremi per volta). Per selezionare un estremo di un'asta deve essere selezionata l'asta e deve essere selezionato il nodo di estremo corrispondente.

### 3.7.16.12 Carrello +45°



Questo comando serve a fare in modo che l'estremo di un [ramo](#)<sup>[339]</sup> sia vincolato con un [carrello](#)<sup>[312]</sup> (svincolo traslazionale e rotazionale) rispetto agli altri estremi di rami attaccati allo stesso [nodo](#)<sup>[336]</sup>. Per le modalità operative, si rimanda al comando che applica uno svincolo nullo ([modalità operative](#)<sup>[224]</sup>).

[solo CESCO PLUS].

Come tutti i comandi di aggiunta svincoli ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati estremi di aste, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare svincoli su poche aste). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono estremi selezionati, allora il comando applicherà lo svincolo prescelto a tutti gli estremi selezionati (utile per specificare svincoli eguali su molti estremi per volta). Per selezionare un estremo di un'asta deve essere selezionata l'asta e deve essere selezionato il nodo di estremo corrispondente.

### 3.7.16.13 Carrello -45°



Questo comando serve a fare in modo che l'estremo di un [ramo](#)<sup>[339]</sup> sia vincolato con un [carrello](#)<sup>[312]</sup> (svincolo traslazionale e rotazionale) rispetto agli altri estremi di rami attaccati allo stesso [nodo](#)<sup>[336]</sup>. Per le modalità operative, si rimanda al comando che applica uno svincolo nullo ([modalità operative](#)<sup>[224]</sup>).

[solo CESCO PLUS].

Come tutti i comandi di aggiunta svincoli ha due modalità di funzionamento. Se all'atto della esecuzione del comando non sono stati selezionati estremi di aste, il comando consentirà di sceglierli cliccandoli uno per volta (utile per specificare svincoli su poche aste). Se invece all'atto della esecuzione del comando ci sono estremi selezionati, allora il comando applicherà lo svincolo prescelto a tutti gli estremi selezionati (utile per specificare svincoli eguali su molti estremi per volta). Per selezionare un estremo di un'asta deve essere selezionata l'asta e deve essere selezionato il nodo di estremo corrispondente.

## 3.7.17 Casi

### 3.7.17.1 Aggiungi



Questo comando serve ad aggiungere un nuovo caso di carico a quelli esistenti. Appena eseguito il comando il caso viene aggiunto e il programma si posiziona nel nuovo caso di carico, vuoto.

Un nuovo caso di carico deve ricevere un identificatore (una descrizione) ed un tipo. Il tipo ed il descrittore verranno riportati nel tabulato. Il tipo può essere utile per compatibilità con i programmi che

eseguono le verifiche in modo automatico.

Alla esecuzione del programma compare un opportuno dialogo.<sup>1</sup>se che chiede l'identificatore ed il tipo.

### 3.7.17.2 Azzerà

[CESCO PLUS]

Questo comando serve ad azzerare il caso di carico attivo.

### 3.7.17.3 Somma



Questo comando somma al caso di carico corrente tutte le azioni presenti in un caso di carico specificato dall'utente, opportunamente fattorizzate. Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[231]</sup> che chiede i dati necessari ad eseguire la somma.

#### 3.7.17.3.1 Dialogo-Sommadiuncaso



Questo dialogo consente di specificare il caso di carico da sommare a quello corrente, ed il fattore moltiplicativo da applicare alle azioni del caso di carico specificato.

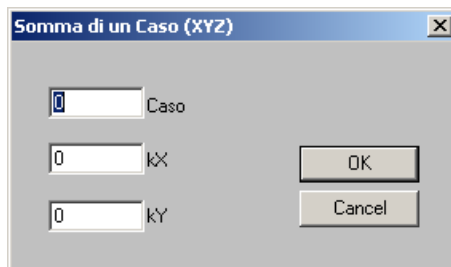
### 3.7.17.4 Somma XY



Questo comando somma al caso di carico corrente tutte le azioni presenti in un caso di carico specificato dall'utente, opportunamente fattorizzate e redirette. E' molto utile, ad esempio, per specificare azioni orizzontali globalmente pari a una frazione di quelle verticali (ad esempio forze fittizie per i fuori piombo).

Alla esecuzione del comando viene richiamato un opportuno [dialogo](#)<sup>[232]</sup> hwt72s che consente di specificare i dati necessari.

## 3.7.17.4.1 Dialogo-SommadiuncasoXY



Questo dialogo consente di specificare il caso di carico da sommare a quello corrente, ed i fattori moltiplicativi  $k_x$  e  $k_y$  da adottare.

Per ogni forza nodale applicata nel caso prescelto, il programma valuta il modulo  $F$ , poi aggiunge una forza nel caso corrente che ha nello stesso nodo una componente  $x$  pari a  $k_x F$ , ed una componente  $y$  pari a  $k_y F$ .

Per ogni carico uniformemente distribuito applicato nel caso prescelto, il programma valuta il modulo  $p$  della intensità del carico distribuito, poi aggiunge un carico distribuito nel caso corrente e nella stessa asta, che ha una componente  $x$  pari a  $k_x p$ , ed una componente  $y$  pari a  $k_y p$ .

Con i carichi linearmente distribuiti si ragiona allo stesso modo, prendendo le intensità al primo ed al secondo estremo.

Il comando di somma  $xy$  non riguarda né i cedimenti, né i carichi termici, che vengono copiati con fattore unitario dal caso scelto al caso corrente.

## 3.7.17.5 Edita

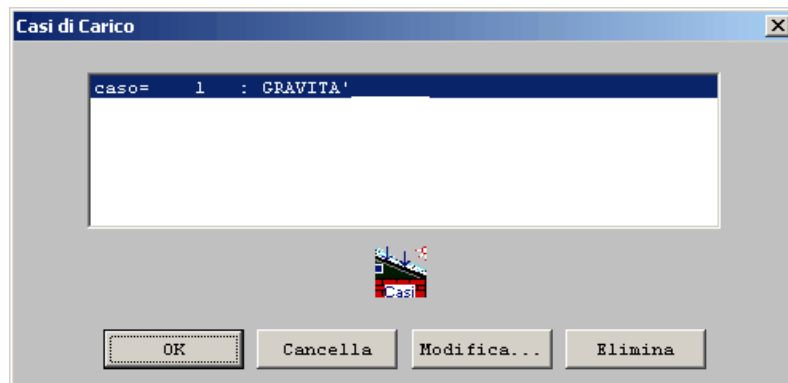
## EDIT-CASI-EDITA (SOLO CESCO PLUS)



Questo comando serve a modificare i dati di un caso di carico (descrittore o etichetta di tipo), o a cancellare casi di carico. Appena eseguito compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[233]</sup> che consente di fare le scelte desiderate.



## 3.7.17.5.1 Dialogo-Casidicarico



Questo dialogo consente di modificare l'etichetta di tipo o il descrittore del caso di carico selezionato (tasto Modifica...) oppure di cancellare del tutto il caso di carico selezionato (tasto Elimina). Se un caso di carico viene cancellato, i casi di carico successivi vengono rinumerati scalando di una unità la loro posizione. Le combinazioni sono automaticamente ridefinite.

Il dialogo serve anche a modificare o cancellare combinazioni, se richiamato dal comando Combinazioni-Edita.

## 3.7.17.6 Precedente

**EDIT-CASI-PRECEDENTE (SOLO CESCO PLUS)**

Questo comando consente di posizionarsi nel caso di carico precedente quello attivo. Se il caso attivo è il numero 1, ci si posiziona sull'ultimo caso di carico o, se sono presenti combinazioni, sull'ultima combinazione di carico. Se è attiva una combinazione ci si posiziona sulla combinazione precedente. Se è attiva la combinazione 1 ci si posiziona sull'ultimo caso di carico.

## 3.7.17.7 Successivo

**EDIT-CASI-SUCCESSIVO (SOLO CESCO PLUS)**

Questo comando consente di posizionarsi nel caso di carico successivo a quello attivo. Se il caso attivo è l'ultimo, ci si posiziona sul primo caso di carico o, se sono presenti combinazioni, sulla prima combinazione di carico. Se è attiva una combinazione ci si posiziona sulla combinazione successiva. Se è attiva la ultima combinazione ci si posiziona sul primo caso di carico.

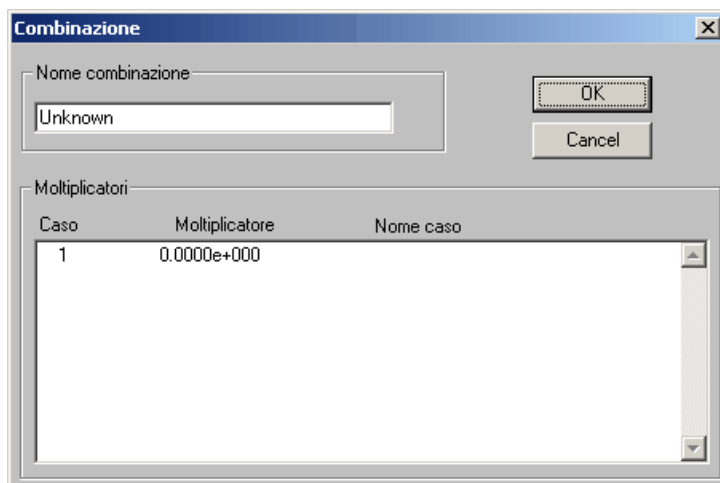
## 3.7.18 Combinazioni

## 3.7.18.1 Aggiungi

**EDIT-COMBINAZIONI-AGGIUNGI (SOLO CESCO PLUS)**

Questo comando consente di aggiungere una combinazione al modello. Appena eseguito, si apre un opportuno [dialogo](#)<sup>[234]</sup> che consente di fissare i moltiplicatori dei casi di carico base ed il descrittore che individuano la combinazione.

#### 3.7.18.1.1 Dialogo-Combinazione



Questo dialogo consente di definire una combinazione. Nel riquadro Nome Combinazione occorre fornire un descrittore che illustri il significato della combinazione. Nel riquadro inferiore occorre invece modificare i moltiplicatori (che sono proposti nulli) relativi a ciascun caso di carico base.

#### 3.7.18.2 Edita



Questo comando serve a modificare i dati di una combinazione di carico (descrittore o moltiplicatori), o a cancellare combinazioni di carico. Appena eseguito compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[233]</sup> che consente di fare le scelte desiderate.

#### 3.7.18.3 Importa



Questo comando serve a leggere nuove combinazioni da un file, aggiungendole a quelle esistenti. Il file deve avere il formato chiarito nel seguito, identico a quello di uscita del programma COMBINAZIONI.

Il file deve essere in formato TESTO (.txt) e deve contenere tante righe quante sono le combinazioni da aggiungere. Ogni riga deve essere composta da più campi, ciascuno dei quali separato da un segno di tabulazione dal successivo (file tab delimited). I campi sono:

Numero della combinazione

Fattore del primo caso di carico in questa combinazione

Fattore del secondo caso di carico in questa combinazione

Fattore del terzo caso di carico in questa combinazione

.....

e così via.

Ad esempio, il file seguente aggiunge tre combinazioni a un modello con due casi di carico:

```
-----  
1      1.40      1.40  
2      1.00      1.40  
3      1.40      1.00  
-----
```

E' essenziale che su ogni riga stia un numero di campi pari al numero di casi di carico + 1.

Grazie a questo comando è possibile importare molte combinazioni per volta all'interno di CESCO PLUS.

#### 3.7.18.4 Elimina tutte!



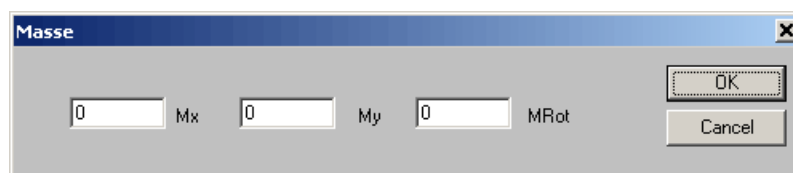
Questo comando serve a rimuovere immediatamente tutte le combinazioni definite precedentemente nel modello.

### 3.7.19 Masse

#### 3.7.19.1 Aggiungi

Questo comando serve ad aggiungere massa ai nodi selezionati. La massa specificata con questo comando (mediante un opportuno [dialogo](#)<sup>[235]</sup>) verrà aggiunta identicamente a tutti i nodi selezionati al momento in cui il comando è stato eseguito.

##### 3.7.19.1.1 DialogoAggiuntadimasse



Questo dialogo consente di aggiungere le masse specificate ai nodi selezionati (ad ogni nodo sarà sommata la massa specificata in questo dialogo). La massa traslazionale può essere diversa nelle due direzioni. La massa rotazionale va interpretata come un momento di inerzia, e generalmente non viene applicata, a meno di non voler simulare masse che abbiano un momento di inerzia non trascurabile rispetto all'asse di rotazione (ad esempio nel caso di macchinari o amminnicoli non modellati).

Il programma legge le masse convertite nelle forze corrispondenti. Se ad esempio di deve dare una massa di 27Kg e l'unità di forza attiva è il Kg, occorrerà scrivere 27. Se invece l'unità attiva è il N, occorrerà scrivere  $27 \times 9,81 = 264,87$ , e così via. Questa procedura semplifica di molto le cose, poiché di solito le masse sono conosciute appunto in base al loro peso. La conversione da unità di forza in unità di massa propriamente detta è fatta dal programma.

### 3.7.19.2 Caso

Questo comando serve ad **aggiungere** massa al modello trasformando i carichi statici nelle corrispondenti masse. Appena eseguito il comando si presenta un opportuno [dialogo](#)<sup>[237]</sup> che consente di specificare i dati necessari alla esecuzione del comando stesso.

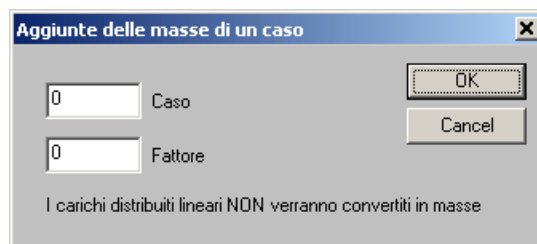
Questo comando è il comando di elezione per la aggiunta di masse, vale a dire che questo è il comando normalmente usato. Grazie ad esso i carichi statici vengono automaticamente fattorizzati e convertiti nelle masse corrispondenti, che vengono poi applicate ai nodi di pertinenza.

E' da tenere presente che non tutti i carichi possono essere convertiti in masse. Al momento il programma converte in masse le FORZE applicate ai nodi ed i carichi uniformemente distribuiti sui rami. NON i carichi lineari o le coppie ai nodi.

L'esecuzione del comando per più di una volta comporta l'ordinato e successivo aggiungersi ai nodi delle masse corrispondenti, di modo che se, ad esempio, esistono tre casi di carico associati ai permanenti e due ai carichi variabili, il comando dovrà essere eseguito cinque volte, in modo che le successive aggiunte di massa portino alla situazione finale desiderata.

Se nel corso del procedimento si desidera riazzerare la situazione e ricominciare, occorrerà azzerare le masse con il comando [Canc Sel](#)<sup>[237]</sup>.

## 3.7.19.2.1 DialogoAggiuntadimasse1



Questo dialogo consente di specificare il caso di carico da trattare ed un fattore moltiplicativo. Il programma prenderà tutte le azioni applicate nel caso di carico specificato, del tipo forza NODALE e CARICO UNIFORMEMENTE DISTRIBUITO, applicherà il fattore amplificativo o riduttivo prescelto, ed aggiungerà ai nodi di pertinenza la massa corrispondente.

## 3.7.19.3 Canc Sel

Questo comando serve ad **cancellare** massa dai nodi selezionati, azzerandola. Il comando ha effetto immediato.

## 3.8 Cinematica

## 3.8.1 Esegui

Questo comando comporta la immediata [analisi cinematica](#)<sup>[308]</sup> della struttura attiva (nella [modalità](#)<sup>[332]</sup> Scienza la struttura attiva può essere la struttura [Resa Isostatica](#)<sup>[340]</sup>, la [Principale](#)<sup>[338]</sup> o una [Fittizia](#)<sup>[321]</sup>, cinematicamente identiche tra loro, anziché la [reale](#)<sup>[339]</sup>).

Appena eseguita l'analisi cinematica compare un messaggio che classifica la struttura come [isostatica](#)<sup>[327]</sup>, [iperstatica](#)<sup>[326]</sup> o [ipostatica](#)<sup>[326]</sup>, ed avvisa se sono presenti [moti rigidi](#)<sup>[335]</sup>, chiedendo di osservarli. Ciò si fa con il comando [Moto Rigido](#)<sup>[237]</sup>.

## 3.8.2 Moto rigido

Questo comando comporta la visualizzazione del primo [moto rigido](#)<sup>[335]</sup> (se presente, se non ve ne sono il comando è inaccessibile).

### 3.8.3 Successivo

Questo comando comporta la visualizzazione del [moto\\_rigido](#)<sup>[335]</sup> successivo a quello correntemente mostrato. Una struttura può infatti dare luogo a più moti rigidi indipendenti tra loro.

### 3.8.4 Precedente

Questo comando comporta la visualizzazione del [moto\\_rigido](#)<sup>[335]</sup> precedente a quello correntemente mostrato. Una struttura può infatti dare luogo a più moti rigidi indipendenti tra loro.

### 3.8.5 Scala

Questo comando consente di specificare la scala con la quale verrà mostrato un moto rigido. Se il moto rigido non si vede bene ampliare la scala, altrimenti, se va fuori schermo, ridurla.

### 3.8.6 Numerazione "aste"

Questo comando è una opzione che può essere attivata o meno. Se è attiva verrà indicata la numerazione delle [aste](#)<sup>[309]</sup>, numerazione che ha utilità esclusivamente nell'ambito della [analisi cinematica](#)<sup>[308]</sup>. La numerazione delle aste non deve essere confusa con la numerazione delle [membrature](#)<sup>[331]</sup>.

### 3.8.7 Interroga

Questo comando dà informazioni dettagliate sui risultati della [analisi cinematica](#)<sup>[308]</sup>. Alla sua esecuzione (possibile solo dopo aver eseguito il comando [Esegui](#)<sup>[237]</sup>) compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[239]</sup> che riepiloga le informazioni sui risultati della analisi.

### 3.8.7.1 DialogoAnalisicinematica

Input	Label	Value
1	Numero di aste	1
3	Numero di gradi di libertà	3
4	Numero di vincoli esterni	4
0	Numero di cicli chiusi	0
1	Grado nominale di iperstaticità	1
0	Numero totale di moti rigidi	0
0	Moto rigido corrente	0

Questo dialogo è usato per riepilogare i risultati relativi alla analisi cinematica. Esso serve anche per sapere quanti sono gli eventuali moti rigidi indipendenti e quale sia il moto correntemente rappresentato.

### 3.8.8 Suggerimenti

Questo dialogo comporta la comparsa di un messaggio con alcuni suggerimenti su come fare la analisi cinematica “a mano” avvalendosi di schemi elementari. Non sempre il programma è in grado di dare suggerimenti, ma molte volte sì.

## 3.9 Predimensiona

### 3.9.1 Tipologia

Questo comando serve per assegnare alle [membrature](#)<sup>[331]</sup> una [tipologia](#)<sup>[346]</sup>. Tale assegnazione costituisce un condizione necessaria per poter eseguire il predimensionamento automatico, infatti se esistono [membrature](#)<sup>[331]</sup> che non hanno avuta assegnata una [tipologia](#)<sup>[346]</sup>, il [predimensionamento](#)<sup>[338]</sup> non può essere eseguito.

Appena il comando viene eseguito ci si trova di fronte un *property sheet* composto da due dialoghi: un [dialogo](#)<sup>[241]</sup> per le tipologie in acciaio, un [dialogo](#)<sup>[242]</sup> per le tipologie in calcestruzzo. Questi due dialoghi consentono di specificare esattamente la tipologia che si vuole assegnare.

[CESCO PLUS]

Nella versione professionale di Cesco si aggiungono i dialoghi per il [legno](#)<sup>[243]</sup> e per materiali generici.

Usciti con “OK” dal *property sheet* compare un messaggio che chiede se si vuole attribuire la tipologia descritta a tutte le membrature o, invece, se la si vuole attribuire solo ad alcune. Se si risponde sì la tipologia verrà attribuita a tutte le membrature. Se si dice no il comando entra in una [fase non modale](#)<sup>[31]</sup> che serve ad ottenere la scelta di una membratura. In questa fase muovendo il mouse si vede un pallino rosso muoversi sullo schermo. Il pallino va a mettersi sulla membratura più vicina, indicando la membratura alla quale verrà assegnata la tipologia se si preme il tasto sinistro del mouse. Per interrompere il comando in questa fase basta premere il tasto destro del mouse o il tasto ESC. Per accettare la posizione indicata dal pallino premere il tasto sinistro del mouse.

Se capita di non vedere il pallino o di vederne due, basta premere il tasto della barra principale che corrisponde al comando [Ridisegna](#)<sup>[178]</sup>, e ciò mentre si sta eseguendo il comando, senza bisogno di uscire.

#### [CESCO PLUS]

Nella versione professionale di Cescro la scelta non è se applicare la tipologia a *tutte* le membrature o se cliccarle, ma è se applicare la tipologia agli elementi (membrature) *selezionati* o se cliccare le membrature una per una.

Per uscire dalla fase non modale del comando (che consente di cliccare più volte, su più membrature) e interromperlo, si deve premere il tasto destro del mouse o il tasto ESC della tastiera.

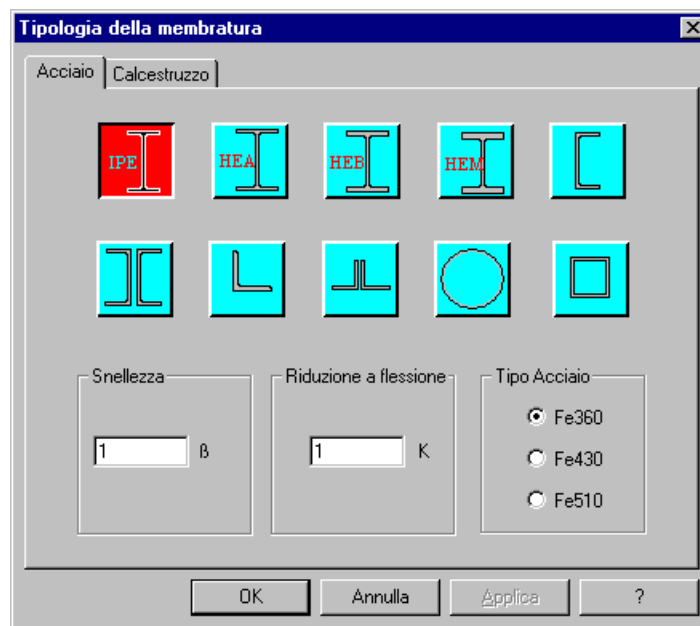
**L'assegnazione di una tipologia comporta l'immissione di dimensioni iniziali che possono non essere punto *adatte* alla struttura in esame. Solo dopo aver eseguito il predimensionamento le dimensioni saranno *adatte*, nei limiti in cui il predimensionamento svolge il suo compito.**

**L'assegnazione di una tipologia rende non più aggiornati i valori dei diagrammi e della deformata, che pertanto non saranno più accessibili. Per riottenerli sarà necessario eseguire il predimensionamento automatico, o, in alternativa, un solving.**

[Generalità sui comandi](#)<sup>[31]</sup>



### 3.9.1.1 DialogoAcciaio

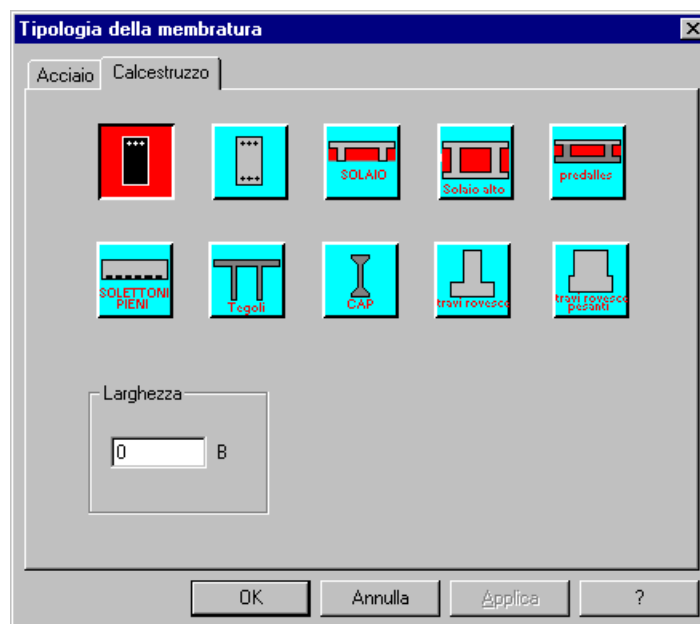


Questo dialogo è impiegato per descrivere una [tipologia](#)<sup>[346]</sup> che usa sezioni realizzate in acciaio. Occorre scegliere un tipo sezionale premendo il bottone-immagine corrispondente, specificare uno dei tre possibili tipi di acciaio, specificare un coefficiente di libera inflessione  $b$ , ed un fattore di riduzione a flessione  $k$ .

Il [coefficiente di libera inflessione](#)<sup>[314]</sup> serve a determinare la [snellezza](#)<sup>[344]</sup> della [membratura](#)<sup>[331]</sup> alla quale viene assegnata la tipologia. Esso si riferisce a sbandamenti nel piano della struttura e non tiene in conto quanto avviene fuori piano. Nel predimensionamento si assume che lo sbandamento fuori piano della membratura sia impedito.

Il fattore di riduzione a flessione è un numero che consente di ridurre artificialmente le caratteristiche di resistenza a flessione, in modo da soddisfare implicitamente anche le verifiche di deformabilità.

### 3.9.1.2 DialogoCalcestruzzo



Questo dialogo è impiegato per descrivere una [tipologia](#)<sup>[346]</sup> che usa sezioni realizzate in calcestruzzo. Occorre scegliere un tipo sezionale premendo il bottone-immagine corrispondente, e specificare la larghezza B dell'elemento, usando le unità di misura attive.

La larghezza B è la misura della sezione in direzione normale al piano dello schema strutturale.

### 3.9.1.3 DialogoLegno

Questo dialogo è impiegato per descrivere una [tipologia](#)<sup>[346]</sup> che usa sezioni realizzate in legno. Occorre scegliere un tipo sezionale premendo il bottone-immagine corrispondente, e specificare la larghezza B dell'elemento, usando le unità di misura attive.

La larghezza B è la misura della sezione in direzione normale al piano dello schema strutturale.

I dati relativi alle strutture in legno, data l'estrema variabilità delle caratteristiche statiche di questo materiale, sono specificati facendo riferimento a quanto prescritto dall'EC5. Sono presenti quattro famiglie di classi di resistenza:

1. le classi Cxx si riferiscono a legno massiccio di conifere e di pioppo
2. le classi dxx si riferiscono a legname di latifoglie
3. le classi GLxxh si riferiscono a legno lamellare incollato omogeneo
4. le classi GLxxc si riferiscono a legno lamellare incollato combinato

Per prima cosa si sceglie il tipo sezionale: rettangolare o circolare piena. Se la sezione è rettangolare, occorre fornirne il valore di larghezza B.

Come seconda cosa si sceglie il materiale dalla lista disponibile. Nel caso di "legno utente" tutti i dati dovranno essere forniti da parte dell'utente. Nel caso in cui il legno appartenga ad una delle tipologie elencate (cfr. EC5), il programma riempie da solo i campi relativi alle tensioni caratteristiche per

flessione,  $f_{m,k}$ , per trazione parallela alle fibre,  $f_{t,0,k}$ , per compressione parallela alle fibre  $f_{c,0,k}$ . Vengono anche automaticamente riempiti i campi relativi al modulo elastico medio parallelo  $E_0$ , mean, e tangenziale medio  $G_{mean}$ .

I valori di resistenza possono essere ridotti dal fattore  $k_{red}$ , che tiene in conto tutti quei fattori che possono portare ad una riduzione della resistenza (ad esempio l'umidità, o la direzione del carico rispetto a quella delle fibre, o la durata del carico, ecc.).

**Siccome i dati di resistenza sono dati caratteristici, l'utente dovrà porre attenzione al modo in cui specifica i valori dei due coefficienti,  $\gamma_M$  e  $\gamma_F$ .**

Se i carichi **non** sono stati fattorizzati (tensioni ammissibili) allora vanno specificati i valori di  $\gamma_M$  e  $\gamma_F$  maggiori di 1 previsti dalla norma (per  $\gamma_M$  viene proposto il valore 1.3, per  $\gamma_F$  il valore di 1.35 proposto dalla norma per carichi permanenti). Il programma risale al valore ammissibile dividendo i valori caratteristici sia per  $\gamma_M$  che per  $\gamma_F$ , quest'ultima riduzione è necessaria dato che i carichi non sono stati fattorizzati.

Invece se le combinazioni definite sono combinazioni già fattorizzate (stati limite), allora occorrerà specificare il solo  $\gamma_M$  ma non  $\gamma_F$ , che sarà posto eguale ad 1. In questo modo la tensione di riferimento sarà calcolata come valore caratteristico diviso per  $\gamma_M$ .

In ogni modo, chiariamo che il programma assume come valori limite della tensione i valori ottenuti con la seguente formula:

$$\text{valore ammissibile} = \text{valore caratteristico} * k_{red} / \gamma_F / \gamma_M$$

Questi valori saranno poi raffrontati con i valori di tensione letti nelle varie combinazioni.

Per quanto riguarda la tensione limite di compressione, essa viene ridotta in funzione della snellezza (nel piano) dell'elemento da predimensionare, mediante le curve proposte da EC5 relativamente al legno massiccio ed al legno lamellare.

### 3.9.2 Imposta iterazione

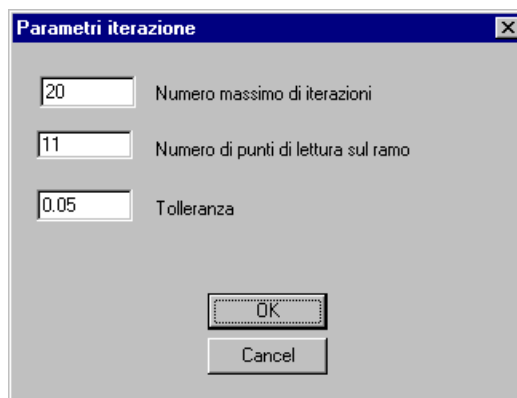
Il predimensionamento automatico comporta l'esecuzione di un procedimento iterativo, volto a raggiungere l'omogeneità e la coerenza tra le dimensioni degli elementi, le sollecitazioni di calcolo e le verifiche usate per predimensionare.

Come tutti i procedimenti iterativi anche questo può essere impostato diversamente, a seconda degli obiettivi che si vogliono raggiungere. Le impostazioni predefinite vanno bene nella maggior parte

dei casi, ma non si può escludere che in certi particolari casi sia necessario aumentare il numero massimo di iterazioni o variare la tolleranza.

Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[245]</sup> che consente di fissare i nuovi valori da usare per la prossima iterazione.

### 3.9.2.1 DialogoParametriiterazione



Questo dialogo serve ad impostare l'iterazione che porta al predimensionamento automatico.

Il campo “**numero massimo di iterazioni**” specifica qual è il numero di iterazione massimo da eseguire, raggiunto il quale, anche in assenza di convergenza, il processo si arresta.

Il campo “**numero di punti di lettura sul ramo**”, stabilisce il numero di punti in cui viene letto il valore delle azioni interne, al fine di eseguire le verifiche previste dal predimensionamento.

Il campo “**Tolleranza**” specifica il numero usato come riferimento per valutare l'errore commesso: se l'errore relativo è inferiore alla tolleranza il procedimento iterativo viene arrestato.

Date le approssimazioni insite nell'approccio, non ha alcun senso specificare tolleranze tipo  $1e-12$ , centinaia di punti di lettura, o limiti superiori per il numero di iterazioni pari a centinaia.

### 3.9.3 Esegui!

Questo comando dà avvio al procedimento iterativo che, a partire dalle tipologie assegnate, lo schema ed i carichi applicati, dà le probabili dimensioni degli elementi.

L'esecuzione di questo comando comporta anche, automaticamente, il calcolo dei diagrammi, delle reazioni vincolari e della spostata (pertanto è inutile fare dopo un solving), tuttavia il principale risultato di questo comando sono le altezze delle varie membrature, **altezze che dopo l'esecuzione del comando saranno diverse da quelle di tentativo inizialmente introdotte.**

Il predimensionamento tiene in conto solo alcuni dei fenomeni da controllare, pertanto una verifica è sempre necessaria. Scopo del predimensionamento è dare un'idea dell'ingombro che realisticamente avranno le membrature, in modo da consentire di modificare quanto dovuto prima di portare avanti un progetto non fattibile.

## 3.10 Plv

### 3.10.1 Aggiungi spostamento



Questo comando viene usato per aggiungere alla lista delle incognite una nuova incognita cinematica, vale a dire una traslazione o una rotazione, relativa o assoluta.

Il comando è attivo solo nella [modalità](#)<sup>[332]</sup> Congruenza, e solo se il numero totale di incognite è inferiore a tre. E' inoltre necessario che sia attiva la struttura [reale](#)<sup>[339]</sup> (comando [Reale](#)<sup>[247]</sup>). Se non è attiva la struttura reale il comando è inaccessibile.

Alla esecuzione del comando il programma entra in una [fase non modale](#)<sup>[31]</sup>, che serve ad ottenere la scelta di un punto del piano. In questa fase muovendo il mouse si vede un pallino rosso muoversi sullo schermo. Per interrompere il comando in questa fase basta premere il tasto destro del mouse o il tasto ESC. Per accettare la posizione indicata dal pallino premere il tasto sinistro del mouse.

Se capita di non vedere il pallino o di vederne due, basta premere il tasto della barra principale che corrisponde al comando [Ridisegna](#)<sup>[178]</sup>, e ciò mentre si sta eseguendo il comando, senza bisogno di uscire.

Una volta scelto il punto desiderato, il programma chiede se si vuole uno spostamento assoluto o uno spostamento relativo. Se lo spostamento è assoluto il programma cerca il nodo più vicino al punto specificato. Se lo spostamento è relativo il programma cerca l'estremo di ramo più vicino al punto considerato.

Il programma esegue dei controlli di coerenza e chiede solo ciò che è sensato chiedere. Ad esempio se si sceglie uno spostamento assoluto su un nodo che è incastrato il programma dà un messaggio di errore ed il comando termina. Se è libera una sola componente di spostamento ([cerniera](#)<sup>[313]</sup>, [pattino](#)<sup>[336]</sup>, [manicotto](#)<sup>[330]</sup>), il programma capisce che è quella l'incognita. Se ve ne sono due ([carrello](#)<sup>[312]</sup>) o tre (estremo liero) chiede se interessa la traslazione o la rotazione.

Nella definizione dello spostamento può capitare che il programma chieda un angolo, mediante un opportuno [dialogo](#)<sup>[197]</sup>. Ciò avviene quando si chiede la traslazione di un punto che può traslare liberamente in due direzioni. L'angolo, in tal caso, serve a specificare la direzione dello spostamento incognito.

Alla nuova incognita cinematica vien fatto corrispondere un nuovo simbolo di incognita, che dipende dalla posizione dell'incognita aggiunta (prima, seconda o terza incognita), e dal fatto che essa sia traslazionale o rotazionale.

Per le incognite cinematiche i simboli usati sono quelli della tabella seguente:

POSIZIONE	TIPO	SIMBOLO
1	TRASLAZIONALE	s
2	TRASLAZIONALE	t
3	TRASLAZIONALE	v
1	ROTAZIONALE	f
2	ROTAZIONALE	g
3	ROTAZIONALE	h

L'incognita viene mostrata sia sulla struttura [reale](#)<sup>[339]</sup> che sulla [resa isostatica](#)<sup>[340]</sup>.

### 3.10.2 Rimuovi spostamenti



Questo comando comporta la rimozione di tutte le incognite cinematiche dalla lista delle incognite. E' utile se si vogliono chiedere altri spostamenti, se si è cambiata idea, o se si vuole ricominciare ad applicare il plv partendo da capo.

### 3.10.3 Rimuovi scelta iperstatiche



Questo comando comporta la rimozione di tutte le incognite iperstatiche dalla lista delle incognite. E' utile se si vogliono chiedere altri iperstatiche, diverse da quelle precedentemente specificate, se si è cambiata idea, se la scelta precedente si è rivelata errata, o se si vuole ricominciare ad applicare il plv partendo da capo.

### 3.10.4 Reale



L'applicazione del [plv](#)<sup>[337]</sup> comporta l'impiego di varie strutture (la [reale](#)<sup>[339]</sup>, la [resa isostatica](#)<sup>[340]</sup>, la [principale](#)<sup>[338]</sup>, la o le [fittizie](#)<sup>[321]</sup>) ciascuna delle quali assolve un certo compito ed ha un certo significato.

Questo comando comporta la visualizzazione della struttura reale, con i suoi vincoli ed i suoi carichi, le sue reazioni vincolari i suoi diagrammi di azione interna (se la struttura è stata risolta).

### 3.10.5 Resa Isostatica



L'applicazione del [plv](#)<sup>[337]</sup> comporta l'impiego di varie strutture (la [reale](#)<sup>[339]</sup>, la [resa isostatica](#)<sup>[340]</sup>, la [principale](#)<sup>[338]</sup>, la o le [fittizie](#)<sup>[321]</sup>) ciascuna delle quali assolve un certo compito ed ha un certo significato.

Questo comando comporta la visualizzazione della struttura resa isostatica, con i suoi vincoli ed i suoi carichi, le sue reazioni vincolari i suoi diagrammi di azione interna (se la struttura è stata risolta).

In questa struttura si vedono chiaramente le incognite iperstatiche e quelle cinematiche.

### 3.10.6 Principale



L'applicazione del [plv](#)<sup>[337]</sup> comporta l'impiego di varie strutture (la [reale](#)<sup>[339]</sup>, la [resa isostatica](#)<sup>[340]</sup>, la [principale](#)<sup>[338]</sup>, la o le [fittizie](#)<sup>[321]</sup>) ciascuna delle quali assolve un certo compito ed ha un certo significato.

Questo comando comporta la visualizzazione della struttura principale, con i suoi vincoli ed i suoi carichi, le sue reazioni vincolari i suoi diagrammi di azione interna (se la struttura è stata risolta).

### 3.10.7 Fittizia 1



L'applicazione del [plv](#)<sup>[337]</sup> comporta l'impiego di varie strutture (la [reale](#)<sup>[339]</sup>, la [resa isostatica](#)<sup>[340]</sup>, la [principale](#)<sup>[338]</sup>, la o le [fittizie](#)<sup>[321]</sup>) ciascuna delle quali assolve un certo compito ed ha un certo significato.

Questo comando comporta la visualizzazione della prima struttura fittizia (la fittizia che è associata alla prima incognita, sia essa iperstatica o cinematica), con i suoi vincoli ed i suoi carichi, le sue reazioni vincolari i suoi diagrammi di azione interna (accessibili se la struttura è stata risolta).

### 3.10.8 Fittizia 2



L'applicazione del [plv](#)<sup>[337]</sup> comporta l'impiego di varie strutture (la [reale](#)<sup>[339]</sup>, la [resa isostatica](#)<sup>[340]</sup>, la [principale](#)<sup>[338]</sup>, la o le [fittizie](#)<sup>[321]</sup>) ciascuna delle quali assolve un certo compito ed ha un certo significato.

Questo comando comporta la visualizzazione della seconda struttura fittizia (la fittizia che è associata alla seconda incognita, sia essa iperstatica o cinematica), con i suoi vincoli ed i suoi carichi, le sue reazioni vincolari i suoi diagrammi di azione interna (accessibili se la struttura è stata risolta).

### 3.10.9 Fittizia 3



L'applicazione del [plv](#)<sup>[337]</sup> comporta l'impiego di varie strutture (la [reale](#)<sup>[339]</sup>, la [resa isostatica](#)<sup>[340]</sup>, la



[principale](#)<sup>[338]</sup>, la o le [fittizie](#)<sup>[321]</sup>) ciascuna delle quali assolve un certo compito ed ha un certo significato.

Questo comando comporta la visualizzazione della terza struttura fittizia (la fittizia che è associata alla terza incognita, sia essa iperstatica o cinematica), con i suoi vincoli ed i suoi carichi, le sue reazioni vincolari i suoi diagrammi di azione interna (accessibili se la struttura è stata risolta).

### 3.10.10 Imposta

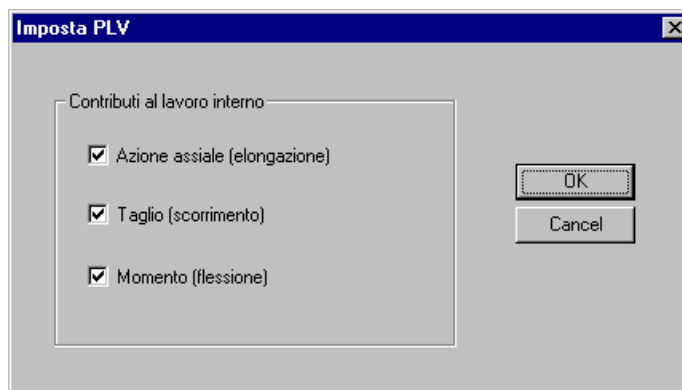


Nell'applicazione del [principio dei lavori virtuali](#)<sup>[337]</sup> è talvolta possibile trascurare i termini di lavoro interno associati a certe componenti di sollecitazione. Naturalmente così facendo si introducono degli errori che possono essere, in certe circostanze, trascurabili, mentre in altre non lo sono affatto. Questo comando serve a stabilire quali termini del lavoro interno associato alle deformazioni elastiche si vogliono lasciare e quali invece si vogliono togliere. Non è possibile toglierli tutti e tre, mentre lasciandoli tutti e tre la soluzione sarà "esatta".

Fatta la scelta il programma lavorerà coerentemente, ed anche il sistema risolvete difetterà dei termini che si è scelto di omettere.

Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[249]</sup> che consente di fare le scelte desiderate.

#### 3.10.10.1 DialogoImpostaplv



In questo dialogo si decide se includere o meno i termini di lavoro corrispondenti alla azione interna indicata.

Trascurare qualche termine porta ad un errore che può essere maggiore o minore, a seconda di come è fatta e sollecitata la struttura.

Se è presente un segno di spunta allora la corrispondente componente di lavoro verrà aggiunta al lavoro interno.

### 3.10.11 Sistema risolvente



Questo comando comporta l'immediata visualizzazione del sistema di equazioni dei lavori virtuali che risolve il problema posto (il sistema è mostrato in un [dialogo](#)<sup>[250]</sup>). Ogni incognita figura con il simbolo che si vede a schermo. La prima equazione corrisponde alla prima struttura fittizia, la seconda (se presente) alla seconda fittizia e la terza (se presente) alla terza fittizia.

Gli integrali sono estesi a tutta la struttura, il che vuol dire che andranno calcolati per ogni [ramo](#)<sup>[339]</sup> e poi sommati.

Il sistema risolvente dipende dalle impostazioni del plv che si sono scelte ([Plv Imposta](#)<sup>[249]</sup>).

Nell'esaminare il sistema si tenga presente che:

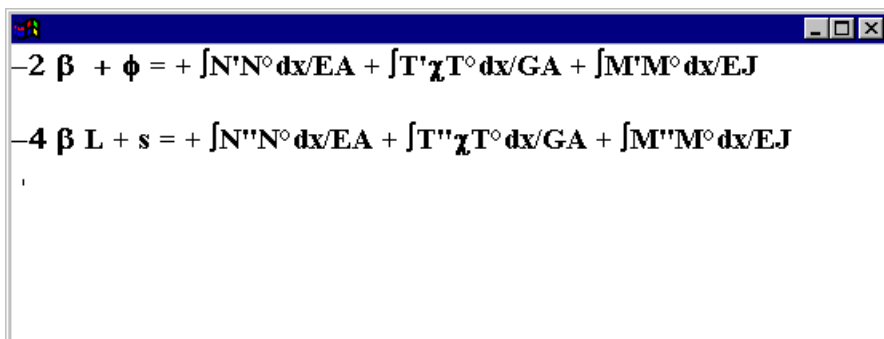
le quantità con il carattere "°", come  $N^{\circ}$ ,  $T^{\circ}$ ,  $M^{\circ}$ , si riferiscono alla struttura principale;

le quantità con un apice "'", come  $N'$ ,  $T'$ ,  $M'$ , si riferiscono alla prima struttura fittizia;

le quantità con due apici '"', come  $N''$ ,  $T''$ ,  $M''$ , si riferiscono alla seconda struttura fittizia;

le quantità con tre apici ''', come  $N'''$ ,  $T'''$ ,  $M'''$ , si riferiscono alla terza struttura fittizia;

#### 3.10.11.1 Dialogostringa



In questo dialogo sono date informazioni che possono essere trasferite a Word e stampate, grazie al meccanismo di copia e incolla.

### 3.10.12 Lavoro interno ramo...



Questo comando viene usato per conoscere il contributo al lavoro interno di un singolo [ramo](#)<sup>[339]</sup>. Perché il comando possa essere eseguito è necessario che il [plv](#)<sup>[337]</sup> sia stato applicato e che sia attiva o la [fittizia](#)<sup>[321]</sup> 1, o la fittizia 2, o la fittizia 3. Il comando dà in forma letterale il contributo del ramo scelto al lavoro interno ottenuto facendo lavorare gli sforzi della struttura fittizia attiva per le deformazioni della

struttura reale.

Alla esecuzione del comando si entra in una [fase non modale](#)<sup>[31]</sup> che serve ad ottenere la scelta di un [ramo](#)<sup>[339]</sup>. In questa fase muovendo il mouse si vede un pallino rosso muoversi sullo schermo. Il pallino va a mettersi sul ramo più vicino, indicando il ramo che verrà scelto se si preme il tasto sinistro del mouse. Per interrompere il comando in questa fase basta premere il tasto destro del mouse o il tasto ESC. Per accettare la posizione indicata dal pallino premere il tasto sinistro del mouse.

Se capita di non vedere il pallino o di vederne due, basta premere il tasto della barra principale che corrisponde al comando [Ridisegna](#)<sup>[178]</sup>, e ciò mentre si sta eseguendo il comando, senza bisogno di uscire.

Il lavoro interno dipende anche dalle impostazioni del plv che si sono scelte ([Plv Imposta](#)<sup>[249]</sup>).

## 3.11 Post

### 3.11.1 Risolvi!



Questo comando fa sì che la struttura venga immediatamente risolta, consentendo di accedere alle reazioni vincolari, alle azioni interne ed alla deformata.

[CESCO PLUS]

A partire dalla versione 4.5 al termine della soluzione è possibile lanciare in modo automatico il programma checksolvers.exe, che si incarica di controllare la bontà della soluzione e la sua rispondenza ai dati di ingresso. Per una dettagliata descrizione di quanto fa checksolvers.exe si rimanda al documento checksolvers.doc.

### 3.11.2 N



Questo comando comporta la visualizzazione dei diagrammi di [azione assiale](#)<sup>[309]</sup>.

[PLUS]Se è acceso il flag [Inviluppo](#)<sup>[256]</sup>, il comando farà vedere i diagrammi di inviluppo. Se è acceso il flag [Mappa](#)<sup>[257]</sup> il comando, anziché un diagramma, fa vedere una scala graduata di colori lungo l'asta.

[PLUS]Se è attivo il flag [Selezionati](#)<sup>[259]</sup> il diagramma ( o la mappa) si vedrà solo per le aste correntemente selezionate.

[PLUS]I valori a schermo si riferiscono al caso di carico o alla combinazione attiva.

[PLUS]I valori numerici del diagramma si vedranno solo se il nodo corrispondente all'estremo è

selezionato. I valori interni all'elemento (massimi o minimi relativi) o costanti lungo l'elemento solo se sono selezionati entrambi i nodi. Ciò per consentire rappresentazioni più leggibili.

### 3.11.3 T



Questo comando comporta la visualizzazione dei diagrammi di [azione tagliante](#)<sup>[345]</sup>.  
 [PLUS]Se è acceso il flag [Inviluppo](#)<sup>[256]</sup>, il comando farà vedere i diagrammi di inviluppo. Se è acceso il flag [Mappa](#)<sup>[257]</sup> il comando, anziché un diagramma, fa vedere una scala graduata di colori lungo l'asta.

[PLUS]Se è attivo il flag [Selezionati](#)<sup>[255]</sup> il diagramma ( o la mappa) si vedrà solo per le aste correntemente selezionate.

[PLUS]I valori a schermo si riferiscono al caso di carico o alla combinazione attiva.

[PLUS]I valori numerici del diagramma si vedranno solo se il nodo corrispondente all'estremo è selezionato. I valori interni all'elemento (massimi o minimi relativi) o costanti lungo l'elemento solo se sono selezionati entrambi i nodi. Ciò per consentire rappresentazioni più leggibili.

### 3.11.4 M



Questo comando comporta la visualizzazione dei diagrammi di [momento flettente](#)<sup>[335]</sup>.  
 [PLUS]Se è acceso il flag [Inviluppo](#)<sup>[256]</sup>, il comando farà vedere i diagrammi di inviluppo. Se è acceso il flag [Mappa](#)<sup>[257]</sup> il comando, anziché un diagramma, fa vedere una scala graduata di colori lungo l'asta.

[PLUS]Se è attivo il flag [Selezionati](#)<sup>[255]</sup> il diagramma ( o la mappa) si vedrà solo per le aste correntemente selezionate.

[PLUS]I valori a schermo si riferiscono al caso di carico o alla combinazione attiva.

[PLUS]I valori numerici del diagramma si vedranno solo se il nodo corrispondente all'estremo è selezionato. I valori interni all'elemento (massimi o minimi relativi) o costanti lungo l'elemento solo se sono selezionati entrambi i nodi. Ciò per consentire rappresentazioni più leggibili.

### 3.11.5 N/A



Questo comando attiva la visualizzazione del diagramma dello sforzo normale assiale. Il comando si riferisce al caso o alla combinazione di carico attiva.

Se è acceso il flag [Inviluppo](#)<sup>[256]</sup>, il comando farà vedere i diagrammi di inviluppo. Se è acceso il flag [Mappa](#)<sup>[257]</sup> il comando, anziché un diagramma, fa vedere una scala graduata di colori lungo l'asta.

Se è attivo il flag [Selezionati](#)<sup>[255]</sup> il diagramma ( o la mappa) si vedrà solo per le aste correntemente selezionate.

I valori a schermo si riferiscono al caso di carico o alla combinazione attiva.

[PLUS]I valori numerici del diagramma si vedranno solo se il nodo corrispondente all'estremo è

selezionato. I valori interni all'elemento (massimi o minimi relativi) o costanti lungo l'elemento solo se sono selezionati entrambi i nodi. Ciò per consentire rappresentazioni più leggibili.

### 3.11.6 M/W



Questo comando attiva la visualizzazione del diagramma dello sforzo normale flettente. In ogni punto degli elementi viene calcolato il valore di  $M/W$ , mostrando il risultato sotto forma di diagramma.

Se è acceso il flag [Inviluppo](#)<sup>[256]</sup>, il comando farà vedere i diagrammi di inviluppo. Se è acceso il flag [Mappa](#)<sup>[257]</sup> il comando, anziché un diagramma, fa vedere una scala graduata di colori lungo l'asta.

Se è attivo il flag [Selezionati](#)<sup>[255]</sup> il diagramma ( o la mappa) si vedrà solo per le aste correntemente selezionate.

I valori a schermo si riferiscono al caso di carico o alla combinazione attiva.

[PLUS]I valori numerici del diagramma si vedranno solo se il nodo corrispondente all'estremo è selezionato. I valori interni all'elemento (massimi o minimi relativi) o costanti lungo l'elemento solo se sono selezionati entrambi i nodi. Ciò per consentire rappresentazioni più leggibili.

### 3.11.7 Sigma

POST-SIGMA (SOLO CESCO PLUS)



Questo comando attiva la visualizzazione del diagramma dello sforzo normale  $s$ . In ogni punto lungo l'asse dell'elemento, dipendentemente dalla forma sezionale, viene calcolato il massimo valore (in modulo) dello sforzo normale ( $N/A \pm M/W$ ). In genere il calcolo viene eseguito in più punti, poiché non è a priori detto quale debba essere il punto avente il massimo valore di tensione. Tutti i massimi così trovati vengono poi uniti per tracciare il diagramma risultante.

Se è acceso il flag [Inviluppo](#)<sup>[256]</sup>, il comando farà vedere i diagrammi di inviluppo. Se è acceso il flag [Mappa](#)<sup>[257]</sup> il comando, anziché un diagramma, fa vedere una scala graduata di colori lungo l'asta.

Se è attivo il flag [Selezionati](#)<sup>[255]</sup> il diagramma ( o la mappa) si vedrà solo per le aste correntemente selezionate.

I valori a schermo si riferiscono al caso di carico o alla combinazione attiva.

[PLUS]I valori numerici del diagramma si vedranno solo se il nodo corrispondente all'estremo è selezionato. I valori interni all'elemento (massimi o minimi relativi) o costanti lungo l'elemento solo se sono selezionati entrambi i nodi. Ciò per consentire rappresentazioni più leggibili.

### 3.11.8 Tau

POST-TAU (SOLO CESCO PLUS)



Questo comando attiva la visualizzazione del diagramma dello sforzo tangenziale  $t$ . In ogni punto

lungo l'asse dell'elemento, dipendentemente dalla forma sezionale, viene calcolato il massimo valore (in modulo) dello sforzo tangenziale  $t$ . Tutti i massimi così trovati vengono poi uniti per tracciare il diagramma risultante.

Se è acceso il flag [Inviluppo](#)<sup>[256]</sup>, il comando farà vedere i diagrammi di inviluppo. Se è acceso il flag [Mappa](#)<sup>[257]</sup> il comando, anziché un diagramma, fa vedere una scala graduata di colori lungo l'asta.

Se è attivo il flag [Selezionati](#)<sup>[255]</sup> il diagramma ( o la mappa) si vedrà solo per le aste correntemente selezionate.

I valori a schermo si riferiscono al caso di carico o alla combinazione attiva.

[PLUS]

I valori numerici del diagramma si vedranno solo se il nodo corrispondente all'estremo è selezionato. I valori interni all'elemento (massimi o minimi relativi) o costanti lungo l'elemento solo se sono selezionati entrambi i nodi. Ciò per consentire rappresentazioni più leggibili.

### 3.11.9 Von Mises

#### POST-VON MISES (SOLO CESCO PLUS)



Questo comando attiva la visualizzazione del diagramma dello sforzo ideale di Von Mises. In ogni punto lungo l'asse dell'elemento, dipendentemente dalla forma sezionale, viene calcolato il massimo valore dello sforzo di Von Mises. In genere il calcolo viene eseguito in più punti, poiché non è a priori detto quale debba essere il punto avente il massimo valore di tensione di Von Mises. Tutti i massimi così trovati vengono poi uniti per tracciare il diagramma risultante.

Se è acceso il flag [Inviluppo](#)<sup>[256]</sup>, il comando farà vedere i diagrammi di inviluppo. Se è acceso il flag [Mappa](#)<sup>[257]</sup> il comando, anziché un diagramma, fa vedere una scala graduata di colori lungo l'asta.

Se è attivo il flag [Selezionati](#)<sup>[255]</sup> il diagramma ( o la mappa) si vedrà solo per le aste correntemente selezionate.

I valori a schermo si riferiscono al caso di carico o alla combinazione attiva.

[PLUS] I valori numerici del diagramma si vedranno solo se il nodo corrispondente all'estremo è selezionato. I valori interni all'elemento (massimi o minimi relativi) o costanti lungo l'elemento solo se sono selezionati entrambi i nodi. Ciò per consentire rappresentazioni più leggibili.

### 3.11.10 Max Principale



Questo comando attiva la visualizzazione del diagramma dello sforzo principale massimo. In ogni punto lungo l'asse dell'elemento, dipendentemente dalla forma sezionale, viene calcolato il massimo valore dello sforzo principale massimo. In genere il calcolo viene eseguito in più punti, poiché non è a priori detto quale debba essere il punto avente il massimo valore di tensione principale massimo. Tutti i

massimi così trovati vengono poi uniti per tracciare il diagramma risultante.

Se è acceso il flag [Inviluppo](#)<sup>[256]</sup>, il comando farà vedere i diagrammi di inviluppo. Se è acceso il flag [Mappa](#)<sup>[257]</sup> il comando, anziché un diagramma, fa vedere una scala graduata di colori lungo l'asta.

Se è attivo il flag [Selezionati](#)<sup>[255]</sup> il diagramma ( o la mappa) si vedrà solo per le aste correntemente selezionate.

I valori a schermo si riferiscono al caso di carico o alla combinazione attiva.

[PLUS]I valori numerici del diagramma si vedranno solo se il nodo corrispondente all'estremo è selezionato. I valori interni all'elemento (massimi o minimi relativi) o costanti lungo l'elemento solo se sono selezionati entrambi i nodi. Ciò per consentire rappresentazioni più leggibili.

### 3.11.11 Min Principale



Questo comando attiva la visualizzazione del diagramma dello sforzo principale minimo. In ogni punto lungo l'asse dell'elemento, dipendentemente dalla forma sezionale, viene calcolato il minimo valore dello sforzo principale minimo. In genere il calcolo viene eseguito in più punti, poiché non è a priori detto quale debba essere il punto avente il minimo valore di tensione. Tutti i minimi così trovati vengono poi uniti per tracciare il diagramma risultante.

Se è acceso il flag [Inviluppo](#)<sup>[256]</sup>, il comando farà vedere i diagrammi di inviluppo. Se è acceso il flag [Mappa](#)<sup>[257]</sup> il comando, anziché un diagramma, fa vedere una scala graduata di colori lungo l'asta.

Se è attivo il flag [Selezionati](#)<sup>[255]</sup> il diagramma ( o la mappa) si vedrà solo per le aste correntemente selezionate.

I valori a schermo si riferiscono al caso di carico o alla combinazione attiva.

[PLUS]I valori numerici del diagramma si vedranno solo se il nodo corrispondente all'estremo è selezionato. I valori interni all'elemento (massimi o minimi relativi) o costanti lungo l'elemento solo se sono selezionati entrambi i nodi. Ciò per consentire rappresentazioni più leggibili.

### 3.11.12 Selezionati

#### POST-SELEZIONATI (SOLO CESCO PLUS)



Questo comando fa sì che i diagrammi o le mappe vengano mostrati per le sole aste selezionate. E' da notare che i valori massimi presi come riferimento per le scale camiano: se questo flag è attivo il massimo viene valutato prendendo in considerazione le sole aste selezionate.

Questo comando è molto utile per risolvere casi in cui l'eccesso di informazione rende impossibile vedere con attenzione i diagrammi. Selezionando un sotto insieme delle aste (al limite una) è possibile vedere i diagrammi o le mappe soltanto di quella, e quindi leggere ed interpretare più facilmente le

informazioni.

Si ricorda che i valori numerici del diagramma si vedranno solo se il nodo corrispondente all'estremo è selezionato. I valori interni all'elemento (massimi o minimi relativi) o costanti lungo l'elemento solo se sono selezionati entrambi i nodi. Ciò per consentire rappresentazioni più leggibili.

### 3.11.13 Inviluppo



Data una componente di azione interna o una componente di sforzo che si voglia studiare (N/A, M/W, Von Mises, ecc.), questo comando consente di avere i valori di inviluppo, ovvero il massimo numero positivo ed il minimo numero negativo al variare delle combinazioni di carico esistenti. Se non ci sono combinazioni il comando è privo di senso e quindi inattivo.

Nel caso in cui siano rappresentate delle mappe ([Mappa](#)<sup>[257]</sup>), non essendo possibile mostrare con un unico colore contemporaneamente il massimo ed il minimo, si tenga presente che il programma mostra il valore massimo in modulo tra il massimo ed il minimo. Se ad esempio su un'asta c'è un valore minimo di azione assiale pari a  $-32t$  ed un valore massimo pari a  $+17t$ , la mappa a colori riporterà il colore proprio del numero "32".

La possibilità di mostrare i diagrammi di inviluppo in specie delle azioni interne, e le mappe di inviluppo in specie dello sforzo di Von Mises è estremamente potente. Con i primi si possono dimensionare elementi in calcestruzzo armato, con le seconde fare la verifica di resistenza sulle strutture metalliche.

### 3.11.14 Numero sezioni



Questo comando consente di stabilire in quanti punti equispaziati lungo le aste occorra campionare i diagrammi delle azioni interne e degli sforzi. Per abbreviare i tempi di refreshing e/o di calcolo, è possibile ridurre il numero. Per avere diagrammi dettagliati si può invece aumentare il numero di sezioni. Il valore impostato inizialmente è pari a 30.

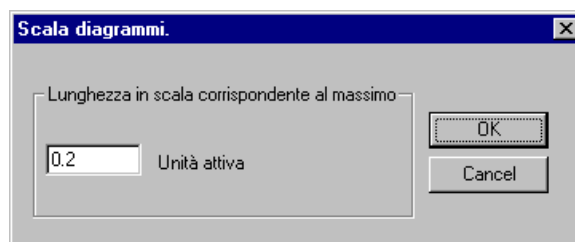
### 3.11.15 Scala



Questo comando comporta la comparsa di un [dialogo](#)<sup>[257]</sup> che consente di fissare la scala con la quale verranno rappresentati i diagrammi.



### 3.11.15.1 Dialogo Scaladiagrammi



Questo dialogo è usato per fissare la scala con cui vengono rappresentati i diagrammi. La scala viene fissata scegliendo la lunghezza, misurata usando l'unità attiva, che corrisponde al massimo valore del diagramma. Questa definizione fa sì che si possa eseguire uno zoom per meglio vedere i diagrammi, ove questi risultino di difficile lettura.

### 3.11.16 Stampa numeri



Per avere un'idea delle mutue proporzioni dei diagrammi su una struttura complessa, può a volte essere utile omettere la stampa dei numeri con i valori effettivi. Per eliminare i numeri dai diagrammi si può utilizzare questo flag, spegnendolo.

I valori numerici del diagramma, se richiesti, si vedranno solo se il nodo corrispondente all'estremo dell'elemento è selezionato. I valori interni all'elemento (massimi o minimi relativi) o costanti lungo l'elemento solo se sono selezionati entrambi i nodi. Ciò per consentire rappresentazioni più leggibili.

### 3.11.17 Mappa



Questo comando rappresenta una opzione che può essere attivata o meno. Se questa opzione è inattiva, la componente di azione interna o di sforzo prescelto sarà mostrato sotto forma di diagramma (ovvero una curva in cui l'asse delle ascisse coincide con l'asse dell'elemento). Se si attiva questa opzione la componente prescelta verrà mostrata come mappa a colori. Ogni trattino di pertinenza della generica asta viene mostrato con un colore che dipende dal valore che la componente in esame ha raggiunto nel centro del trattino. Questa opzione è utile per generare significative mappe a colori con i livelli di sforzo, in specie per il caso dello sforzi di Von Mises.

### 3.11.18 Equazione

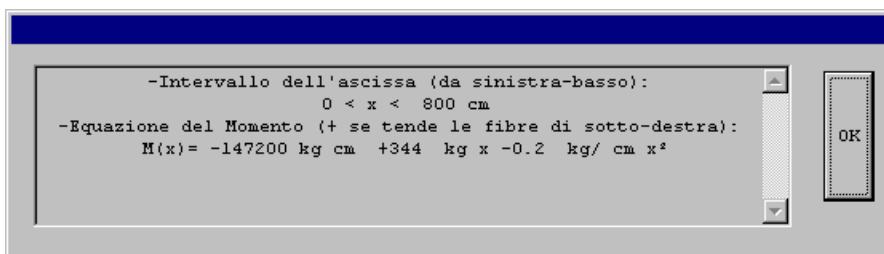
Questo comando dà l'equazione della componente di azione interna attiva ( $N^{[309]}$ ,  $T^{[345]}$ ,  $M^{[335]}$ ) sulla struttura attiva ( $reale^{[339]}$ ,  $principale^{[338]}$  o  $fittizia^{[321]}$ ), per il  $ramo^{[339]}$  scelto dall'utente.

Perché il comando sia attivo è necessario che a schermo si vedano i diagrammi di una componente di azione interna (quella della quale verrà data l'equazione).

Alla esecuzione del comando compare un [dialogo](#)<sup>[258]</sup> che dà tutte le informazioni sull'equazione che descrive la variazione della componente di azione interna lungo il ramo, i punti di massimo o minimo, i punti di nullo.

Il ramo è sempre orientato da sinistra verso destra e/o dal basso verso l'alto: lo si tenga presente nell'interpretare il significato della ascissa "x".

### 3.11.18.1 Dialogostringa1



Questo dialogo è usato per fornire informazioni scritte.

### 3.11.19 Deformata



Questo comando fa immediatamente vedere la deformata nelle modalità in cui ciò è possibile. La deformata è disponibile nelle [modalità](#)<sup>[332]</sup> **Predimensiona** e **Analisi**.

La ragione per la quale in queste modalità è disponibile la deformata e nelle altre no è la seguente: in queste modalità il problema viene risolto per mezzo del metodo degli elementi finiti, che ha per incognite gli spostamenti nodali (dai quali si può risalire alla deformata). Nelle altre modalità il problema viene risolto per mezzo di mere relazioni di equilibrio, che considerano incognito il vettore delle azioni interne agli estremi dei [rami](#)<sup>[339]</sup>.

Se si è interessati alla [deformata](#)<sup>[316]</sup> e la modalità usata non consente di averla, basta cambiare modalità e rieseguire il solving ([Risolvi!](#)<sup>[251]</sup>).

Per avere dettagliate informazioni sui valori di spostamento dei punti interni ai rami, eseguire il comando [Interroga ramo](#)<sup>[259]</sup>.

[PLUS]La deformata si riferisce al caso di carico o alla combinazione attiva.

### 3.11.20 Interroga nodo



Questo comando consente di conoscere lo spostamento dei nodi del modello. Va inteso come un comando rapido per controllare gli spostamenti. Alla esecuzione del comando si entra in una fase non modale in cui al movimento del mouse corrisponde il movimento di un pallino colorato in prossimità del nodo più vicino. Nodo per nodo gli spostamenti vengono via via indicati nella barra di stato, in basso a destra, con la scritta  $dx=$  per la traslazione x,  $dy=$  per la traslazione y. Gli spostamenti sono come al solito indicati nelle unità di misura attive.

Per uscire dal comando occorre premere il tasto destro del mouse.

[PLUS]I valori si riferiscono al caso di carico o alla combinazione attiva.

### 3.11.21 Interroga Ramo



Questo comando è molto utile: esso viene impiegato per conoscere dettagliatamente gli spostamenti dei punti all'interno di un [ramo](#)<sup>[339]</sup>.

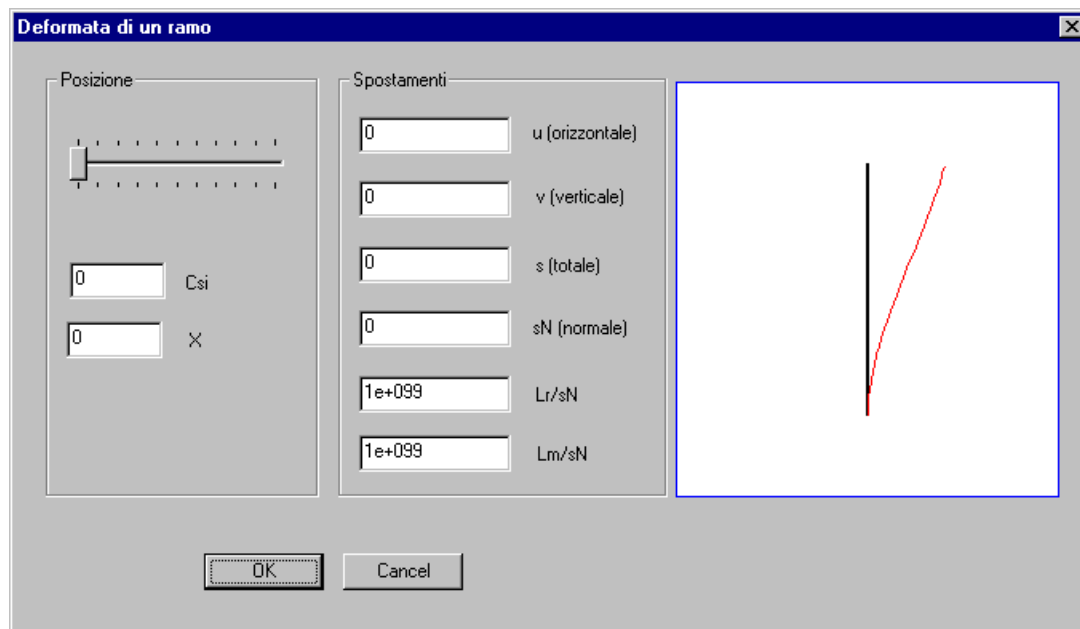
Alla esecuzione del comando si entra in una [fase non modale](#)<sup>[31]</sup> che serve ad ottenere la scelta di un [ramo](#)<sup>[339]</sup>. In questa fase muovendo il mouse si vede un pallino rosso muoversi sullo schermo. Per interrompere il comando in questa fase basta premere il tasto destro del mouse o il tasto ESC. Per accettare la posizione indicata dal pallino premere il tasto sinistro del mouse.

Se capita di non vedere il pallino o di vederne due, basta premere il tasto della barra principale che corrisponde al comando [Ridisegna](#)<sup>[178]</sup>, e ciò mentre si sta eseguendo il comando, senza bisogno di uscire.

Una volta premuto il tasto sinistro del mouse, il programma va a cercare il ramo più vicino al pallino rosso, ed a questo punto apre una [finestra di dialogo](#)<sup>[260]</sup> che dà le informazioni di dettaglio desiderate, circa gli spostamenti dei punti interni al ramo scelto. Usciti dal [dialogo](#)<sup>[260]</sup> si può scegliere un altro ramo, premendo nuovamente il tasto sinistro del mouse, al che si aprirà nuovamente la [finestra di dialogo](#)<sup>[260]</sup>, usciti dalla quale si potrà nuovamente scegliere un ramo, e così via, *sino a che, nel corso della fase non modale, ovvero a dialogo assente, non si premerà il tasto destro del mouse o, equivalentemente, il tasto ESC.*

[PLUS]I valori si riferiscono al caso di carico o alla combinazione attiva.

## 3.11.21.1 Dialogo Deformatadiunramo



Questo dialogo compare dopo aver scelto un [ramo](#)<sup>[339]</sup> perché si desiderano conoscere meglio i valori di spostamento dei punti interni ad esso.

Il dialogo è sostanzialmente diviso in tre parti, la parte sinistra (**Posizione**), la parte centrale (**Spostamenti**), il disegno a destra.

La parte di sinistra (**Posizione**) serve a specificare il punto all'interno del ramo del quale si vogliono conoscere gli spostamenti. Ciò si fa muovendo il controllo a slitta da un estremo all'altro. Al movimento del controllo varia il punto sul ramo, come chiaramente mostrato dal cursore che si vede nel disegno e dai valori numerici corrispondenti ai campi **Csi** ed **X**. Il campo **Csi** indica la ascissa adimensionale del punto corrente: essa è un numero puro compreso tra 0 (primo estremo) ed 1 (secondo estremo). Il campo **X** indica la distanza (nella [unità](#)<sup>[348]</sup> attiva) del punto corrente dal primo estremo. Risulta  $X = Csi \cdot L$ .

La parte centrale (**Spostamenti**) è costituita da una serie di valori numerici di spostamento che variano al variare del punto sul ramo. I significati sono i seguenti:

u	traslazione orizzontale (nella unità attiva)
v	traslazione verticale (nella unità attiva)
s	traslazione totale (nella unità attiva)
sN	traslazione in direzione normale all'asse del ramo (nella unità attiva)
Lr/sN	rapporto adimensionale tra la lunghezza del ramo ed sN
Lm/sN	rapporto adimensionale tra la lunghezza della membratura alla quale il ramo appartiene e sN.

Gli ultimi due dati sono molto utili per le verifiche di deformabilità.

**La parte di destra** è un disegno del ramo e della sua deformata in una scala opportuna.

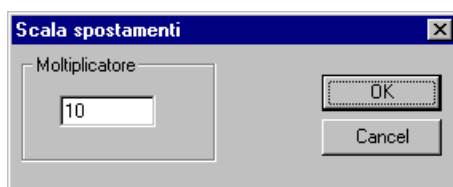
[PLUS]I valori si riferiscono al caso di carico o alla combinazione attiva.

### 3.11.22 Scala



Questo comando è impiegato per variare la scala con la quale viene rappresentata la deformata. Alla esecuzione del comando compare un [dialogo](#)<sup>[261]</sup> che chiede i dati necessari.

#### 3.11.22.1 Dialogo Scalaspostamenti



Questo dialogo serve a specificare la scala con la quale verranno rappresentati gli spostamenti, il fattore di amplificazione della [deformata](#)<sup>[316]</sup>. La deformata viene tracciata trovando le coordinate dei punti dopo lo spostamento. La quantità di spostamento viene moltiplicata per il fattore amplificativo qui specificato prima di essere sommata alla posizione indeformata.

Il numero da fornire è adimensionale.

### 3.11.23 Reazioni vincolari



L'esecuzione di questo comando (che corrisponde ad una opzione, un flag binario che può essere acceso o spento) fa immediatamente vedere le reazioni vincolari sulla struttura attiva.

[PLUS]I valori si riferiscono al caso di carico o alla combinazione attiva.

### 3.11.24 Energia di deformazione

Questo comando consente di conoscere l'[energia di deformazione](#)<sup>[320]</sup> incassata dalla struttura. Vengono considerati tutti i contributi di tutti i rami. Il valore viene fornito in joule ed in chilocalorie.

### 3.11.25 Sforzi Ramo

Questo comando è molto utile: esso viene impiegato per conoscere dettagliatamente le sollecitazioni

e gli [sforzi](#)<sup>[344]</sup> all'interno di un [ramo](#)<sup>[339]</sup>.

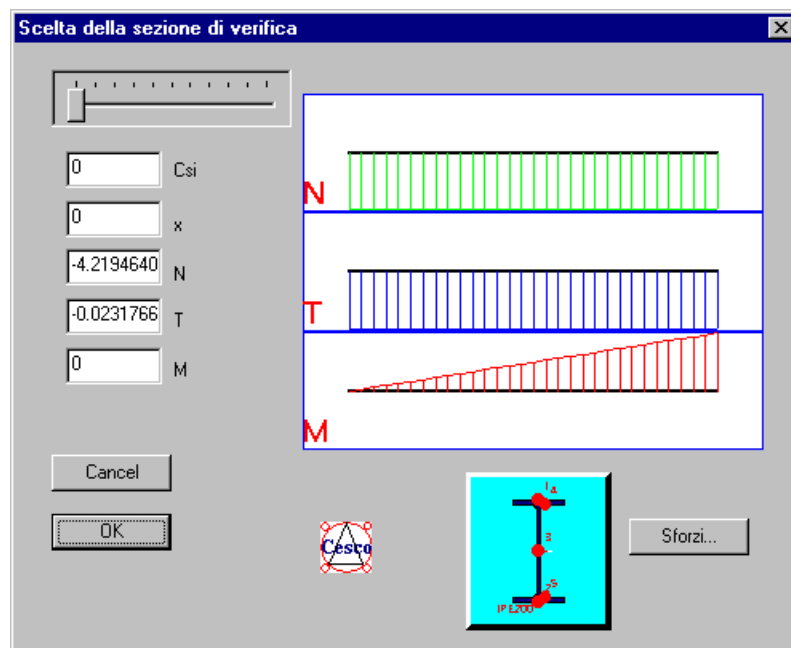
Alla esecuzione del comando si entra in una [fase non modale](#)<sup>[31]</sup> che serve ad ottenere la scelta di un [ramo](#)<sup>[339]</sup>. In questa fase muovendo il mouse si vede un pallino rosso muoversi sullo schermo. Per interrompere il comando in questa fase basta premere il tasto destro del mouse o il tasto ESC. Per accettare la posizione indicata dal pallino premere il tasto sinistro del mouse.

Se capita di non vedere il pallino o di vederne due, basta premere il tasto della barra principale che corrisponde al comando [Ridisegna](#)<sup>[178]</sup>, e ciò mentre si sta eseguendo il comando, senza bisogno di uscire.

Una volta premuto il tasto sinistro del mouse, il programma va a cercare il ramo più vicino al pallino rosso, ed a questo punto apre una [finestra di dialogo](#)<sup>[262]</sup> che dà le informazioni di dettaglio desiderate, circa le azioni interne e gli sforzi internamente al ramo scelto. Usciti dal [dialogo](#)<sup>[262]</sup> si può scegliere un altro ramo, premendo nuovamente il tasto sinistro del mouse, al che si aprirà nuovamente la [finestra di dialogo](#)<sup>[262]</sup>, usciti dalla quale si potrà nuovamente scegliere un ramo, e così via, *sino a che, nel corso della fase non modale, ovvero a dialogo assente, non si premerà il tasto destro del mouse o, equivalentemente, il tasto ESC.*

[PLUS]I valori si riferiscono al caso di carico o alla combinazione attiva.

### 3.11.25.1 DialogoSceltadellasezionediverifica



Questo importante dialogo serve a più scopi: ad ottenere i valori delle azioni interne nei vari punti di un [ramo](#)<sup>[339]</sup>, ad avere i [diagrammi](#)<sup>[317]</sup> delle azioni interne, a richiamare i dati della [sezione](#)<sup>[342]</sup> applicata al ramo in esame, a richiamare un ulteriore [dialogo](#)<sup>[264]</sup>, specializzato nella resa dei valori degli [sforzi](#)<sup>[344]</sup>.

Il controllo a slitta posto in alto a sinistra fa variare il punto del ramo sul quale vengono letti i valori di [azione assiale](#)<sup>[309]</sup>, [taglio](#)<sup>[345]</sup>, [momento flettente](#)<sup>[335]</sup>. I diadrammi delle tre azioni interne sono mostrati nel disegno posto a destra.

I due campi **Csi** ed **x**, specificano il punto esatto del ramo. Il primo **Csi**, è una ascissa adimensionale compresa tra 0 (primo estremo) ed 1 (secondo estremo). Il secondo, **x**, è la distanza dal primo estremo nella unità di misura corrente.

In corrispondenza al punto specificato, i tre campi N,T,M, danno i valori di [azione assiale](#)<sup>[309]</sup>, [taglio](#)<sup>[345]</sup>, [momento flettente](#)<sup>[335]</sup>, nella unità di misura attiva.

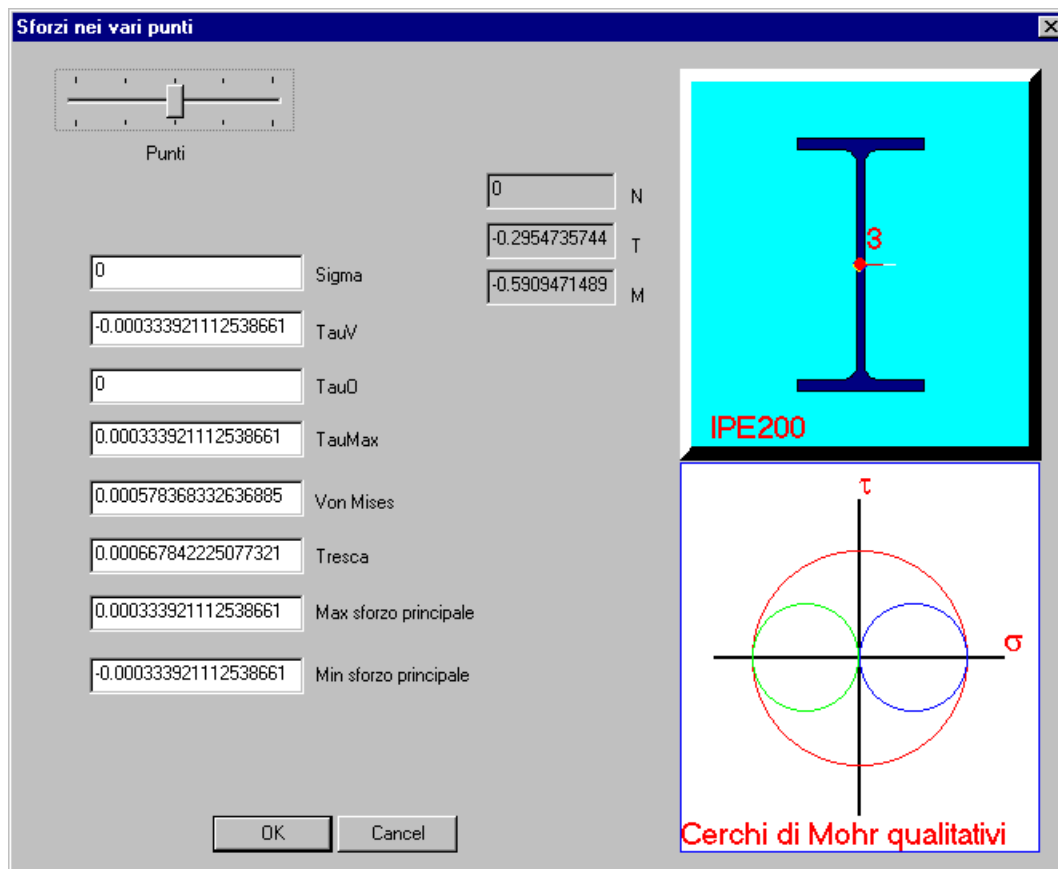
Una volta scelto il punto sul ramo, è possibile chiedersi quale stato di sforzo corrisponda ai valori di [azione assiale](#)<sup>[309]</sup>, [taglio](#)<sup>[345]</sup>, [momento flettente](#)<sup>[335]</sup>, vale a dire, quale valore di tensione normale e tangenziale si legga nei vari punti di *quella* sezione. Per conoscere questi sforzi basta premere il pulsante **Sforzi**, che richiama un importante [dialogo](#)<sup>[264]</sup> opportunamente ideato per questo scopo.

Non per tutte le sezioni è possibile avere i valori dello sforzo: per le sezioni generiche, rappresentate convenzionalmente da un triangolo, ciò non è possibile. In questo caso la pressione del tasto non porta ad alcun risultato.

Se si vogliono richiamare i dati della sezione basta premere il tasto sinistro del mouse sul **pulsante immagine** corrispondente alla sezione stessa. Si aprirà un dialogo (dipendente dal tipo di [sezione](#)<sup>[342]</sup>), nel quale verranno riepilogati tutti i dati relativi alla sezione stessa.

[PLUS]I valori si riferiscono al caso di carico o alla combinazione attiva.

## 3.11.25.2 DialogoSforzineivaripunti



Si arriva a questo dialogo dopo aver scelto un ramo, ed un punto dell'asse del ramo al quale corrispondono certe azioni interne N, T, M.

Questo dialogo serve a conoscere lo stato di sforzo nei vari punti della sezione, corrispondente ai valori di azioni interne determinati nel [dialogo](#)<sup>[262]</sup> che precede questo.

Il controllo a slitta in alto a sinistra serve a scegliere uno dei punti della sezione. I punti sono predefiniti e dipendono dal tipo di sezione che si sta studiando. Il punto corrente, quello al quale si riferiscono gli sforzi evidenziati, è indicato dal pallino rosso che compare sul disegno della sezione: muovendo il controllo a slitta cambia il punto, cambiano gli sforzi, ed il pallino rosso si muove.

Scelto un punto sulla sezione, il programma calcola gli sforzi in quel punto e li stampa nei campi numerici. Il significato dei simboli è il seguente:

<b>Sigma</b>	indica la tensione normale nel punto
<b>TauV</b>	indica la tensione tangenziale diretta verticalmente
<b>TauO</b>	indica la tensione



tangenziale diretta orizzontalmente

**TauMax** indica la massima tensione tangenziale nel punto (su una opportuna giacitura)

**Von Mises** indica il valore dello sforzo

ideale di Von Mises

**Tresca** indica il valore dello

sforzo ideale di Tresca

**Max sforzo principale** indica il massimo sforzo principale

**Min sforzo principale** indica il minimo sforzo principale

I dati numerici sono da intendersi nella unità di misura attiva.

Le tensioni tangenziali ([sforzo](#)<sup>[344]</sup>) sono calcolate con la formula di [Jouravskij](#)<sup>[340]</sup>. Nei punti di singolarità si prende la tensione maggiore.

Il valore di TauMax è quello massimo sui tre piani di lettura.

I valori di sforzo ideale di Von Mises e Tresca ([criteri di resistenza](#)<sup>[316]</sup>) sono quelli abitualmente impiegati nelle verifiche alle tensioni ammissibili, e devono pertanto essere raffrontati con il valore della tensione ammissibile. Per acciai Fe360 il valore è pari a 160N/mm<sup>2</sup>, per acciai Fe430 190N/mm<sup>2</sup>, per acciai Fe510 il valore di raffronto è 240N/mm<sup>2</sup>.

Il disegno in alto a destra rappresenta la [sezione](#)<sup>[342]</sup>: se si fa click sopra di esso si apre una finestra di dialogo che dà maggiori informazioni circa la sezione rappresentata.

Il disegno in basso a destra dà un'idea dei cerchi di Mohr qualitativi relativi allo stato di sforzo nel punto in esame. Il cerchio rosso si riferisce allo stato di sforzo letto sul piano della sezione. I cerchi verde e blu si riferiscono a piani ortogonali a quello della sezione.

Accanto al disegno della sezione vengono riportati, per semplicità di uso, i valori delle azioni interne sull'intera sezione che sono serviti per il calcolo.

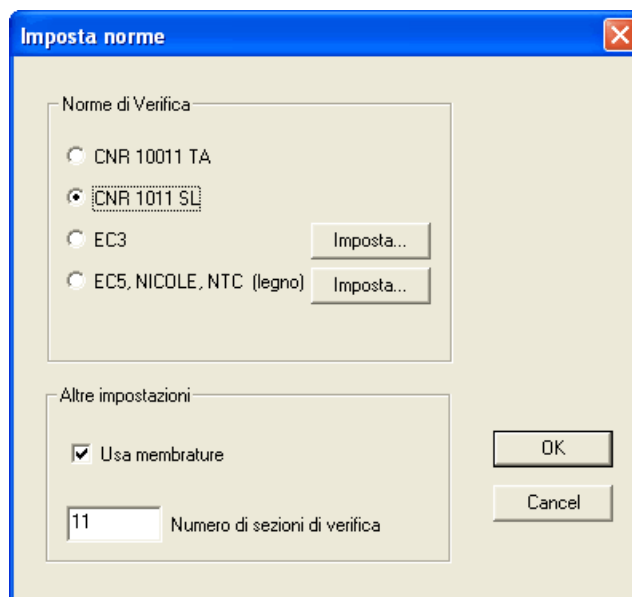
[PLUS]I valori si riferiscono al caso di carico o alla combinazione attiva.

## 3.12 Verifiche

### 3.12.1 Impostazioni

Questo comando serve ad impostare il funzionamento delle verifiche. Appena eseguito compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[266]</sup> che consente di scegliere il verificatore attivo (quello con il quale verranno eseguite le verifiche, e quello i risultati del quale verranno mostrati a schermo), più altri dati di impostazione per il verificatore.

### 3.12.1.1 DialogoImpostaNorme



Questo dialogo consente di fare alcune scelte in merito al funzionamento del verificatore. Inoltre serve a scegliere il verificatore attivo.

Oltre a scegliere il verificatore il dialogo consente di specificare il numero di sezioni di verifica e se usare o meno le membrature.

In pratica se NON si usano le membrature, le verifiche di stabilità verranno eseguite sul singolo ramo (elemento finito). Se invece si usano le membraure, allora il programma, oltre ad eseguire le verifiche dei singoli rami, esegue anche le verifiche a stabilità (presso flessione e svergolamento) per le membrature, vale a dire per insiemi allineati e contigui di rami. In questo ultimo caso il coefficiente di sfruttamento sarà il peggiore tra i due calcolati (solo ramo, ramo appartenente a membratura). Le membrature sono quelle che nel programma Sargon si chiamano superelementi.

Il numero di sezioni di campionatura lungo i rami ( o i superelementi) è fissato per default pari a 11. Un incremento di questo numero porta a verifiche più lunghe ed a scandire con maggior precisione l'andamento delle azioni interne. Viceversa una riduzione porta a tempi di calcolo minori ma anche a minor precisione.

[Come eseguire le verifiche di strutture in acciaio](#)<sup>[65]</sup>

[Come eseguire le verifiche di strutture in legno](#)<sup>[97]</sup>

### 3.12.2 Verifica!

Questo comando lancia il verificatore attivo. Perché tutto funzioni la chiave di protezione deve essere abilitata per far funzionare il verificatore prescelto. Il verificatore prescelto è indicato nella barra di stato, nell'ultimo riquadro a destra, e si cambia con il comando [Impostazioni](#)<sup>265</sup>.

Le verifiche verranno eseguite sulle sole combinazioni e solo sugli elementi selezionati al momento della esecuzione del comando stesso: quest'ultima funzionalità serve ad abbreviare i tempi, se necessario. Se si vuole verificare tutto il modello occorre selezionare tutti i rami prima di lanciare le verifiche.

Al termine delle verifiche il programma chiede se deve creare o no il tabulato. Se si risponde di sì verrà creato un file avente un'estensione diversa a seconda della norma di verifica attiva.

.CS1.cit	per le norme CNR alle tensioni ammissibili
.CS1.c2i	per le norme CNR agli stati limite
.CS1.eit	per le norme Eurocodice 3 o NTC acciaio
.CS1.wit	per le norme Eurocodice 5, NICOLE o NTC legno

Il prefisso CS1 (Combi Set 1) indica che è stato usato il primo insieme di combinazioni (l'unico al momento disponibile in CESCOPLUS).

Per il funzionamento è essenziale che nella path completa del modello non figurino spazi. Ad esempio i seguenti due modelli non vanno bene:

c:\Analisi\Commessa 20 bis\Modello.sdc

c:\Analisi\Commessa\_20\_bis\Un modello.sdc

mentre i seguenti vanno bene:

c:\Analisi\Commessa\_20\_bis\Modello.sdc

c:\Analisi\Commessa\_20\_bis\Un\_modello.sdc

### 3.12.3 Inviluppo

Questo comando fa vedere le aste colorate in base al massimo coefficiente di sfruttamento calcolato dal verificatore attivo. Perché il comando abbia successo devono essere state lanciate, in precedenza, le verifiche in accordo alla normativa attiva. Cambiando normativa si potranno vedere i risultati sulla base di un altro verificatore.

Il coefficiente di sfruttamento massimo possibile è 1. Al di là di 1 l'elemento è da intendersi non verificato.

### 3.12.4 Interroga

Questo comando consente di scegliere un'asta cliccandoci sopra e avvia un opportuno [dialogo](#)<sup>[268]</sup> che dà informazioni dettagliate sull'esito delle verifiche.

#### 3.12.4.1 DialogoCoefficientidiSfruttamento

Questo dialogo dà informazioni dettagliate sui coefficienti di sfruttamento di involucro calcolati dal verificatore. Per involucro si intende il massimo al variare delle combinazioni di verifica. Vengono dati i massimi coefficienti a resistenza (con la combinazione in cui si è avuto il massimo e con la sezione lungo lo sviluppo dell'asse dell'elemento) ed a stabilità (con la causa ovvero un numero posto in corrispondenza con le formule di verifica come dalla legenda del tabulato). Vengono inoltre forniti il coefficiente massimo tra resistenza e stabilità, la causa (resistenza o stabilità) e la classe massima (solo per EC3).

## 3.13 Modale

### 3.13.1 Calcola modi!

Questo comando lancia il solutore per l'analisi modale.

Per il funzionamento è essenziale che nella path completa del modello non figurino spazi. Ad esempio i seguenti due modelli non vanno bene:

c:\Analisi\Commessa 20 bis\Modello.sdc

c:\Analisi\Commessa\_20\_bis\Un modello.sdc

mentre i seguenti vanno bene:

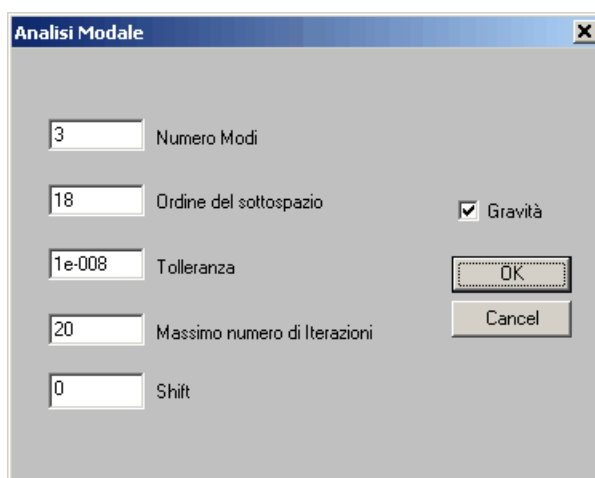
c:\Analisi\Commessa\_20\_bis\Modello.sdc

c:\Analisi\Commessa\_20\_bis\Un\_modello.sdc

### 3.13.2 Imposta

Questo comando consente di impostare il funzionamento del solutore per l'analisi modale. Alla sua esecuzione si apre un opportuno [dialogo](#)<sup>[269]</sup> che consente di fornire le informazioni necessarie.

#### 3.13.2.1 DialogoAnalisiModale

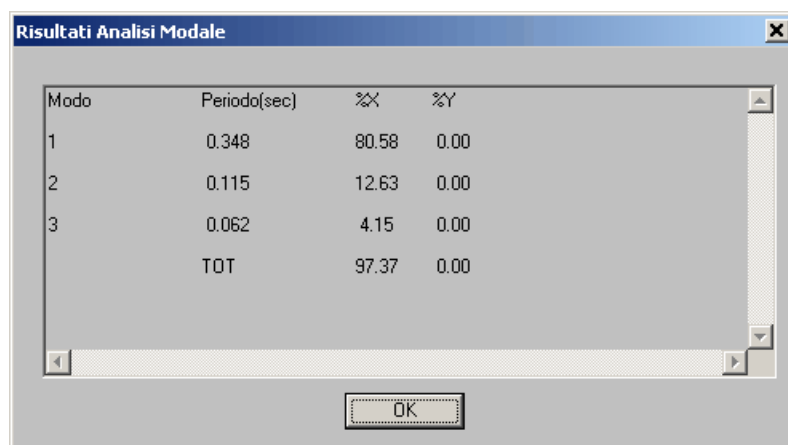


Questo dialogo consente di impostare il funzionamento della analisi modale. Occorre specificare il numero dei modi richiesto (che non deve superare il numero di masse diverse da zero), l'ordine del sottospazio (maggiore del numero di modi ma minore del numero di masse diverso da zero, di solito si prende il doppio del numero dei modi), la tolleranza sui modi (conviene prendere un numero non minore di  $1.e-4$  per evitare imprecisioni), il massimo numero di iterazioni (default 20, se è necessario mettere un numero alto conviene aumentare l'ordine del sottospazio), lo shift (solo per modelli non vincolati).

Il flag "gravità" è molto molto importante. Se esso è acceso il programma aggiungerà (fuori da CESCO) alle masse applicate in CESCO le masse dovute al peso proprio della struttura. Se invece il flag è spento, allora questa aggiunta non verrà fatta. E' necessario stare attenti a non mettere le masse due volte (aggiungendole coi comandi normali eppoi lasciando acceso questo flag)!

Il flag consente di non dover ogni volta modificare le masse se si modifica la struttura.

### 3.13.3 Riepilogo



The screenshot shows a window titled "Risultati Analisi Modale" with a table containing the following data:

Modo	Periodo(sec)	%X	%Y
1	0.348	80.58	0.00
2	0.115	12.63	0.00
3	0.062	4.15	0.00
TOT		97.37	0.00

An "OK" button is located at the bottom center of the window.

Questo comando fa comparire informazioni riepilogative sui risultati della analisi modale. Vengono indicate le percentuali di massa partecipante nella direzione X ed in quella Y, ed inoltre il periodo (in secondi) di ciascun modo di vibrare calcolato dal programma.

### 3.13.4 Deformata

Questo comando fa vedere la deformata modale del modo attivo (vedere la barra di stato). La scala della deformata modale viene variata con lo stesso comando che fa variare la scala della deformata statica normale, in altre parole viene usata la stessa scala specificata per l'analisi statica.

Se si sta vedendo una deformata modale, nella barra di stato compare, oltre al numero del modo attivo, anche il suo periodo in secondi.

### 3.13.5 Modo

Questo comando consente di scegliere il modo del quale si vuole vedere la deformata modale.

Se si sta vedendo una deformata modale, nella barra di stato compare, oltre al numero del modo attivo, anche il suo periodo in secondi.

### 3.13.6 Precedente

Questo comando fa vedere la deformata modale del modo precedente a quello attivo (indicato nella barra di stato sotto M=??).

Se si sta vedendo una deformata modale, nella barra di stato compare, oltre al numero del modo attivo, anche il suo periodo in secondi.

### 3.13.7 Successivo

Questo comando fa vedere la deformata modale del modo successivo a quello attivo (indicato nella barra di stato sotto M=??).

Se si sta vedendo una deformata modale, nella barra di stato compare, oltre al numero del modo attivo, anche il suo periodo in secondi.

## 3.14 Spettro di Risposta

### 3.14.1 Esegui analisi!

Questo comando lancia il solutore per l'analisi a spettro di risposta. E' necessario che ci sia un caso di carico etichettato come "SISMA MODALE" avente un'unica forza applicata su un unico generico nodo, di intensità in Newton pari alla intensità del sisma (il fattore moltiplica le ordinate dello spettro: di solito si mette una forza di 1N).

La direzione della forza dà la direzione del sisma. Di solito si mette un caso di carico con una forza di 1N orizzontale.

Per il funzionamento è essenziale che nella path completa del modello non figurino spazi.

Ad esempio i seguenti due modelli non vanno bene:

```
c:\Analisi\Commessa 20 bis\Modello.sdc  
c:\Analisi\Commessa_20_bis\Un modello.sdc
```

mentre i seguenti vanno bene:

```
c:\Analisi\Commessa_20_bis\Modello.sdc
```

c:\Analisi\Commessa\_20\_bis\Un\_modello.sdc

### 3.14.2 Imposta

Questo comando conesnte di impostare il funzionamento della analisi a spettro di risposta.

Questo dialogo fa scegliere tra quattro possibili tipi di spettro:

Lo spettro previsto dal D.M. italiano, lo spettro dell'EC8, lo spettro definito dall'ordinanza 3274 PCM del 20/3/2003, e uno spettro definito per punti.

Il tipo di spettro è deciso dal bottone radio **Attiva** prescelto.

Per maggiori informazioni si veda [Analisi a spettro di risposta con SPECTRUM](#) <sup>155</sup>.



Questo dialogo 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>153</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.

**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 positive.

**mt** non è impiegato dal programma e deve essere lasciato pari a 0.

**m2** indica se correggere o meno il momento flettente. 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 T 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** non è impiegato dal programma e deve essere lasciato pari a 0.

**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.

## 3.15 C.A.

### 3.15.1 Imposta



Questo comando serve ad impostare i dati che servono al funzionamento dei comandi per il cemento armato. In pratica, i comandi del menu C.A. funzionano andando a leggere i valori impostati preventivamente con questo comando. Anche: variando i dati con questo comando avendo attiva una delle modalità previste per il cemento armato, si ottengono varie possibili scelte per le armature.

Si tratta di fare delle scelte sul tipo di materiali (calcestruzzo armato e acciaio) e sulle proprie preferenze in termini di copriferro, diametro dei tondini, numero di bracci delle staffe, e così via.

Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[274]</sup> consente di impostare tutti questi dati.

#### 3.15.1.1 DialogoImpostazionecalcolicementoarmato

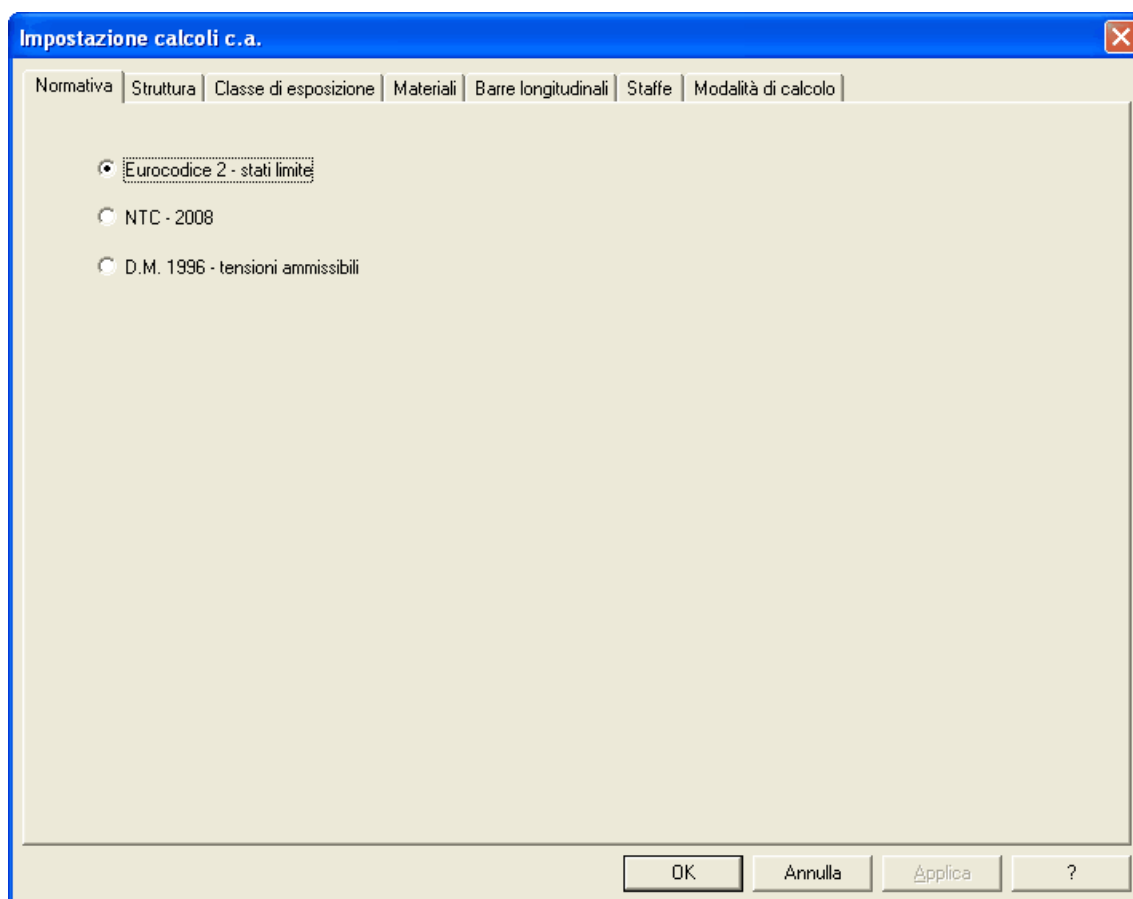
Questo dialogo serve a impostare i dati per il calcolo delle travi inflesse in cemento armato. Esso di fatto "pilota" il funzionamento del programma, ed è quindi il sistema con il quale il progettista/analista può chiedere al programma di calcolare ciò che ha in mente.

Alla esecuzione del comando compare un dialogo costituito da vari sotto dialoghi, ciascuno dei quali dedicato ad un particolare insieme di impostazioni.

Il dialogo è diviso in sette sotto-dialoghi:

- Normativa
- Struttura
- Classe di esposizione
- Materiali

- Barre longitudinali
- Staffe
- Modalità di calcolo



**Dialogo iniziale: Normativa**

Il primo dialogo, **Normativa**, serve a scegliere la norma di verifica. In CESCO CONCRETE è possibile utilizzare l'Eurocodice 2 o le NTC 2008.

The image shows a software dialog box titled "Impostazione calcoli c.a." with a standard Windows-style title bar (blue with a close button). Below the title bar is a tabbed interface with six tabs: "Normativa", "Struttura", "Classe di esposizione", "Materiali", "Barre longitudinali", and "Staffe". The "Struttura" tab is currently selected. The main area of the dialog is divided into two sections. The first section, titled "Categoria vita utile", contains five radio button options: "1 - 10 anni - strutture temporanee", "2 - da 10 a 25 anni - strutture che possono essere sostituite", "3 - da 15 a 30 anni - strutture ad uso agricolo e simili", "4 - 50 anni - strutture di edifici e strutture di normale importanza" (which is selected and highlighted with a dashed border), and "5 - 100 anni - strutture di edifici monumentali, ponti, strutture di importanza rilevante". The second section, titled "Tipologia", contains two radio button options: "Non assimilabile a una soletta" (which is selected) and "Assimilabile a una soletta". At the bottom right of the dialog are four buttons: "OK", "Annulla", "Applica", and "?".

### Dialogo Struttura

Il secondo dialogo, **Struttura**, specifica la categoria di vita utile e la tipologia della struttura, ovvero se assimilabile o meno ad una soletta.

**Impostazione calcoli c.a.**

Normativa | Struttura | **Classe di esposizione** | Materiali | Barre longitudinali | Staffe | Modalità di calcolo

Nessun rischio

☒ XD - nessun rischio di corrosione o attacco

Corrosione indotta da carbonatazione

☐ XC1 - Asciutto o permanentemente bagnato  
☐ XC2 - Bagnato, raramente asciutto  
☐ XC3 - Umidità modesta  
☐ XC4 - Ciclicamente bagnato e asciutto

Corrosione indotta da cloruri

☐ XD1 - Umidità moderata  
☐ XD2 - Bagnato, raramente asciutto  
☐ XD3 - Ciclicamente bagnato e asciutto

Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare

☐ XS1 - Esposto a nebbia salina  
☐ XS2 - Permanentemente sommerso  
☐ XS3 - Zone esposte alle onde, a spruzzi o maree

Attacco di cicli di gelo-disgelo

☐ XF1 - Moderata saturazione d'acqua, senza antigelo  
☐ XF2 - Moderata saturazione d'acqua, con antigelo  
☐ XF3 - Elevata saturazione d'acqua, senza antigelo  
☐ XF4 - Elevata saturazione d'acqua con antigelo

Attacco chimico (prospetto 2 EN 206-1)

☐ XA1 - Ambiente chimico debolmente aggressivo  
☐ XA2 - Ambiente chimico moderatamente aggressivo  
☐ XA3 - Ambiente chimico fortemente aggressivo

0.4 Apertura limite di fessura

OK Annulla Applica ?

### Dialogo Classe di esposizione

Il terzo dialogo, **Classe di esposizione**, serve a definire l'ambiente nel quale si trova la struttura e quindi i vari possibili rischi legati alla corrosione ed al gelo e disgelo cui è sottoposta. Tutte le impostazioni ricalcano fedelmente quelle dell'Eurocodice 2. Il numero "Apertura limite di fessura" è stabilito dall'utente e rappresenta il numero utilizzato per confronto con le effettive aperture di fessura misurate dal programma. Si tratta di una lunghezza da dare impiegando le unità di misura attive.



### Dialogo Materiali

Il quarto dialogo, **Materiali**, serve a stabilire la categoria del calcestruzzo e quella dell'acciaio. Per il calcestruzzo occorre specificare:

Il fattore  $q_s$ , ovvero il fattore di sicurezza per il materiale acciaio.

**Impostazione calcoli c.a.**

Normativa | Struttura | Classe di esposizione | Materiali | **Barre longitudinali** | Staffe | Modalità di calcolo

**Tipo e copriferro**

☐ Armatura semplice

☒ Armatura doppia  A's/A<sub>s</sub>

d 

si assume d=d' - cfr disegno

**Barre primarie superiori correnti**

Diametro  Numero

**Barre primarie inferiori correnti**

Diametro  Numero

**Barre secondarie**

Diametro

OK Annulla Applica ?

## Il quinto dialogo: Barre Longitudinali

Il quinto dialogo, **Barre Longitudinali**, serve a stabilire i criteri coi quali il programma deciderà che barre longitudinali mettere. Le barre longitudinali sono divise in due gruppi: le barre primarie, che sono

sempre e comunque presenti nel numero e tipo specificato, e le barre secondarie, che invece vengono aggiunte dal programma sulla base delle effettive necessità.

Per prima cosa si sceglie se l'armatura è semplice o doppia. Si tenga presente che ciò va solo ad influire sulle barre aggiunte (ovvero le barre secondarie, in modo che complessivamente, tra barre primarie e secondarie, si abbia esaudita la richiesta) in quanto le barre primarie devono sempre essere presenti sia sopra che sotto, con il rispettivo numero e diametro.

Nel caso di armatura doppia si deve stabilire il rapporto tra l'armatura tesa ( $A_s$ ) e quella compressa ( $A'_s$ ). Il programma genererà una armatura in modo tale da rispettare questo criterio.

Poi si determina il copriferro, ovvero la distanza netta tra il filo più esterno della armatura e il lembo più esterno di calcestruzzo. Il copriferro può essere prefissato dall'utente, scrivendo il numero corrispondente al suo valore nella apposita casella (nella unità di misura attiva), oppure può essere determinato dal programma sulla base delle regole di EC2 (e quindi anche sulla base delle scelte, precedentemente fatte, in merito alla classe di esposizione ed alla vita utile). In questo secondo caso l'utente deve premere il bottone **Determina copriferro nominale**, che dà accesso al dialogo della figura seguente.

**Determinazione del copriferro nominale - dati aggiuntivi**

	<input type="text" value="4"/>	Classe Strutturale	
	<input type="text" value="10"/>	c min, dur	
riduzione per acciaio inox	<input type="text" value="0"/>	^ c dur, st	<input type="checkbox"/> armatura acciaio inossidabile
incremento per sicurezza aggiuntiva	<input type="text" value="0"/>	^ c dur, gamma	
riduzione per protezioni aggiuntive	<input type="text" value="0"/>	^ c dur, add	<input type="checkbox"/> armatura con protezione aggiuntiva
massimo scostamento negativo accettato	<input type="text" value="0"/>	^ c dev	

**Dialogo Determinazione del copriferro nominale – Dati aggiuntivi**

In questo dialogo si possono specificare dati ulteriori quali:

- L'eventuale riduzione del copriferro dovuta al fatto che si stanno usando barre di acciaio inox
- L'eventuale incremento del copriferro per ottenere una protezione aggiuntiva
- L'eventuale riduzione del copriferro per tener conto della esistenza di protezioni aggiuntive
- Il massimo scostamento negativo accettato (ovvero un ulteriore incremento di

copriferro), cfr. EN 1992 4.4.1.1.(2).

Se l'armatura è in acciaio inox o se esistono protezioni aggiuntive per l'armatura, occorrerà spuntare la casellina corrispondente.

Uscendo con "OK" dal dialogo precedente si chiede al programma di determinare il corretto copriferro sulla base di tutte le impostazioni date, a partire da quelle relative alla classe strutturale (e quindi anche quelle fornite nei dialoghi di impostazione precedenti).

Tornando ora al dialogo Barre Longitudinali si vede che sulla destra si può determinare il numero ed il diametro delle barre primarie inferiori correnti, ed il numero ed il diametro delle barre superiori correnti. Tali barre saranno presenti sempre e comunque a prescindere dall'esito dei calcoli. Ovviamente si terrà conto della loro esistenza nel determinare l'area di barre secondarie necessarie, facendo la differenza tra l'area minima calcolata e l'area fornita da queste. Esse possono essere viste alternativamente in due modi. Nel funzionamento tipico del programma esse sono dei reggi staffa, e si lascia al programma il compito di determinare le barre secondarie da aggiungere a queste per ottemperare alle verifiche. Esiste però anche la possibilità (quando il diametro delle barre sia unico e queste siano correnti su tutta la lunghezza della membratura) di utilizzare questi dati per obbligare il programma a calcolare una certa configurazione di ferri: in questo caso basterà fare in modo che non siano necessarie armature secondarie, aggiungendo un congruo numero di ferri primari di opportuno diametro, per chiedere al programma di eseguire le verifiche con la sola armatura corrente (superiore ed inferiore).

Nella sottosezione "**barre primarie superiori correnti**" viene specificato il diametro ed il numero delle barre correnti superiori. Queste barre sono presenti in genere a prescindere dal calcolo, per ragioni costruttive. Se si vuole evitare la presenza di queste barre basta dare il numero 0.

Nella sottosezione "**barre primarie inferiori correnti**" viene specificato il diametro ed il numero delle barre correnti inferiori. Queste barre sono presenti in genere a prescindere dal calcolo, per ragioni costruttive. Se si vuole evitare la presenza di queste barre basta dare il numero 0.

Nella sottosezione "**barre secondarie**" si specifica il diametro delle barre che, in aggiunta alle barre primarie eventualmente specificate, conducono ad avere l'area di acciaio minima richiesta.

Poiché non pare molto accettabile la tendenza ad avere formule d'armatura ternarie o quaternarie ( $2f_{i10} + 1f_{i12} + 1f_{i14} + 1f_{i18} + \dots$ ), e dato il desiderio di mantenere i risultati di Cesco facili da controllare ed interpretare, si è ritenuto che una formula binomia fosse la più chiara ed univoca: in questo schema l'armatura è sempre data da un'armatura corrente costante e da un'armatura aggiuntiva, da mettere là dove serve. Si noti che è facilmente possibile studiare i vari casi e determinare il diametro che meglio fa al caso di interesse. E' anche disponibile un comando ([Statistiche](#)<sup>[301]</sup>) che consente di valutare il



rapporto tra il minimo peso di acciaio teoricamente necessario e quello effettivamente impiegato. Vengono guidati da questa scelta i comandi:

[Diagramma Barre \(Con Min A M\)](#)<sup>[297]</sup>,

[Diagramma Barre \(Senza Min A M\)](#)<sup>[298]</sup>,

[Layout Barre](#)<sup>[299]</sup>,

[DXF Layout Barre](#)<sup>[299]</sup>.

**Dialogo Staffe**

Il sesto dialogo, **Staffe**, serve a determinare come sarà applicata la armatura a taglio.

Dapprima si deve determinare il **numero di bracci** utili della staffa. In pratica si tratta del numero che va a moltiplicare l'area di un tondino per determinare, in una data sezione, l'area di acciaio disponibile a taglio. Poi occorre determinare il **Diametro** delle barre impiegate per l'armatura a taglio. Entrambi i dati consentono di stabilire quante staffe mettere lungo lo sviluppo della membratura.


Infine si deve decidere se l'armatura a taglio venga calcolata immaginando che sia presente l'armatura minima di acciaio longitudinale o la armatura delle barre di progetto. Ciò si fa selezionando l'apposito controllo (**usa area di acciaio longitudinale minima** o **usa area di acciaio longitudinale di progetto**).

Si noti che il programma assegna il taglio interamente alle staffe e non ai piegati. Ciò è voluto e tiene in conto anche l'esigenza di armature semplici da realizzare in cantiere. I dati qui forniti guidano il comando [Staffe](#)<sup>[300]</sup>.

**Impostazione calcoli c.a.**

Normativa | Struttura | Classe di esposizione | Materiali | Barre longitudinali | Staffe | **Modalità di calcolo**

**Traslazione diagramma momenti**

☒ Si trasla di kh 

0.9 k

**Coefficienti di amplificazione**

1 r (  $M_{calcolo} = rM$ ;  $N_{calcolo} = rN$  )

1 r' (  $T_{calcolo} = r'T$  )

**Stati limite**

0.05 Variazione area armatura per iterazione (%)

500 Numero di suddivisioni della sezione

☐ Dominio con 12 punti (semplificato)

☐ Interrompi calcolo se rottura non duttile su travi 0.45  $(x_u/d)$  lim

**Identificazione travi (per definizione: non travi= pilastri)**

☒ Elementi con angolo sull'orizzontale < 85°

☐  $|M| < 0.05 \times A \times f_{cd}$  -----sempre

☐  $|M| > 0.0013 \times 0.05 \times A \times f_{sd} \times H$  --- talvolta

OK Annulla Applica ?

**Dialogo Modalità di calcolo**

Il settimo dialogo, Modalità di calcolo, serve a stabilire alcune importanti regole che il programma deve seguire per eseguire tutti i calcoli.

La prima riguarda la **Traslazione del diagramma dei momenti**. Questa regola serve a tenere conto dell'incremento di azione nelle barre longitudinali causato dal loro ruolo nel traliccio di Morsch. La traslazione viene data in unità h, essendo h l'altezza utile della sezione.

La seconda impostazione riguarda dei **coefficienti amplificativi** che si possono applicare alle sollecitazioni di calcolo. Si tratta in pratica di coefficienti di sicurezza aggiuntivi, il cui ruolo può essere apprezzato andando a vedere la distanza tra i pallini che rappresentano lo stato di sforzo e la frontiera del dominio limite. Se si tiene 1 il dominio limite risulterà molto vicino ad almeno uno dei punti di sollecitazione. Se invece si mette un numero maggiore di 1 per r, allora i punti saranno un po' più distanti dal dominio limite. Applicare dei fattori r ed r' maggiori di 1 significa cautelarsi ulteriormente facendo finta che le sollecitazioni di calcolo siano un po' maggiori di quelle effettive, derivanti dalla

soluzione del sistema lineare e dalla applicazione dei vari carichi nelle varie combinazioni.

La terza impostazione riguarda i criteri coi quali si decide se un elemento è o meno una trave. Ciò perché in EC2 vi sono delle prescrizioni differenti per gli elementi a seconda che si tratti di travi o di pilastri, in particolare per quanto riguarda la percentuale di armatura minima che comunque il programma deve soddisfare. CESCO CONCRETE consente di decidere se un elemento è una trave sulla base di alcuni criteri alternativi:

- Un criterio geometrico basato sulla inclinazione sulla orizzontale;
- Un criterio statico basato sulla intensità della azione assiale
- Un criterio statico basato sulla intensità del momento flettente.

Gli ultimi due criteri usano delle soglie che rappresentano rispettivamente:

- Il 5% della massima compressione sopportabile dal solo calcestruzzo
- Il 5% del momento flettente ascrivibile ad una percentuale di armatura del  $1,3\text{‰}$ , supposta caricata dalla massima tensione di trazione e con un braccio pari alla altezza totale della sezione (tale area di armatura è la minima specificata al punto 9.2.1.1.).

Questo genere di scelta si fa quando si vuole tenere conto, più che della orientazione dello elemento, che può non essere davvero significativa, del suo reale stato di sforzo. Il primo criterio, quello basato sulla azione assiale, assicura che la azione assiale è sempre molto piccola. Il secondo criterio va a vedere se il momento flettente supera una soglia minima di interesse.

Le ulteriori impostazioni, reperibili nella parte di destra del dialogo, si riferiscono alle modalità con le quali vengono costruiti dal programma i domini limite, ed alle modalità con le quali viene eseguita la iterazione che porta a decidere l'area minima.

La prima impostazione di questo gruppo specifica con che passo il programma va via via incrementando l'area di acciaio al fine di arrivare all'area di acciaio minima. Il valore proposto è lo  $0,05\%$  (ovvero lo  $0,5\text{‰}$ ) dell'area di calcestruzzo lorda. Ciò implica una determinazione con analogo errore della area di armatura minima. Tenuto presente che il minimo per le travi è  $1,3\text{‰}$  ed il massimo il  $4\%$ , si può avere una idea del numero massimo di iterazioni possibili ( $40\text{‰} - 1,3\text{‰} = 38,7\text{‰}$ , e quindi circa  $2 \times 39 = 78$  iterazioni).

La seconda impostazione attiene al modello di calcolo delle sezioni: CESCO CONCRETE usa una integrazione numerica che "affetta" la sezione mediante un certo numero di strati: tanto maggiore è il numero di strati tanto maggiore è la precisione, tanto maggiore è il tempo di calcolo.

Il dominio limite può essere calcolato con un numero di punti "basso" ed "elevato". Anche questo influenza il tempo di calcolo e la precisione. Il valore di default è "alto" (ovvero 54 punti), ma è possibile calcolare i domini, per le prime determinazioni, anche con solo 12 punti. Si raccomanda comunque di usare la impostazione normale (quella con "alto" numero di punti) per avere una precisione sufficiente.

L'ultima impostazione consente di stabilire una soglia per la profondità dell'asse neutro plastico ( $x/d$ ) e consente di interrompere il calcolo se il calcolo porta ad avere una profondità dell'asse neutro plastico maggiore di quella specificata. La "rottura non duttile" avviene quando il calcestruzzo si schiaccia mentre l'acciaio è ancora in campo elastico. Questa condizione è segnalata da elevate deformazioni nel calcestruzzo mentre nell'acciaio si hanno deformazioni blande. La soglia convenzionale per la quale si definisce "non duttile" il tipo di rottura conseguita, è data dalla profondità dell'asse neutro plastica specificata nella opportuna casella (si tratta di un numero puro).

Il programma, dopo aver eseguito il calcolo della area minima per una data sezione di un dato ramo di una data membratura, esamina la situazione della combinazione che ha dato luogo al massimo sfruttamento. Se per quella combinazione viene stimata una  $x/d$  maggiore del limite allora viene stampato un messaggio di avviso. Per maggiori informazioni si veda quanto in *I comandi di progetto/verifica per il calcestruzzo armato*, nel seguito. Questo controllo viene effettivamente eseguito solo se la casella **Dominio con 12 punti (semplificato)** non è spuntata, in quanto il programma valuta  $x/d$  facendo uso dei punti esistenti del dominio limite. In caso contrario il controllo non viene eseguito e viene dato un messaggio di avviso.

### 3.15.2 Interroga



Questo comando consente di avere informazioni dettagliate sulla situazione di calcolo nelle varie sezioni che compongono un elemento.

#### Tensioni Ammissibili

Per "situazione di calcolo" si intende il valore delle sollecitazioni di calcolo, la posizione dell'asse neutro, il quantitativo delle armature, il livello di sforzo raggiunto nell'acciaio e nel calcestruzzo.

I dati si riferiscono alla armatura longitudinale minima, così come calcolata con il comando [Min\\_A\\_M](#)<sup>[297]</sup>. In pratica alla esecuzione del comando occorre scegliere un elemento (ramo) sul quale andare ad eseguire la interrogazione. Scelto il ramo si apre un opportuno [dialogo](#)<sup>[285]</sup> che consente di perlustrare l'elemento punto per punto.

Lo scopo di questo comando è quello di consentire all'analista di rendersi conto dei livelli di sforzo nel calcestruzzo e nell'acciaio (e capire così se si ha crisi lato acciaio o lato calcestruzzo) ed anche di avere un'idea del quantitativo di acciaio che sarebbe necessario. La presenza di quantitativi eccessivi è chiaramente riscontrabile dal disegno che varia dinamicamente muovendosi lungo l'asse dell'elemento.

#### Stati limite

Questo comando consente di interrogare il programma in merito alle verifiche ed ai domini allo SLU relativi a particolari sezioni di verifica. Nel calcolo dei domini limite il programma usa le aree di acciaio seguenti.

1. Se non è attiva alcuna rappresentazione della area di acciaio, ovvero nessun comando di rappresentazione dei ferri di progetto, il comando usa e calcola l'area minima (vedi più sotto).
2. Se è attiva la rappresentazione dell'area minima (comando Min A-NM) allora usa l'area minima al positivo ed al negativo.
3. Se è attiva la rappresentazione del diagramma delle barre (comando Diagramma Barre, con o senza Min A-NM) allora il programma usa l'area delle barre di progetto, al positivo ed al negativo.

Una volta eseguito il comando si clicca su una delle aste che compongono la struttura.

A questo punto si apre un opportuno [dialogo](#)<sup>[288]</sup>.

### 3.15.2.1 Dialogo Risultati calcolo calcestruzzo armato

Questo dialogo serve a perlustrare un elemento venendo a conoscere tutti i dettagli di calcolo relativi

alle barre di armatura ed al calcestruzzo armato. Con questo dialogo è anche rapidamente possibile vedere come cambiano i calcoli al variare delle impostazioni di calcolo.

Il dialogo si divide in quattro parti.

La prima parte “**Posizione lungo l’asse della trave**” serve a posizionarsi in un punto lungo l’asse della trave. Premendo il tasto sinistro del mouse sul cursore, e, tenendo sempre premuto, trascinando il controllo, ci si muove lungo l’asse dell’elemento. Le grandezze **Csi** ed **x** indicano rispettivamente la distanza adimensionale dal primo estremo (0-1) e la distanza dimensionale (nelle unità attive) sempre dal primo estremo.

La seconda parte “**Dati impostati per il calcolo**” consente di variare le impostazioni di calcolo come si sarebbe fatto usando direttamente il comando [Imposta](#)<sup>[274]</sup>. Il vantaggio è che in questo modo si variano le impostazioni mentre si fa una interrogazione, ed i calcoli sono automaticamente aggiornati.

La terza parte, “**Momento negativo**” dà ragione di tutti i calcoli assumendo come momento di calcolo il momento negativo. Sulle travi orizzontali esso tende le fibre di sopra. Analizzando in dettaglio tutti i campi di input si leggono i seguenti dati ed i seguenti risultati:

- M- è il valore del momento flettente al negativo usato per il calcolo.
- X è la distanza dell’asse neutro dal lembo compresso nella unità di misura attiva.
- Sigma CIs è il valore di compressione al lembo compresso nel calcestruzzo, nella unità attiva;
- Sigma acciaio As è il valore della trazione nell’acciaio teso.
- Ai è il quantitativo di area di acciaio al lembo inferiore (nelle unità attive).
- As è il quantitativo di area di acciaio al lembo superiore (nelle unità attive).

L’esame dei risultati consente di capire se la crisi sia lato calcestruzzo (Sigma CIs prossima a quella ammissibile) o se invece sia lato acciaio (Sigma acciaio As prossima a quella ammissibile), data l’altezza della sezione e le sollecitazioni di calcolo. Il disegno della sezione riporta un rettangolo in colore nero che ha l’area in scala eguale a quella indicata. **L’esistenza di rettangoli di armatura di dimensioni irrealistiche è l’indice che la sezione non è sufficientemente alta e/o larga per sopportare i momenti di calcolo.**

La quarta parte, “**Momento positivo**” dà ragione di tutti i calcoli assumendo come momento di calcolo il momento positivo. Sulle travi orizzontali esso tende le fibre di sotto. Analizzando in dettaglio tutti i campi di input si leggono i seguenti dati ed i seguenti risultati:

- $M+$  è il valore del momento flettente al positivo usato per il calcolo.
- $X$  è la distanza dell'asse neutro dal lembo compresso nella unità di misura attiva.
- $\sigma_{Cl}$  è il valore di compressione al lembo compresso nel calcestruzzo, nella unità attiva;
- $\sigma_{acc}$  è il valore della trazione nell'acciaio teso.
- $A_i$  è il quantitativo di area di acciaio al lembo inferiore (nelle unità attive).
- $A_s$  è il quantitativo di area di acciaio al lembo superiore (nelle unità attive).

Il programma usa questi calcoli per valutare l'area minima di acciaio da impiegare. In effetti il programma, date le dimensioni della sezione e l'intensità delle sollecitazioni, trova il minimo quantitativo di acciaio (che rispetti le richieste dell'utente), il quale porti ad avere sia per l'acciaio che per il calcestruzzo valori di sforzo inferiori a quelli ammissibili. Questo valore di area è quello indicato con  $A_i$  ed  $A_s$  nel dialogo in esame.

Noti che siano i quantitativi minimi al positivo ed al negativo, stimati sia considerando il momento al positivo che il momento al negativo, il programma assume come area minima in una data posizione (al positivo o al negativo) il massimo tra i due valori stimati prendendo i momenti positivi e negativi. In pratica se

$A_{i+}$  è l'area inferiore stimata con il momento al positivo ed

$A_{i-}$  è l'area inferiore stimata con il momento al negativo, l'area inferiore finale sarà:

$$A_i = \max\{A_{i+}, A_{i-}\}.$$

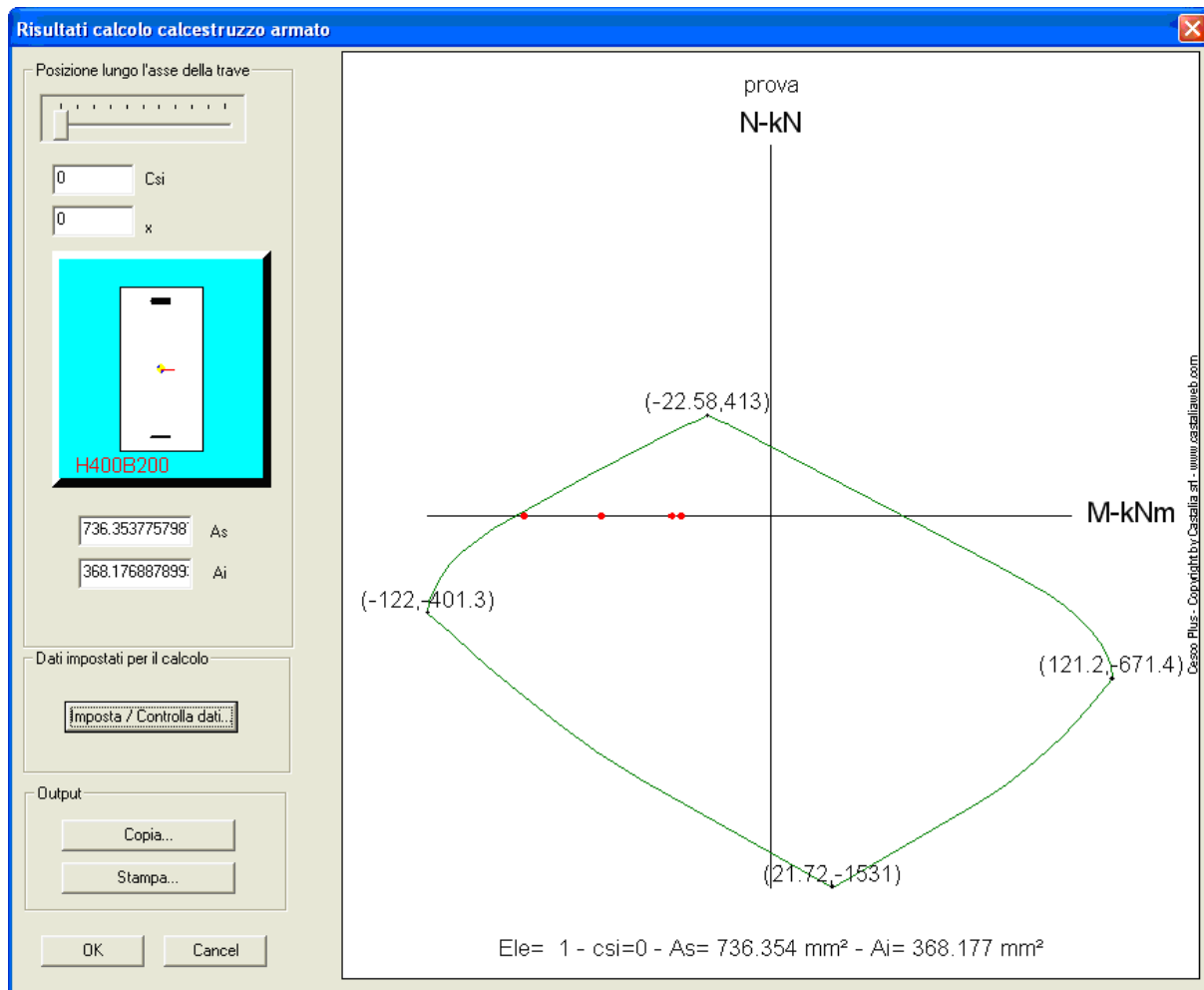
E analogamente

$$A_s = \max\{A_{s+}, A_{s-}\}.$$

Si fa notare che cliccando sul bottone immagine corrispondente alla sezione parzializzata, si apre il dialogo con i dati della sezione lorda.

Il pulsante **Crea report** è molto utile. Fissata una certa posizione sull'asse della trave, la pressione di questo bottone consente di avere un immediato report scritto delle verifiche sezionali con tutti i dati salienti del calcolo. Nel report vanno i dati correntemente attivi.

## 3.15.2.2 Dialogo Risultati calcolo calcestruzzo armato



Il dialogo della figura precedente è così organizzato:

Il cursore a slitta posto a sinistra consente di muoversi da punto a punto lungo l'asse della trave (**Posizione lungo l'asse della trave**), o meglio, per esattezza, lungo l'asse del ramo selezionato in precedenza (le la trave è composta da più rami occorre scegliere il ramo pertinente). Le due caselle indicano la distanza dal primo estremo (**x**) e la ascissa dimensionale dallo stesso (**csi**). L'immagine sottostante mostra la sezione con l'acciaio applicato in quel punto della membratura. L'acciaio che viene considerato dipende dal comando attivo secondo le spiegazioni date in precedenza: esso può essere l'acciaio minimo (comandi Min A-NM) oppure l'acciaio "di progetto" (comandi Diagramma Barre). La esatta quantità di acciaio è riportata nelle due caselle sottostanti, **As** (area acciaio superiore) ed **Ai** (area acciaio inferiore). Queste aree sono indicate nella unità di misura attiva al momento della esecuzione del comando. Le aree in questione stanno tra loro nel rapporto specificato nelle **Impostazioni**.

Poiché il comando riesegue in tempo reale tutti i calcoli necessari, è possibile variare le impostazioni di

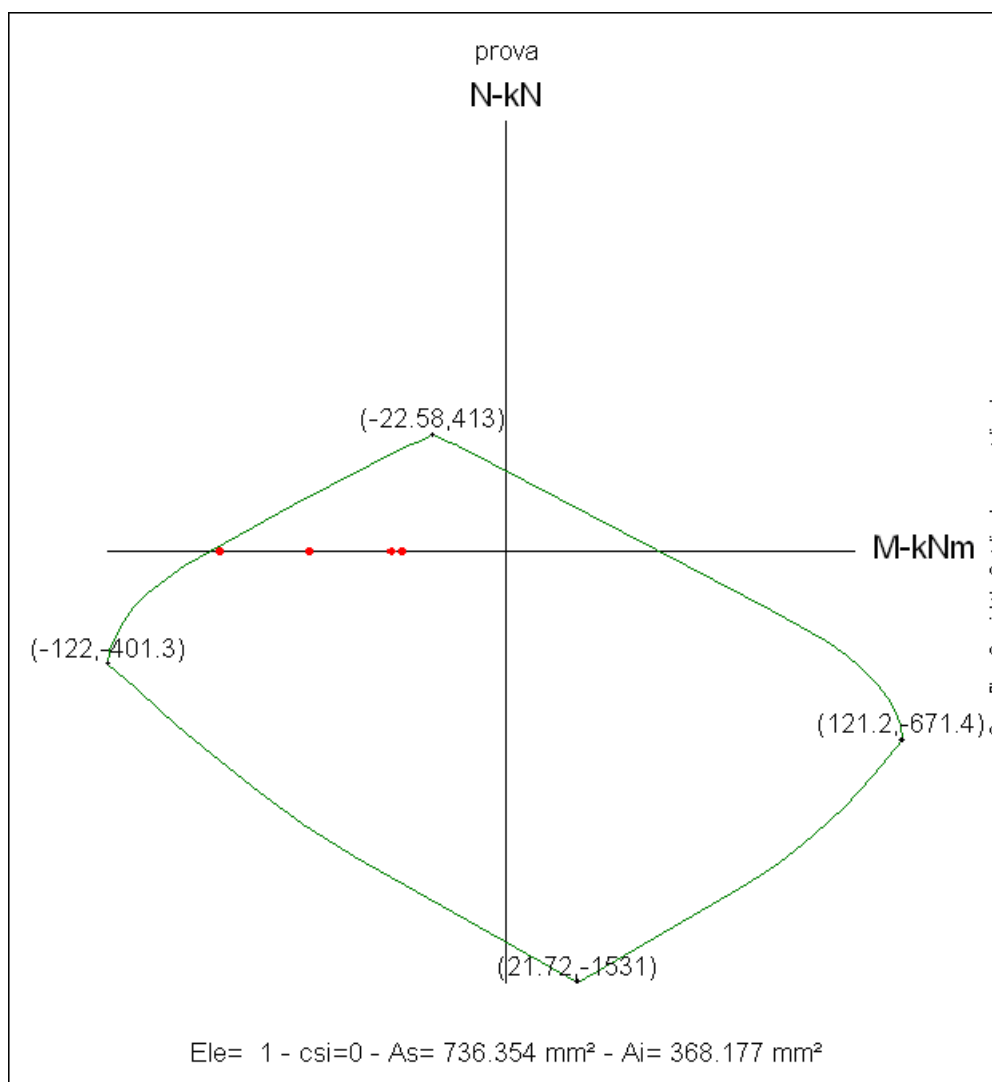


base che dirigono il calcolo determinandone l'esito. Ciò si fa premendo il bottone **Imposta/Controlla Dati**. La pressione di questo bottone è del tutto identica alla esecuzione del comando Imposta, solo che viene fatta da dentro il comando Interroga, ed è quindi possibile modificare le impostazioni generali nel corso del comando.

Nella grande figura di destra è rappresentato il dominio limite per la sezione allo studio, nel punto indicato della membratura. L'immagine (che come si vedrà può essere stampata e copiata) riporta in ascissa i momenti flettenti in kNm (qui la unità di misura è fissa), ed in ordinata le azioni assiali (positive se di trazione) in kN.

$$Ele= 1 - csi=0 - As= 152.711 \text{ mm}^2 - Ai= 305.423 \text{ mm}^2$$

La scritta in basso dice che ramo è quello indagato (Ele=), in che ascissa dimensionale (csi=) ovvero a che distanza dal primo estremo, e che aree di acciaio sono state considerate superiormente (As) ed inferiormente (Ai).



**Esempio di rappresentazione del dominio limite insieme con la rappresentazione dello stato di**

**sollecitazione per le varie combinazioni allo studio (54 punti, dominio non semplificato).**

Nel disegno lo stato di sollecitazione applicato è rappresentato da una serie di puntini di colore rosso, che danno una idea di come si collochino le sollecitazioni applicate rispetto al dominio limite. Questa immagine, per le sezioni di verifica salienti, dà una idea chiara ed immediata delle verifiche agli SLU per tensioni normali, ed è quindi particolarmente utile da includere nelle relazioni di calcolo. Per fare questo esistono appositamente i due bottoni **Stampa** e **Copia**. Il bottone **Stampa** consente di mandare in stampa (su qualsiasi periferica gestita dal sistema operativo) la immagine del dominio coi punti sollecitanti. Il bottone **Copia** riversa negli appunti la immagine del dominio limite in modo che questa possa essere incollata all'interno di un qualsiasi documento, come ad esempio è stato fatto qui per un documento WordTM.

### 3.15.3 Crea Listato

CESCO PLUS produce due distinti tabulati.

Uno è prodotto a prescindere dalle verifiche (comando [File-Crea Listato](#)<sup>[163]</sup>). Questo tabulato ha estensione .txt e contiene informazioni sul modello e sul solving del modello, informazioni che prescindono però dalle verifiche. Per avere informazioni dettagliate su questo tabulato, che è molto esteso ed articolato, si rimanda alla guida relativa al comando ad esso dedicato.

L'altro tabulato viene creato con il comando qui descritto, [C.A.-Crea listato](#)<sup>[290]</sup> e ha un nome del tipo "*modello.sdc.Ades.txt*", oppure "*modello.sdc.txt*", a seconda di quale sia l'area longitudinale di acciaio rappresentata a schermo al momento della richiesta del tabulato stesso. Questo tabulato viene aperto automaticamente al termine della sua creazione.

Il tabulato è composto da tre sezioni.

#### DATI GENERALI

La prima sezione riporta dei dati generali ed ha l'aspetto riportato nella figura successiva.

*****
*** CESCOPLUS by CASTALIA srl - www.castaliaweb.com ***
*****
Modello F:\ANALISI\CESCOCONCRETE\fessurazione.SDC
NTC 2008 D.M. 14-1-2008
50 anni strutture di normale importanza

Struttura non assimilabile a una soletta
XC0 nessun rischio di corrosione
Massima apertura di fessura accettabile: 4.00e-001 mm
Calcestruzzo Rck: 2.943e+001 N / mm <sup>2</sup> - fck: 2.443e+001 N / mm <sup>2</sup>
Coefficiente parziale calcestruzzo gamma,c: 1.500e+000
alfa,cc: 8.500e-001 - alfa,ct: 1.000e+000 - m: 1.500e+001
Acciaio fyk: 4.300e+002 N / mm <sup>2</sup>
Coefficiente parziale acciaio gamma,s: 1.150e+000
Copriferro: 2.000e+001 mm
Distanza baricentro longitudinali lembo esterno, superiore: 3.400e+001 mm
Distanza baricentro longitudinali lembo esterno, inferiore: 3.400e+001 mm

**Sezione dati generali del tabulato per i calcoli relativi al c.a.**

## SLU

La seconda sezione si riferisce allo SLU ed è sempre presente, la seconda sezione si riferisce allo SLE ed è presente solo nel file di tipo "Ades", ovvero solo se la richiesta del tabulato viene fatta avendo il diagramma delle barre attivo. Ciò perché per eseguire la verifica agli SLE è necessario disporre dei diametri delle barre e del loro numero.

La sezione relativa allo SLU riporta una serie di blocchi, che si ripetono per ciascun ramo facente parte della struttura in esame. Ogni ramo riporta un blocco di dati per ogni sezione di campionamento. Ogni sezione di campionamento è individuata da una "ascissa dimensionale" compresa tra 0, al primo estremo, ed 1, al secondo estremo.

Per ogni ascissa dimensionale campionata il programma riporta le coordinate dei punti che individuano il dominio limite (ovvero le coordinate dei punti che definiscono ordinatamente il dominio limite). Poi, sempre per la stessa sezione, viene riportato un sintetico insieme di informazioni relative alle verifiche eseguite.

Sollecitazioni calcolate con eventuale traslazione del diagramma di momento e amplificazione richiesta			
Traslazione (in unità altezza utile): 1	0.9	Fattore amplificativo sollecitazioni:	
Combinazione	M( N mm )	N( N )	Sfruttamento
1	5.520e+007	0.000e+000	0.419
2	3.864e+007	0.000e+000	0.294
3	2.981e+007	0.000e+000	0.227

Informazioni relative alle verifiche eseguite su una generica sezione di campionamento.

-----	
Elemento 1 - Ascissa adimensionale 0.00	
-----	
Dominio limite Area progetto - As = 402.124 mmq (2fi 16) - Ai = 804.248 mmq (2fi 16 + 2fi 16)	
M( N mm)	N( N)
3.248e+007	4.511e+005
3.248e+007	4.511e+005
3.531e+007	4.396e+005
4.157e+007	4.140e+005
4.476e+007	4.006e+005
4.793e+007	3.872e+005
5.434e+007	3.586e+005
1.233e+008	4.065e+004
1.540e+008	-1.101e+005
1.703e+008	-2.045e+005
1.843e+008	-2.988e+005
1.962e+008	-3.932e+005
2.059e+008	-4.876e+005
2.133e+008	-5.820e+005
2.186e+008	-6.764e+005
2.216e+008	-7.708e+005
2.225e+008	-8.652e+005
2.104e+008	-9.835e+005
1.986e+008	-1.096e+006
1.868e+008	-1.203e+006
1.748e+008	-1.306e+006
1.626e+008	-1.406e+006
1.499e+008	-1.502e+006
1.368e+008	-1.596e+006
1.230e+008	-1.687e+006
1.111e+008	-1.765e+006
9.603e+007	-1.853e+006
-3.128e+007	-2.511e+006
-1.302e+008	-1.984e+006
-1.430e+008	-1.907e+006
-1.536e+008	-1.835e+006
-1.646e+008	-1.757e+006
-1.748e+008	-1.677e+006
-1.842e+008	-1.596e+006
-1.928e+008	-1.513e+006
-2.008e+008	-1.428e+006
-2.081e+008	-1.342e+006
-2.149e+008	-1.252e+006
-2.213e+008	-1.160e+006
-2.204e+008	-1.066e+006
-2.174e+008	-9.715e+005

-2.121e+008	-8.771e+005
-2.047e+008	-7.828e+005
-1.950e+008	-6.884e+005
-1.831e+008	-5.940e+005
-1.691e+008	-4.996e+005
-1.528e+008	-4.052e+005
-1.099e+008	-1.982e+005
7.327e+006	3.434e+005
1.703e+007	3.872e+005
2.019e+007	4.006e+005
2.339e+007	4.140e+005
2.964e+007	4.396e+005
3.248e+007	4.511e+005
Sollecitazioni calcolate con eventuale traslazione del diagramma di momento e amplificazione richiesta	
Traslazione (in unità altezza utile): 0.9 Fattore amplificativo sollecitazioni:	
1	
Combinazione	M( N mm ) N( N ) Sfruttamento
1	5.520e+007 0.000e+000 0.419
2	3.864e+007 0.000e+000 0.294
3	2.981e+007 0.000e+000 0.227

#### Blocco di informazioni relativo a una sezione di campionamento

#### SLE

La terza sezione si riferisce alle verifiche agli SLE. Essa è a sua volta divisa in due blocchi: il primo blocco si riferisce alle verifiche relative alla limitazione delle tensioni; il secondo blocco si riferisce alle verifiche di fessurazione.

Nelle figure seguenti si vedono i due blocchi, con le relative legende. Il significato dei simboli è il seguente:

Ramo	Csi	Combi	Sigma,s	Expl,s	Sigma,c	Expl,c					
Ramo:							è il numero del ramo (elemento finito) nel modello.				
Csi							è l'ascissa dimensionale sul ramo				
Combi							è la combinazione presa in esame				
Sigma,s							è la tensione elastica nell'acciaio, in regime fessurato				
Expl,s							è il rapporto tra Sigma,s e la massima tensione accettabile				
Sigma,c							è la tensione elastica nel calcestruzzo, in regime fessurato.				
Expl,c							è il rapporto tra Sigma,c e la massima tensione accettabile.				
Ramo	Csi	Combi	x	sigmas	As	Ac,eff	ro,p,eff	fi,eq	D,s,m	w,d	
x			è la estensione della zona di calcestruzzo compresso con calcolo elastico in regime fessurato.								
As			è la area di acciaio in zona tesa								
Ac,eff			è la area di calcestruzzo efficace in zona tesa								

$ro,p,eff$  è il rapporto tra  $As$  ed  $Ac,ef$   
 $fi,eq$  è il diametro equivalente delle barre  
 $D,s,m$  è il  $Dsm$  delle NTC 2008, la distanza media tra le fessure  
 $w,d$  è la apertura di fessura di calcolo

Se si usa l'Eurocodice 2 anziché le NTC 2008 questa ultima scritta è lievemente differente, ed appare così:

Ramo	Csi	Combi	x	sigmas	As	Ac,eff	ro,p,eff	fi,eq	s,r,max	w,k
------	-----	-------	---	--------	----	--------	----------	-------	---------	-----

Dove "s,r,max" è la distanza massima tra le fessure e w,k è l'ampiezza di calcolo delle stesse.

*****						
***	SLE		***			
*****						
[NTC 2008 §4.1.2.2.5]						
Ramo	Csi	Combi	Sigma,s	Expl,s	Sigma,c	Expl,c
1	0.000	2	0.000e+000	0.000	-0.000e+000	0.000
1	0.033	2	6.437e+001	0.187	1.929e+000	0.132
1	0.067	2	1.243e+002	0.361	3.725e+000	0.254
1	0.100	2	1.442e+002	0.419	4.717e+000	0.322
1	0.133	2	1.555e+002	0.452	5.731e+000	0.391
1	0.167	2	1.870e+002	0.543	6.888e+000	0.470
1	0.200	2	1.846e+002	0.543	7.178e+000	0.490
1	0.233	2	2.064e+002	0.600	8.025e+000	0.548
1	0.267	2	2.256e+002	0.656	8.773e+000	0.599
1	0.300	2	2.134e+002	0.656	9.078e+000	0.619
1	0.333	2	2.258e+002	0.656	9.607e+000	0.655
1	0.367	2	2.360e+002	0.686	1.004e+001	0.685
1	0.400	2	2.439e+002	0.709	1.038e+001	0.708
1	0.433	2	2.495e+002	0.725	1.062e+001	0.724
1	0.467	2	2.529e+002	0.735	1.076e+001	0.734
1	0.500	2	2.540e+002	0.738	1.081e+001	0.737
1	0.533	2	2.529e+002	0.738	1.076e+001	0.737
1	0.567	2	2.495e+002	0.738	1.062e+001	0.737
1	0.600	2	2.439e+002	0.738	1.038e+001	0.737
1	0.633	2	2.360e+002	0.738	1.004e+001	0.737
1	0.667	2	2.258e+002	0.738	9.607e+000	0.737
1	0.700	2	2.134e+002	0.738	9.078e+000	0.737
1	0.733	2	2.256e+002	0.738	8.773e+000	0.737
1	0.767	2	2.064e+002	0.738	8.025e+000	0.737
1	0.800	2	1.846e+002	0.738	7.178e+000	0.737
1	0.833	2	1.870e+002	0.738	6.888e+000	0.737
1	0.867	2	1.555e+002	0.738	5.731e+000	0.737
1	0.900	2	1.442e+002	0.738	4.717e+000	0.737
1	0.933	2	1.243e+002	0.738	3.725e+000	0.737
1	0.967	2	6.437e+001	0.738	1.929e+000	0.737
1	1.000	2	0.000e+000	0.738	-0.000e+000	0.737
1	0.000	3	0.000e+000	0.738	-0.000e+000	0.737
1	0.033	3	4.966e+001	0.738	1.488e+000	0.737

1	0.067	3	9.589e+001	0.738	2.874e+000	0.737
1	0.100	3	1.112e+002	0.738	3.639e+000	0.737
1	0.133	3	1.200e+002	0.738	4.421e+000	0.737
1	0.167	3	1.442e+002	0.738	5.314e+000	0.737
1	0.200	3	1.424e+002	0.738	5.537e+000	0.737
1	0.233	3	1.592e+002	0.738	6.191e+000	0.737
1	0.267	3	1.741e+002	0.738	6.767e+000	0.737
1	0.300	3	1.646e+002	0.738	7.003e+000	0.737
1	0.333	3	1.742e+002	0.738	7.411e+000	0.737
1	0.367	3	1.820e+002	0.738	7.744e+000	0.737
1	0.400	3	1.881e+002	0.738	8.004e+000	0.737
1	0.433	3	1.925e+002	0.738	8.189e+000	0.745
1	0.467	3	1.951e+002	0.738	8.300e+000	0.755
1	0.500	3	1.960e+002	0.738	8.337e+000	0.758
1	0.533	3	1.951e+002	0.738	8.300e+000	0.758
1	0.567	3	1.925e+002	0.738	8.189e+000	0.758
1	0.600	3	1.881e+002	0.738	8.004e+000	0.758
1	0.633	3	1.820e+002	0.738	7.744e+000	0.758
1	0.667	3	1.742e+002	0.738	7.411e+000	0.758
1	0.700	3	1.646e+002	0.738	7.003e+000	0.758
1	0.733	3	1.741e+002	0.738	6.767e+000	0.758
1	0.767	3	1.592e+002	0.738	6.191e+000	0.758
1	0.800	3	1.424e+002	0.738	5.537e+000	0.758
1	0.833	3	1.442e+002	0.738	5.314e+000	0.758
1	0.867	3	1.200e+002	0.738	4.421e+000	0.758
1	0.900	3	1.112e+002	0.738	3.639e+000	0.758
1	0.933	3	9.589e+001	0.738	2.874e+000	0.758
1	0.967	3	4.966e+001	0.738	1.488e+000	0.758
1	1.000	3	0.000e+000	0.738	-0.000e+000	0.758

[NTC 2008 §4.1.2.2.4.6]

Ramo	Csi	Combi	x	sigmas	As	Ac,eff	ro,p,eff	fi,eq	D,s,m	w,d
1	0.000	3	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	-7.846e+298	0.000e+000	
5.000e+001		0.000e+000								
1	0.033	3	1.464e+002	4.966e+001	8.042e+002	2.100e+004	3.830e-002	1.600e+001		
9.178e+001		3.874e-002								
1	0.067	3	1.464e+002	9.589e+001	8.042e+002	2.100e+004	3.830e-002	1.600e+001		
9.178e+001		7.480e-002								
1	0.100	3	1.554e+002	1.112e+002	1.005e+003	2.100e+004	4.787e-002	1.600e+001		
8.342e+001		7.887e-002								
1	0.133	3	1.680e+002	1.200e+002	1.206e+003	2.100e+004	5.745e-002	1.600e+001		
7.785e+001		7.941e-002								
1	0.167	3	1.680e+002	1.442e+002	1.206e+003	2.100e+004	5.745e-002	1.600e+001		
7.785e+001		9.544e-002								
1	0.200	3	1.739e+002	1.424e+002	1.407e+003	2.100e+004	6.702e-002	1.600e+001		
7.387e+001		8.943e-002								
1	0.233	3	1.739e+002	1.592e+002	1.407e+003	2.100e+004	6.702e-002	1.600e+001		
7.387e+001		9.999e-002								
1	0.267	3	1.739e+002	1.741e+002	1.407e+003	2.100e+004	6.702e-002	1.600e+001		
7.387e+001		1.093e-001								
1	0.300	3	1.839e+002	1.646e+002	1.608e+003	2.100e+004	7.660e-002	1.600e+001		
7.089e+001		9.919e-002								

1	0.333	3	1.839e+002	1.742e+002	1.608e+003	2.100e+004	7.660e-002	1.600e+001
7.089e+001	1.050e-001							
1	0.367	3	1.839e+002	1.820e+002	1.608e+003	2.100e+004	7.660e-002	1.600e+001
7.089e+001	1.097e-001							
1	0.400	3	1.839e+002	1.881e+002	1.608e+003	2.100e+004	7.660e-002	1.600e+001
7.089e+001	1.134e-001							
1	0.433	3	1.839e+002	1.925e+002	1.608e+003	2.100e+004	7.660e-002	1.600e+001
7.089e+001	1.160e-001							
1	0.467	3	1.839e+002	1.951e+002	1.608e+003	2.100e+004	7.660e-002	1.600e+001
7.089e+001	1.176e-001							
1	0.500	3	1.839e+002	1.960e+002	1.608e+003	2.100e+004	7.660e-002	1.600e+001
7.089e+001	1.181e-001							
1	0.533	3	1.839e+002	1.951e+002	1.608e+003	2.100e+004	7.660e-002	1.600e+001
7.089e+001	1.176e-001							
1	0.567	3	1.839e+002	1.925e+002	1.608e+003	2.100e+004	7.660e-002	1.600e+001
7.089e+001	1.160e-001							
1	0.600	3	1.839e+002	1.881e+002	1.608e+003	2.100e+004	7.660e-002	1.600e+001
7.089e+001	1.134e-001							
1	0.633	3	1.839e+002	1.820e+002	1.608e+003	2.100e+004	7.660e-002	1.600e+001
7.089e+001	1.097e-001							
1	0.667	3	1.839e+002	1.742e+002	1.608e+003	2.100e+004	7.660e-002	1.600e+001
7.089e+001	1.050e-001							
1	0.700	3	1.839e+002	1.646e+002	1.608e+003	2.100e+004	7.660e-002	1.600e+001
7.089e+001	9.919e-002							
1	0.733	3	1.739e+002	1.741e+002	1.407e+003	2.100e+004	6.702e-002	1.600e+001
7.387e+001	1.093e-001							
1	0.767	3	1.739e+002	1.592e+002	1.407e+003	2.100e+004	6.702e-002	1.600e+001
7.387e+001	9.999e-002							
1	0.800	3	1.739e+002	1.424e+002	1.407e+003	2.100e+004	6.702e-002	1.600e+001
7.387e+001	8.943e-002							
1	0.833	3	1.680e+002	1.442e+002	1.206e+003	2.100e+004	5.745e-002	1.600e+001
7.785e+001	9.544e-002							
1	0.867	3	1.680e+002	1.200e+002	1.206e+003	2.100e+004	5.745e-002	1.600e+001
7.785e+001	7.941e-002							
1	0.900	3	1.554e+002	1.112e+002	1.005e+003	2.100e+004	4.787e-002	1.600e+001
8.342e+001	7.887e-002							
1	0.933	3	1.464e+002	9.589e+001	8.042e+002	2.100e+004	3.830e-002	1.600e+001
9.178e+001	7.480e-002							
1	0.967	3	1.464e+002	4.966e+001	8.042e+002	2.100e+004	3.830e-002	1.600e+001
9.178e+001	3.874e-002							
1	1.000	3	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	0.000e+000	3.830e-002	0.000e+000
5.000e+001	0.000e+000							



### 3.15.4 Min A M



Questo comando comporta la comparsa dei diagrammi con la minima area longitudinale d'armatura. Punto per punto lungo gli elementi viene calcolato il quantitativo di area minima al positivo ed al negativo. L'armatura al positivo viene diagrammata "sotto", l'armatura al negativo viene diagrammata "sopra". Questi diagrammi consentono di avere una chiara stima punto per punto del quantitativo minimo di area di acciaio da mettere al positivo ed al negativo. Un quantitativo d'area di acciaio inferiore a quello diagrammato comporterebbe o una tensione nel calcestruzzo o una tensione nell'acciaio superiori ai valori ammissibili (t.a.) o una verifica non soddisfatta (slu).

Da quanto detto emerge chiaramente che la disposizione ed il numero delle barre di armatura longitudinale che il progettista deve disporre devono ovunque fare in modo di ricoprire il diagramma mostrato da questo comando. Emerge anche chiaramente che l'integrale di questa curva rappresenta il volume di acciaio minimo teorico (al netto degli ancoraggi) che occorrerebbe disporre per armare convenientemente la trave, che – con un simile diagramma teorico di armatura – verrebbe ad essere ovunque sfruttata al meglio.

La presenza di picchi o di bruschi incrementi in questa curva è un chiaro segnale di insufficienza delle dimensioni lorde della sezione adottata, la quale, incapace di assorbire gli sforzi richiesti, tende a richiedere quantitativi di armatura irrealistici. Nel caso degli SLU viene verificato che la percentuale di armatura non superi quella massima possibile.

Il comando è sensibile al comando [Selezionati](#)<sup>[259]</sup> del menu Post, che consente di vedere i diagrammi solo sugli elementi selezionati e sugli altri no. E' anche sensibile al comando [Numero Sezioni](#)<sup>[259]</sup>, al comando [Scala](#)<sup>[259]</sup>, ed al comando [Stampa numeri](#)<sup>[257]</sup>, tutti nel menu Post.

### 3.15.5 Diagramma barre (Con Min A M)



Questo comando comporta la comparsa, accanto ai diagrammi della minima area di acciaio corrispondenti al comando [Min A M](#)<sup>[297]</sup>, del diagramma a gradoni della area acciaio corrispondente alle barre longitudinali che il programma suggerisce di mettere. Questo diagramma dipende dalla forma del diagramma precedente, dal diametro dei tondini che si è scelto di usare per l'armatura secondaria, dalla presenza di una eventuale armatura primaria, e dalle impostazioni in termini di armatura semplice o doppia.

In pratica il programma cerca il diagramma "a gradoni" che meglio ricopre il diagramma della minima area. Ogni cambio di gradone corrisponde alla inserzione/rimozione di un certo numero di barre. In corrispondenza ad ogni gradone il programma indica il numero totale di barre del tratto.

Al variare del diametro dei tondini è possibile avere varie possibili disposizioni dei ferri, con

maggiore o minore precisione nel seguire le curve ideali. In genere, al diminuire del diametro dei tondini si ha una maggior precisione nell'aderire alle curve ideali, e però un maggior numero di variazioni, e tratti mediamente più corti. Spetta al progettista, sulla base delle sue esigenze, scegliere la configurazione migliore. In genere una maggior semplicità ripaga ampiamente l'eventuale aggiunta di acciaio in più. Se però è necessaria una più rigorosa vicinanza alla curva ideale, allora si possono scegliere diametri più piccoli.

La distanza tra la curva ideale e la curva a gradoni dà una misura del quantitativo di acciaio "in più" che si viene a disporre. Per una misura più precisa si può anche usare il comando [Statistiche](#)<sup>[301]</sup>.

Il comando è sensibile al comando [Selezionati](#)<sup>[259]</sup> del menu Post, che consente di vedere i diagrammi solo sugli elementi selezionati e sugli altri no. E' anche sensibile al comando [Numero Sezioni](#)<sup>[256]</sup>, al comando [Scala](#)<sup>[256]</sup>, ed al comando [Stampa numeri](#)<sup>[257]</sup>, tutti nel menu Post.

La scelta di non proporre formule binarie o ternarie è essenzialmente legata alla necessità di consentire al progettista l'indispensabile controllo dei dati del calcolo, in modo da assicurargli un reale dominio del progetto.

### 3.15.6 Diagramma barre (senza Min A M)



Questo comando comporta la comparsa del diagramma a gradoni di area acciaio corrispondente alle barre longitudinali che il programma suggerisce di mettere. Questo diagramma dipende dalla forma del diagramma di minima area ideale, dal diametro dei tondini che si è scelto di usare per l'armatura secondaria, dalla presenza di una eventuale armatura primaria, e dalle impostazioni in termini di armatura semplice o doppia.

In pratica il programma cerca il diagramma "a gradoni" che meglio ricopre il diagramma della minima area (che con questo comando non viene visualizzato). Ogni cambio di gradone corrisponde alla inserzione/rimozione di un certo numero di barre. In corrispondenza ad ogni gradone il programma indica il numero totale di barre del tratto.

Al variare del diametro dei tondini è possibile avere varie possibili disposizioni dei ferri, con maggiore o minore precisione nel seguire le curve ideali. In genere, al diminuire del diametro dei tondini si ha una maggior precisione nell'aderire alle curve ideali, e però un maggior numero di variazioni, e tratti mediamente più corti. Spetta al progettista, sulla base delle sue esigenze, scegliere la configurazione migliore. In genere una maggior semplicità ripaga ampiamente l'eventuale aggiunta di acciaio in più. Se però è necessaria una più rigorosa vicinanza alla curva ideale, allora si possono scegliere diametri più piccoli.

La scelta di non proporre formule binarie o ternarie è essenzialmente legata alla necessità di consentire al progettista l'indispensabile controllo dei dati del calcolo, in modo da assicurargli un reale dominio del progetto.

Il comando è sensibile al comando [Selezionati](#)<sup>[255]</sup> del menu Post, che consente di vedere i diagrammi solo sugli elementi selezionati e sugli altri no. E' anche sensibile al comando [Numero Sezioni](#)<sup>[256]</sup>, al comando [Scala](#)<sup>[256]</sup>, ed al comando [Stampa numeri](#)<sup>[257]</sup>, tutti nel menu Post.

### 3.15.7 Layout barre



Da diagramma a gradoni visualizzato dai comandi [Diagramma Barre](#)<sup>[297]</sup> il programma può passare ad una rappresentazione dei tondini veri e propri. Con questo comando si attiva la visualizzazione dei tondini, con la loro lunghezza ideale, estratti dall'elemento.

Poiché il disegno dei singoli tondini al di fuori dell'elemento comporta un certo onere grafico, è consigliabile usare il comando [Selezionati](#)<sup>[255]</sup> del menu Post, in modo da far vedere l'armatura proposta solo sulle aste preventivamente selezionate.

I tondini sono rappresentati con la loro lunghezza teorica e pertanto privi delle indispensabili lunghezze di ancoraggio. Non sono rappresentati uncini, pieghe o altre provvidenze atte a garantire l'effettiva operatività dei ferri nelle posizioni indicate. Viene infatti indicato ogni tondino nella posizione iniziale e finale che esso deve avere ai fini del calcolo.

Scopo del programma non è quello di dare l'armatura finale, e nemmeno di disegnare l'armatura in modo automatico. Si veda quanto detto nell'introduzione a questo proposito. Scopo del programma è quello di dare uno strumento che sgrossi il problema consentendo all'analista di procedere con i completamenti necessari in modo da consentirgli di dominare il progetto. A questo fine, il layout delle barre può essere esportato in formato dxf in modo da consentire il suo completamento all'interno di programmi dedicati al disegno. Le quote le lunghezze i punti iniziale e finale di ciascun tondino sono rilevabili in quelle sedi.

Il comando è sensibile al comando [Selezionati](#)<sup>[255]</sup> del menu Post, che consente di vedere i diagrammi solo sugli elementi selezionati e sugli altri no. E' anche sensibile al comando [Numero Sezioni](#)<sup>[256]</sup>, al comando [Scala](#)<sup>[256]</sup>, ed al comando [Stampa numeri](#)<sup>[257]</sup>, tutti nel menu Post.

### 3.15.8 DXF Layout barre



Questo comando comporta la immediata creazione di un file dxf contenente il disegno degli elementi e delle barre di armatura estratte dagli stessi. Grazie a questo comando è possibile esportare all'ambiente di disegno i risultati del calcolo di Cescio e proseguire con la descrizione delle armature.

Il comando è sensibile al comando [Selezionati](#)<sup>[255]</sup> del menu Post, che consente di vedere i

diagrammi solo sugli elementi selezionati e sugli altri no. E' anche sensibile al comando [Numero Sezioni](#) <sup>[256]</sup>, al comando [Scala](#) <sup>[256]</sup>, ed al comando [Stampa numeri](#) <sup>[257]</sup>, tutti nel menu Post.

### 3.15.9 Min A T



Esattamente come è possibile descrivere con un diagramma il minimo quantitativo di area di acciaio da porre lungo una trave sotto forma di ferri longitudinali, allo stesso modo è possibile diagrammare la quantità di acciaio per unità di lunghezza che occorre disporre per assorbire gli sforzi di taglio. Il calcolo viene eseguito usando la formula semplificata  $t = (T/0.8bh)$ , essendo  $h$  l'altezza utile della sezione.

Con questo comando viene mostrato questo diagramma, il quale consente di progettare l'armatura a taglio.

Alle tensioni ammissibili se il valore di sforzo tangenziale massimo calcolato dal programma è inferiore al valore di  $t_{c0}$ , il valore di area richiesto sarà pari a 0. In altre parole non si tiene conto – in questo diagramma – dei quantitativi minimi di normativa (cosa fatta dal comando [Staffe](#) <sup>[300]</sup>), ma solo delle richieste in termini di calcolo. E' pertanto possibile che questo diagramma sia ovunque nullo, così come è tipico che il diagramma abbia valori non nulli presso gli appoggi per poi scendere a zero nel tratto centrale.

Agli stati limite ultimi invece il quantitativo di area minima di normativa è il punto di partenza per determinare il diagramma Min-A-T. Ove la verifica a taglio-compressione non sia soddisfatta il programma dà un opportuno messaggio di errore.

Il comando è sensibile al comando [Selezionati](#) <sup>[255]</sup> del menu Post, che consente di vedere i diagrammi solo sugli elementi selezionati e sugli altri no. E' anche sensibile al comando [Numero Sezioni](#) <sup>[256]</sup>, al comando [Scala](#) <sup>[256]</sup>, ed al comando [Stampa numeri](#) <sup>[257]</sup>, tutti nel menu Post.

### 3.15.10 Staffe



Calcolata la distribuzione di area per unità di lunghezza corrispondente all'esistenza di staffe in grado di assorbire per intero gli sforzi di scorrimento (tale diagramma di area minima è visualizzabile con il comando [Min A T](#) <sup>[300]</sup>), il programma è in grado di valutare qual è la distanza tra due staffe successive (passo delle staffe) dato il diametro delle staffe, il loro numero di bracci, e le prescrizioni regolamentari minime. Il diametro ed il numero di bracci delle staffe vengono fissati con il comando [Imposta](#) <sup>[274]</sup>. Se si esegue il comando Staffe (il presente comando) si viene di fatto a conoscere qual è il passo minimo che le staffe dovranno avere.

Il programma presenta un diagramma in cui compaiono scritte secondo una certa convenzione. La tipica scritta **1fi8(2b)/14.4cm** va interpretata così: “una staffa diametro 8mm a due bracci ogni 14.4 cm”.

Il comando è sensibile al comando [Selezionati](#)<sup>[255]</sup> del menu Post, che consente di vedere i diagrammi solo sugli elementi selezionati e sugli altri no. E' anche sensibile al comando [Scala](#)<sup>[256]</sup>, ed al comando [Stampa numeri](#)<sup>[257]</sup>, tutti nel menu Post.

### 3.15.11 Statistiche barre



La disposizione reale delle armature non può seguire l'andamento ideale a causa della forte variabilità della curva di area minima. E' dunque necessario disporre le barre seguendo un criterio basato sulla semplicità di realizzazione e sulla pratica. Pertanto vi è sempre una differenza spiccata tra il quantitativo ideale di acciaio necessario ed il quantitativo che viene effettivamente inserito. Definiamo quantitativo ideale di acciaio l'integrale della curva di area minima lungo l'asse della trave. Questo volume (o che è lo stesso: peso) di acciaio è quello che si sarebbe impiegato se si fosse potuto seguire esattamente, punto per punto, la curva ideale.

Andando invece ad esaminare il peso di acciaio corrispondente alle barre effettivamente messe, questo differisce da quello ideale per due fondamentali ragioni: la prima è che il peso ideale non tiene in conto le necessarie lunghezze di ancoraggio; la seconda è che nel disporre le barre si va in genere a coprire le zone di momento massimo prolungando i tondini necessari ben al di là di quanto sarebbe a stretto rigore necessario, e ciò onde evitare un assurdo spezzettamento della armatura con i conseguenti problemi di efficienza e di messa in opera.

Il comando che qui viene descritto serve a valutare l'effetto della seconda causa di differenza, cioè serve a valutare la differenza tra il peso ideale ed il peso effettivo (a meno degli ancoraggi) della armatura proposta. Perché il comando sia attivo è necessario che sia attiva la visualizzazione delle barre ([Diagramma Barre con Min A M](#)<sup>[297]</sup>)

Alla esecuzione del comando compare un opportuno [dialogo](#)<sup>[302]</sup> che dà le informazioni richieste.

### 3.15.11.1 Dialogo Statistiche sul quantitativo di barre longitudinali

**Statistiche sul quantitativo di barre longitudinali.**

**Quantitativo minimo teorico**

72.799843 Peso (Kg)

N.b.:  
ogni sezione lavora al limite

**Quantitativo proposto**

14 Diametro (mm)

88.672557 Peso (Kg)

73.379310 Lunghezza (m)

**Differenze Proposto/Minimo teorico**

15.872714 Peso (Kg)

21.803225 Peso (%)

N.b.:  
Non si tiene conto dell'ancoraggio.

OK

Cancel

Questo dialogo serve a fornire dei dati utili a valutare la economicità dell'armatura che si sta studiando. Il dialogo è diviso in tre zone: “**quantitativo minimo teorico**”, “**quantitativo proposto**”, “**differenze proposto/minimo teorico**”. Il significato dei vari dati è chiaro. Si ha il peso dei tondini raffrontato con il peso ideale.

Per confrontare due diverse soluzioni occorrerà variare il diametro delle barre longitudinali con il comando [Imposta<sup>\[274\]</sup>](#), eppoi rieseguire il comando Statistiche. Il raffronto tra le differenze (assolute e percentuali) dà immediatamente una misura del maggior quantitativo di acciaio necessario.

### 3.15.12 SLE!

**Cesco**

Max tensione nel calcestruzzo 9.222e+000 Indice = 0.615 Ramo 1 Combinazione 3 Ascissa adimensionale 0.000

Max tensione nell'acciaio 2.234e+002 Indice = 0.649 Ramo 1 Combinazione 3 Ascissa adimensionale 0.100

Max apertura di fessura 5.051e-002 Ramo 1 Combinazione 4 Ascissa adimensionale 0.100

OK

#### Dialogo informativo sull'esito delle verifiche agli SLE

Esegue le verifiche agli stati limite di servizio. Perché il comando sia eseguibile deve essere correntemente rappresentata la armatura di progetto (ovvero deve essere mostrato il Diagramma Barre, con o senza Min A-NM). Al termine del calcolo viene stampato un messaggio che riporta:

La massima tensione nel calcestruzzo nelle combinazioni caratteristiche, nonché l'indice di sfruttamento corrispondente (tale indice deve essere minore di 1 affinché la verifica sia soddisfatta).

La massima tensione nell'acciaio ed il relativo indice di sfruttamento, sempre valutato prendendo in considerazione le combinazioni caratteristiche agli SLE.

La massima apertura di fessura, calcolata considerando le combinazioni quasi permanenti agli SLE. Tale massimo dovrà poi essere confrontato con il massimo coerente con il tipo di struttura e di ambiente nella quale essa si trova.

Tutti i risultati sono stampati nella unità di misura attiva.

Maggiori dettagli in merito a queste verifiche, ovvero una lista di ciò che avviene in ogni combinazione pertinente ed in ogni sezione di verifica, sono reperibili se viene chiesto di creare il tabulato. Se viene chiesto il tabulato che si riferisce alla area minima, non essendo state specificate le barre le verifiche agli SLE non hanno senso, e quindi nel tabulato non vengono aggiunte. E' quindi necessario creare il tabulato del tipo "Ades" per poter vedere le verifiche agli SLE corrispondenti.

## 3.16 Help

### 3.16.1 Indice

Questo comando richiama l'help all'indice generale.

### 3.16.2 Come usare l'help

Questo comando spiega tutte le caratteristiche dell'help ed il modo corretto di usarlo.

### 3.16.3 Help Contestuale



Questo comando è molto utile. Esso consente di avere informazioni sui comandi e sui bottoni, semplicemente cliccandoci sopra.

### 3.16.4 Informazioni su Cesco

Questo è il comando da usare per vedere la versione del programma.

### 3.16.4.1 Dialogo Informazioni su CESCO



In questo dialogo è indicato il Copyright e la versione del programma.



**Parte**

**IV**

## 4 GLOSSARIO

### 4.1 Avvertenza - Glossario

#### Avvertenza

Si è ritenuto che potesse essere utile, per l' Allievo, disporre di un agile strumento in grado di rinfrescare la memoria su un certo numero di concetti e di definizioni dei quali il programma fa ampio uso, non solo in *background*, ma anche in modo esplicito, nella stessa nomenclatura dei suoi comandi. Questa intenzione non deve essere fraintesa: questo glossario non è e non vuole essere autosufficiente. Esso non può sostituire lo studio sui libri di testo che trattano diffusamente argomenti qui solo accennati. Inoltre il *taglio* che è stato dato a queste glosse è un taglio volutamente schematico e spesso colloquiale, solo al fine di fornire a chi legge una bussola, e indurlo ad approfondire meglio.

[ANALISI CINEMATICA](#)<sup>[308]</sup>

[ASSE PRINCIPALE](#)<sup>[308]</sup>

[ASTA](#)<sup>[309]</sup>

[AZIONE ASSIALE](#)<sup>[309]</sup>

[BARICENTRO](#)<sup>[310]</sup>

[BARRE](#)<sup>[310]</sup>

[CARICO CRITICO](#)<sup>[311]</sup>

[CARICO DISTRIBUITO](#)<sup>[312]</sup>

[CARRELLO](#)<sup>[312]</sup>

[CEDIMENTO](#)<sup>[313]</sup>

[CERNIERA](#)<sup>[313]</sup>

[COEFFICIENTE DI DILATAZIONE TERMICA](#)<sup>[314]</sup>

[COEFFICIENTE DI LIBERA INFLESSIONE](#)<sup>[314]</sup>

[CONGRUENZA](#)<sup>[315]</sup>

[CORPO RIGIDO](#)<sup>[315]</sup>

[CRITERI DI RESISTENZA](#)<sup>[316]</sup>

[DEFORMATA](#)<sup>[316]</sup>

[DEFORMAZIONE](#)<sup>[317]</sup>

[DIAGRAMMI](#)<sup>[317]</sup>

[ELONGAZIONE](#)<sup>[319]</sup>

[ENERGIA DI DEFORMAZIONE](#)<sup>[320]</sup>

[EQUAZIONI CARDINALI DELLA STATICA](#)<sup>[320]</sup>

[FATTORE DI TAGLIO](#)<sup>[321]</sup>  
[FITTIZIA](#)<sup>[321]</sup>  
[FLESSIONE](#)<sup>[322]</sup>  
[FORZA](#)<sup>[324]</sup>  
[INCASTRO](#)<sup>[324]</sup>  
[INCOGNITA IPERSTATICA](#)<sup>[325]</sup>  
[INGOMBRO](#)<sup>[325]</sup>  
[IPERSTATICITA'](#)<sup>[326]</sup>  
[IPOSTATICITA'](#)<sup>[326]</sup>  
[ISOSTATICITA'](#)<sup>[327]</sup>  
[ISOSTATICIZZAZIONE](#)<sup>[327]</sup>  
[LABILITA'](#)<sup>[328]</sup>  
[LAVORO](#)<sup>[329]</sup>  
[LUNGHEZZA DI LIBERA INFLESSIONE](#)<sup>[330]</sup>  
[MANICOTTO](#)<sup>[330]</sup>  
[MEMBRATURA](#)<sup>[331]</sup>  
[METODO OMEGA](#)<sup>[332]</sup>  
[MODALITA' DI FUNZIONAMENTO](#)<sup>[332]</sup>  
[MODULO DI RESISTENZA](#)<sup>[333]</sup>  
[MODULO PLASTICO](#)<sup>[333]</sup>  
[MOMENTO DI INERZIA](#)<sup>[334]</sup>  
[MOMENTO](#)<sup>[334]</sup>  
[MOMENTO FLETTENTE](#)<sup>[335]</sup>  
[MOTO RIGIDO](#)<sup>[335]</sup>  
[NODO](#)<sup>[336]</sup>  
[PATTINO](#)<sup>[336]</sup>  
[PATTINO DOPPIO](#)<sup>[337]</sup>  
[PLV](#)<sup>[337]</sup>  
[PREDIMENSIONAMENTO](#)<sup>[338]</sup>  
[PRINCIPALE](#)<sup>[338]</sup>  
[RAGGIO DI INERZIA](#)<sup>[339]</sup>  
[RAMO](#)<sup>[339]</sup>  
[REALE](#)<sup>[339]</sup>  
[REAZIONE](#)<sup>[339]</sup>  
[REAZIONE VINCOLARE](#)<sup>[340]</sup>  
[RESA ISOSTATICA](#)<sup>[340]</sup>  
[SCORRIMENTO](#)<sup>[340]</sup>  
[SEZIONE](#)<sup>[342]</sup>

[SFORZO](#)<sup>[344]</sup>[SNELLEZZA](#)<sup>[344]</sup>[STATICA](#)<sup>[344]</sup>[SVINCOLO](#)<sup>[345]</sup>[TAGLIO](#)<sup>[345]</sup>[TERRA](#)<sup>[345]</sup>[TIPOLOGIA](#)<sup>[346]</sup>[UNITA' DI MISURA](#)<sup>[348]</sup>[VINCOLO](#)<sup>[348]</sup>

## 4.2 ANALISI CINEMATICA

Per analisi cinematica si intende l'insieme dei passi che si compiono al fine di determinare se una struttura sia [ipostatica](#)<sup>[326]</sup>, [isostatica](#)<sup>[327]</sup> o [iperstatica](#)<sup>[326]</sup> e se in essa siano presenti delle [labilità](#)<sup>[328]</sup>.

L'analisi cinematica è fondamentale in quanto esclude che nella struttura vi possano essere degli [atti di moto rigidi](#)<sup>[335]</sup> capaci di portare al collasso in tutto o in parte la struttura.

Sebbene la analisi cinematica possa essere interamente compiuta per mezzo di strumenti di calcolo automatico, è molto importante saper ricondurre le strutture ordinarie all'assemblaggio di più schemi elementari, e ciò al fine di poter rapidamente escludere la presenza di [labilità](#)<sup>[328]</sup>.

Il primo passo di una analisi cinematica è il conteggio complessivo dei gradi di libertà e dei gradi di [vincolo](#)<sup>[348]</sup>. Per sistemi piani il numero dei gradi di libertà è pari a tre per il numero di corpi distinti che compongono la struttura. Nel caso di sistemi di aste, 3 per il numero di aste. Il numero dei gradi di vincolo è invece eguale alla somma di tutte le molteplicità dei vincoli interni e di quelli esterni ([vincolo](#)<sup>[348]</sup>).

Il secondo passo consiste nell'accertarsi che i vincoli siano ben posti e ben distribuiti, in modo da evitare [labilità](#)<sup>[328]</sup> o [ipostaticità](#)<sup>[326]</sup> localizzate.

## 4.3 ASSE PRINCIPALE

Sia data una sezione e si consideri un generico asse  $r$  inclinato di  $\alpha$  sull'orizzontale e passante per il [baricentro](#)<sup>[310]</sup>. Al variare dell'angolo varia il [momento di inerzia](#)<sup>[334]</sup> della [sezione](#)<sup>[342]</sup> rispetto all'asse  $r$ . Esistono due angoli  $\alpha$  tali per cui il momento di inerzia è massimo e minimo. A questi due angoli corrispondono due particolari assi, che diciamo asse 2 ed asse 3, detti *assi principali*. Si può dimostrare che tali assi sono tra loro perpendicolari.

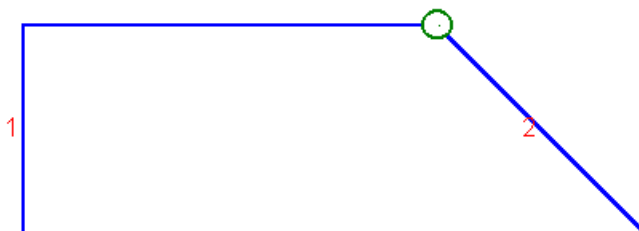
Se la sezione ha un asse di simmetria allora questo è un asse principale.

Gli assi principali annullano il momento di inerzia centrifugo, e viceversa se questo è nullo allora gli

assi rispetto al quale è calcolato sono principali.

Se una sezione è inflessa secondo uno degli assi principali allora l'asse neutro è parallelo all'asse di inflessione e perpendicolare all'asse di sollecitazione ([flessione](#)<sup>[322]</sup>).

## 4.4 ASTA



**In questo esempio ci sono due aste ma almeno tre membrature**

Si definisce *asta*, nell'ambito della [analisi cinematica](#)<sup>[308]</sup>, ogni riunione di barre tra loro rigidamente incastrate, così da formare, da un punto di vista cinematico, un corpo unico. Come si vede il concetto di asta ha in CESCO valore in ambito puramente cinematico, e non va confuso con quello di [membratura](#)<sup>[331]</sup>, che invece deve essere rettilinea e può contenere [svincoli](#)<sup>[345]</sup> al suo interno.

Il numero complessivo dei gradi di libertà di una struttura nel piano è pari al numero di *aste*, nel senso qui chiarito, per 3. CESCO fornisce, indipendentemente dalla numerazione delle membrature, la numerazione delle aste, se richiesta.

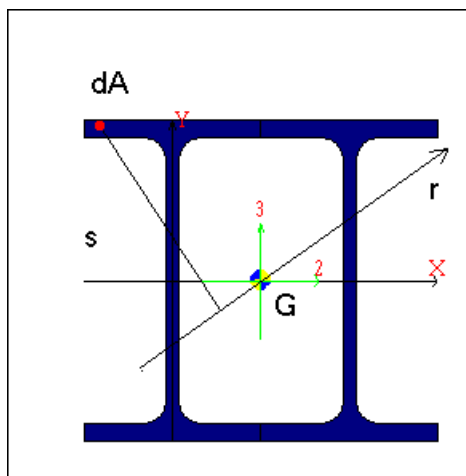
## 4.5 AZIONE ASSIALE

Sia dato un prisma di De Saint Venant soggetto ad uno stato di sforzo, e si tagli il prisma in un punto generico. Le azioni interne che le due facce del prisma si scambiano, eguali e contrarie sulle due facce, sono riducibili ad una coppia, [momento flettente](#)<sup>[334]</sup>, una forza normale alla faccia (*azione assiale*) ed una forza, detta [taglio](#)<sup>[345]</sup>, giacente sulla faccia.

L'azione assiale è responsabile di una [elongazione](#)<sup>[319]</sup> elastica.

CESCO assume positiva la trazione nei diagrammi dell'azione assiale.

## 4.6 BARICENTRO



Si definisce baricentro di una [sezione](#)<sup>[342]</sup> un punto del piano a cui appartiene la sezione che gode della proprietà di annullare il momento statico della sezione rispetto a qualsiasi asse passante per esso.

Sia dato un generico asse  $r$ , e sia  $s$  la distanza (positiva se il generico punto ad essa associato è al di sopra di  $r$ , negativa in caso contrario) dei generici punti della sezione da  $r$ . Sia  $dA$  la generica areola infinitesima. Se  $r$  passa per il baricentro vale la seguente equazione

$$\int s dA = 0$$

Se il risultato  $S$  dell'integrale non è nullo allora l'asse  $r$  deve essere spostato parallelamente a se stesso di una quantità (con segno) pari a  $S/A$ , essendo  $A$  l'area della sezione.

## 4.7 BARRE

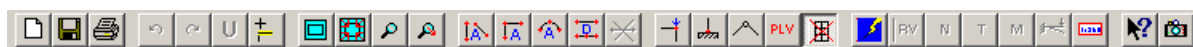
Per barra si intende un controllo costituito da un certo insieme di bottoni immagine, ciascuno dei quali corrisponde ad un comando. L'uso delle barre evita di dover cercare nel menù il comando che interessa eseguire, sveltendo il lavoro.

Avvicinando il mouse ad ogni bottone si ha un suggerimento che dice che comando corrisponda al bottone in questione. Premendo con il tasto sinistro del mouse quando il cursore è sul bottone si esegue il comando corrispondente.

Tutte le barre possono essere prese e spostate in altro luogo, sebbene la loro posizione iniziale sia stata stabilita in modo che si ritiene già buono.

CESCO ha le seguenti barre:

### Barra principale



È la barra che include i comandi più frequentemente usati, oltre ai comandi che attivano o disattivano le altre barre.

### Barra delle forze



È la barra che include tutti i comandi che comportano l'applicazione di una azione o di una coazione sulla struttura.

### Barra dei vincoli



È la barra che racchiude i comandi da usare per applicare un vincolo esterno.

### Barra degli svincoli



È la barra che racchiude i comandi da usare per applicare svincoli ai rami.

### Barra plv



È la barra che racchiude i comandi da usare per applicare il [plv](#)<sup>[337]</sup> [gl\\_plv](#).

## 4.8 CARICO CRITICO

Con il nome di carico critico si intende il carico raggiunto il quale una [membratura](#)<sup>[331]</sup> compressa sbanda lateralmente.

In termini più rigorosi si può dire che il carico critico è il più piccolo valore del carico in corrispondenza del quale sono possibili configurazioni di equilibrio non rettilinee.

Il valore del carico critico dipende da una moltitudine di fattori, come la lunghezza della membratura, i vincoli, il materiale, il valore di snellezza, le autotensioni, le imperfezioni, ecc., così che esso è in generale di assai difficile valutazione.

Se la [snellezza](#)<sup>[344]</sup> è sufficientemente elevata il carico critico è ben approssimato dalla formula di Eulero, che ne fissa il valore in funzione del momento di [inerzia](#)<sup>[334]</sup>, della [lunghezza di libera inflessione](#)<sup>[330]</sup> e del modulo elastico E. Risulta

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EJ}{l_0^2}$$

Nella formula il momento di inerzia da usare è quello relativo al piano in cui sbanda la membratura. Se la membratura può sbandare in ogni direzione allora occorre usare il momento di inerzia minimo della sezione.

In alternativa si può scrivere il valore dello sforzo critico, vale a dire il carico critico diviso per l'area (la formula è identica, solo scritta in altro modo)

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

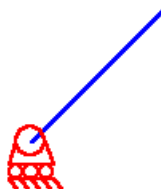
essendo  $\lambda$  la snellezza della membratura nel piano di sbandamento considerato. Se l'asta può sbandare in ogni direzione allora occorre mettere la snellezza massima.

## 4.9 CARICO DISTRIBUITO

Un carico può essere applicato direttamente in un punto (*carico concentrato*) o può essere distribuito su una zona di struttura. In quest'ultimo caso si parla di *carico distribuito*. Sulle aste un carico distribuito ha la dimensione fisica di una forza per unità di lunghezza. Se il carico è assegnato in modo che nessun tratto sia diversamente caricato dagli altri, si parla di carico uniformemente distribuito. CESCO supporta presentemente solo carichi uniformemente distribuiti.

## 4.10 CARRELLO

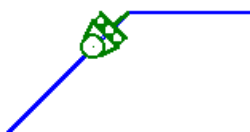
Un carrello impedisce la traslazione di un punto in una certa direzione. Un carrello è pertanto equivalente a un grado di vincolo.



**carrello a terra**

Il carrello può essere "a terra" ("[terra](#)"<sup>[345]</sup>), ed in questo caso la traslazione impedita è assoluta, vale a dire definita rispetto al sistema di riferimento.



**carrello relativo**

Oppure un carrello può essere relativo, se un punto di un corpo è costretto a non traslare in una certa direzione relativamente ad un altro. Un carrello relativo consente la traslazione relativa ma solo in direzione perpendicolare alla direzione impedita.

## 4.11 CEDIMENTO

Un [vincolo](#)<sup>[348]</sup> ideale è in grado di affermare se stesso senza eccezioni: esso comporta delle limitazioni alla cinematica del corpo al quale è applicato, e basta. Nella realtà nessun vincolo è ideale. Può così capitare che sotto l'azione dei carichi applicati il vincolo *ceda*. Il cedimento di un vincolo può essere causa di grossi problemi alla struttura a cui è applicato, sia perché possono insorgere spostamenti inaccettabili, sia perché il regime di sforzo può cambiare considerevolmente rispetto a quello progettato (si pensi ai recenti crolli di edifici, dovuti al cedimento del terreno, pare, sotto ad un plinto).

Il calcolo dei cedimenti vincolari è un problema arduo che riguarda altre discipline (tipicamente la *geotecnica*). Per noi un cedimento è sempre un dato, nel senso che si immagina un valore di cedimento (valutato con altri sistemi) e si vede quello che succede a causa di esso.

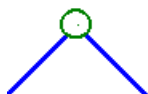
Un cedimento può essere traslazionale o rotazionale.

## 4.12 CERNIERA

Una cerniera impedisce due traslazioni: il corpo vincolato solo con una cerniera può solo ruotare attorno al punto ove è la cerniera, non traslare. Una cerniera è pertanto equivalente a due gradi di vincolo.

**cerniera a terra**

La cerniera può essere “a terra” ([“terra”](#)<sup>[349]</sup>), ed in questo caso il punto del corpo al quale è applicata la cerniera non può traslare rispetto al sistema di riferimento: le traslazioni impedita sono traslazioni assolute, vale a dire definite rispetto al sistema di riferimento adottato.



### cerniera relativa

Oppure una cerniera può essere *relativa* se un punto di un corpo è costretto a traslare nello stesso modo di un punto di un altro corpo, cosicchè la traslazione relativa sia nulla.

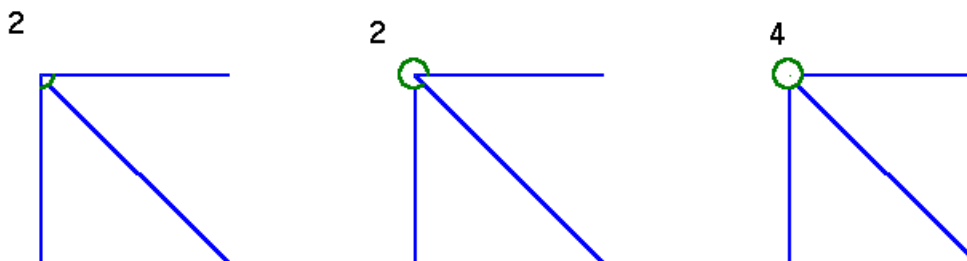
Se una cerniera a terra è applicata ad un punto di un'asta, essa può essere *passante* o meno.



Se la cerniera non è passante essa equivale a solo due gradi di vincolo.



Se la cerniera è passante essa equivale a 4 gradi di vincolo (due per la cerniera relativa e due per la cerniera a terra). Una cerniera passante spezza in due l'asta alla quale è applicata.



Se una cerniera relativa è applicata a più aste convergenti in un punto, il numero di vincoli corrispondenti è eguale a  $2(n-1)$  dove  $n$  è il numero di aste. Nella figura è indicato il numero di vincoli corrispondenti a varie possibilità.

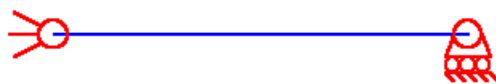
## 4.13 COEFFICIENTE DI DILATAZIONE TERMICA

Tutti i corpi se riscaldati si dilatano, se raffreddati si contraggono. Il *coefficiente di dilatazione termica* a misura la [elongazione](#)<sup>[319]</sup> termica per unità di temperatura, cioè la deformazione termica associata ad una variazione di temperatura pari a un grado ( $^{\circ}\text{C}$ , o  $^{\circ}\text{F}$ : il valore dipende dall'unità scelta).

## 4.14 COEFFICIENTE DI LIBERA INFLESSIONE

Si definisce coefficiente di libera inflessione il rapporto tra la [lunghezza di libera inflessione](#)<sup>[330]</sup> e la lunghezza della [membratura](#)<sup>[331]</sup>.

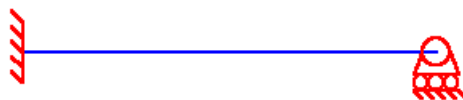
Il coefficiente di libera inflessione dipende dal modo in cui è vincolata la membratura. Qui di seguito si danno alcuni importanti esempi.



Qui il coefficiente vale 1



Qui il coefficiente vale 2



Qui il coefficiente vale 0.7



Qui il coefficiente vale 0.5

A parità di ogni altro parametro (sezione, materiale, carico applicato e lunghezza), la crescita del coefficiente di libera inflessione comporta la crescita del pericolo di instabilità.

## 4.15 CONGRUENZA

La presenza di [vincoli](#)<sup>[348]</sup> in una struttura (sia interni che esterni) obbliga questa a deformarsi rispettando certe condizioni cinematiche, sia nei punti associati ai vincoli esterni, sia nel modo stesso in cui questa si deforma (ad esempio senza lacerarsi, senza compenetrarsi, ecc.).

D'altro canto è possibile pensare a deformate e spostamenti che **non** rispettino tali vincoli interni ed esterni, ma che soddisfino altre condizioni, come ad esempio l'equilibrio.

Chiamiamo *congruenza* la circostanza in base alla quale un insieme di spostamenti e di deformazioni rispetta tutte le condizioni cinematiche imposte dai vincoli, sia esterni che interni.

## 4.16 CORPO RIGIDO

Per corpo rigido si intende un corpo che non si può deformare, e che pertanto non può incassare lavoro sotto forma di [energia di deformazione](#)<sup>[320]</sup> o di variazioni permanenti di forma o di volume.

Nessun corpo è rigido in realtà, ma tutti i corpi possono comportarsi, sotto certe condizioni, come corpi rigidi: basta che il loro movimento non comporti alcuna [deformazione](#)<sup>[317]</sup>.

## 4.17 CRITERI DI RESISTENZA

Dato uno stato di sforzo in un punto, è possibile chiedersi se il materiale sarà o meno in grado di sostenere quello stato di sforzo. Dipendentemente dal materiale e dalla teoria impiegata, è possibile descrivere delle condizioni che, se insoddisfatte, comportano l'incapacità del materiale di sostenere un certo stato di sforzo. Queste condizioni prendono il nome di criteri di resistenza.

Non esiste un criterio di resistenza valido per tutti i materiali: a seconda che un materiale sia duttile o fragile i criteri di resistenza appropriati possono essere anche molto diversi tra loro.

Per materiali metallici (e quindi duttili) si usa in genere il criterio di Von Mises, che considera come indicatore del pericolo il lavoro specifico di deformazione compiuto dal deviatore degli sforzi, frase che si può rendere più semplicemente dicendo che per travi alla De Saint Venant la quantità

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

viene assunta come indice del cimento, e raffrontata con un valore limite, generalmente pari alla tensione di limite elastico divisa per un opportuno coefficiente di sicurezza.

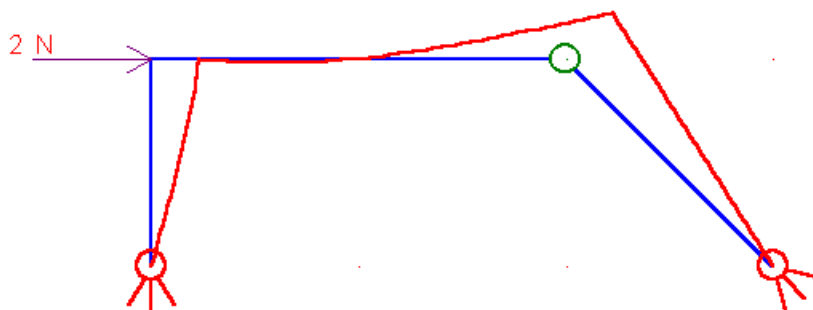
Altro criterio usato per materiali metallici è quello di Tresca, che assume come indice di pericolo la massima tensione tangenziale al variare del piano di lettura degli sforzi, vale a dire, per prismi di De Saint Venant la quantità

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}$$

Per materiali fragili si usa spesso il criterio di Galilei, che consiste nel verificare che gli [sforzi principali](#)<sup>[344]</sup> a trazione e compressione siano contenuti entro certi limiti dati.

Esistono poi criteri basati sulla massima deformazione (De Saint Venant, ), sul lavoro di deformazione (Beltrami), criteri che determinano direttamente l'involuppo degli stati di sforzo ammissibili (Mohr), ecc. ecc..

## 4.18 DEFORMATA



Si chiama deformata la forma assunta da un corpo o da un sistema di corpi in seguito alla applicazione su di esso di un insieme di azioni. Se un corpo elastico si deforma esso incamera sempre una certa [energia di deformazione](#)<sup>[320]</sup>.

## 4.19 DEFORMAZIONE

La deformazione è un indice della quantità di spostamento unitario subito da un corpo. Sono possibili vari tipi di misura della deformazione, a seconda che gli spostamenti possano o meno considerarsi piccoli. Per una trattazione esaustiva sulla deformazioni si rimanda ai [testi di teoria](#)<sup>[28]</sup>.

Se si ha a che fare con prismi alla De Saint Venant la deformazione può essere definita in modo più intuitivo, immaginando che la sezione del prisma trasli nella direzione dell'asse del prisma ([elongazione](#)<sup>[319]</sup>), in direzione normale all'asse del prisma ([scorrimento](#)<sup>[340]</sup>) o ruoti mantenendosi piana ([flessione](#)<sup>[322]</sup>). Da queste *deformazioni generalizzate* (perché relative non ad un punto ma ad una sezione) è poi possibile risalire alle deformazioni nei vari punti della sezione.

## 4.20 DIAGRAMMI

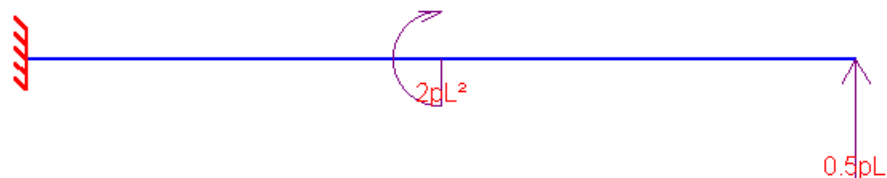
Dato un sistema di aste in equilibrio soggette ad un sistema di forze applicate, queste sono soggette ad uno stato di [sforzo](#)<sup>[344]</sup>. Trattandosi di prismi alla De Saint Venant, lo stato di sforzo nei punti del prisma può essere puntualmente calcolato pur di conoscere gli sforzi generalizzati [azione assiale](#)<sup>[309]</sup>, [taglio](#)<sup>[345]</sup>, [momento flettente](#)<sup>[335]</sup> (e, per sistemi tridimensionali il *momento torcente*). Gli sforzi generalizzati (o *azioni interne*) variano lungo l'asse del prisma, secondo leggi che dipendono dallo schema strutturale e dai carichi applicati.

Al fine di valutare rapidamente l'andamento degli sforzi generalizzati è uso riportare sull'asse del prisma l'andamento di ciascuno degli sforzi generalizzati, intendendo come ascissa la distanza dall'estremo, e come ordinata il valore puntuale dello sforzo generalizzato. Tali andamenti prendono brevemente il nome di diagrammi. Ve n'è uno per l'azione assiale, uno per il taglio, uno per il momento flettente.

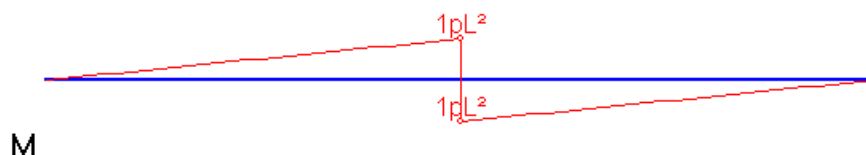
I diagrammi devono, per ragioni di equilibrio, soddisfare alcune regole che qui verranno succintamente riepilogate:

la derivata prima del diagramma del momento flettente coincide con il valore del taglio;

la derivata seconda del diagramma di momento flettente coincide, a meno del segno dovuto alla convenzione, con il valore della componente normale all'asta del carico distribuito.

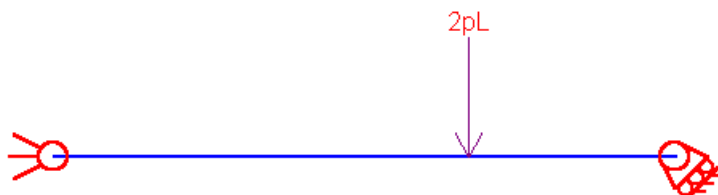


Struttura con coppia concentrata

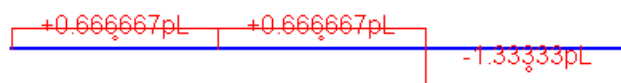


Salto nel diagramma di momento

ad una coppia concentrata corrisponde una discontinuità di prima specie del valore del momento ("salto");



Struttura con forza concentrata



T

Salto nel diagramma del taglio



M

Cuspide nel diagramma di momento

ad una forza concentrata normale all'asse corrisponde un salto nel diagramma del taglio, di valore pari alla forza applicata, ed una cuspide nel diagramma di momento flettente;

ad una forza concentrata parallela all'asse corrisponde un salto nel diagramma della azione assiale;

Per interpretare i diagrammi è necessario fissare delle convenzioni di segno, una per ciascun tipo di diagramma ([Azione assiale](#)<sup>[309]</sup>, [taglio](#)<sup>[345]</sup>, [momento flettente](#)<sup>[335]</sup>).

## 4.21 ELONGAZIONE

Dato un concio  $dx$  di un prisma di De Saint Venant si chiama elongazione la deformazione del prisma che comporta una traslazione infinitesima  $dn$  della sezione in direzione dell'asse del prisma. Il rapporto tra la elongazione  $dn$  e  $dx$ ,  $dn/dx$ , è la deformazione longitudinale  $e$ .

La elongazione può essere elastica, se essa è causata da una azione assiale, può essere termica se è causata da un riscaldamento o da un raffreddamento uniforme del concio.

Alla elongazione elastica è associata una distribuzione di sforzi normali  $s$  identici su tutti i punti della sezione, avente risultante pari alla azione assiale  $N$ . Risulta

$$dn = Ndx/EA$$

$$e = N/EA$$

$$s = N/A$$

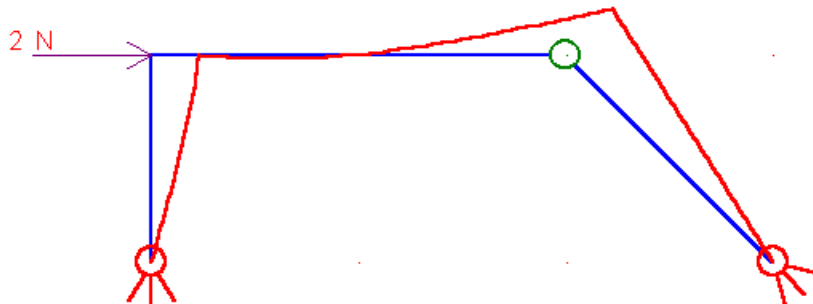
Alla elongazione termica non sono associati sforzi, essa risulta pari a

$$dn = \alpha \Delta T dx$$

L'elongazione complessiva è pari alla somma delle due elongazioni, quella elastica e quella termica:

$$dn = dn_e + dn_t = \frac{Ndx}{EA} + \alpha \Delta T dx$$

## 4.22 ENERGIA DI DEFORMAZIONE



Per poter deformare un corpo occorre svolgere un lavoro, spendere una certa energia. Questa energia può essere dissipata in calore e provocare variazioni permanenti di configurazione, oppure può essere incamerata sotto forma di variazioni elastiche di configurazione, per poter poi essere resa quando il corpo riassume la configurazione originaria. Un esempio del primo tipo è il filo di ferro che, piegato, resta piegato e si scalda. Un esempio del secondo tipo è il classico elastico che si tende e poi si accorcia liberando energia che può servire a far muovere un oggetto.

Se il materiale è elastico l'energia di deformazione è funzione di stato, dipende cioè soltanto dalla configurazione deformata assunta dal corpo e non dal modo in cui si è raggiunta tale deformazione (i percorsi di carico). Se il materiale è elastico lineare, e si sta esaminando un tratto di trave alla De Saint Venant, allora l'energia di deformazione  $L$  può essere espressa dalla seguente relazione:

$$L = \frac{1}{2} \int \frac{N^2 dx}{EA} + \frac{1}{2} \int \frac{\chi T^2 dx}{GA} + \frac{1}{2} \int \frac{M^2 dx}{EJ}$$

dove  $N$ ,  $M$ , e  $T$  sono l'[azione assiale](#)<sup>[309]</sup>, il [taglio](#)<sup>[345]</sup> ed il [momento flettente](#)<sup>[339]</sup>,  $E$  il modulo di Young,  $G$  il modulo di elasticità tangenziale,  $A$  l'area della [sezione](#)<sup>[342]</sup>,  $J$  il [momento di inerzia](#)<sup>[334]</sup>,  $dx$  un tratto di lunghezza infinitesima d'asta,  $\chi$  il [fattore di taglio](#)<sup>[321]</sup>  $g_l$   $\chi_l$ . L'integrale è esteso a tutto il tratto di trave.

L'energia di deformazione si misura in joule (Nm) o in calorie (piccole o grandi).

## 4.23 EQUAZIONI CARDINALI DELLA STATICA

Le equazioni cardinali della statica del corpo rigido sono le equazioni che fissano le condizioni necessarie e sufficienti affinché un corpo soggetto ad un insieme di [forze](#)<sup>[324]</sup> e [momenti](#)<sup>[334]</sup> sia in equilibrio.



Se il corpo si muove nel piano le quazioni cardinali sono tre:

**La risultante delle forze in direzione x deve essere nulla.**

**La risultante delle forze in direzione y deve essere nulla.**

**La risultante dei momenti rispetto ad un punto qualsiasi (purchè proprio, non posto all'infinito) del piano deve essere nulla.**

In alternativa, equivalentemente si può dire che deve essere nulla la risultante dei momenti applicati rispetto a tre qualsiasi punti del piano, propri o impropri, purchè tra loro distinti.

## 4.24 FATTORE DI TAGLIO

Dato un concio infinitesimo  $dx$  di trave di area  $A$ , soggetto ad una azione tagliante  $T$ , e detta  $dE$  l'energia di deformazione incassata dal concio a causa della sola applicazione di  $T$ , si definisce fattore di taglio  $\chi$  la quantità tale per cui risulti

$$dE = \frac{1}{2} \chi \frac{T^2}{GA} dx$$

La necessità di definire un fattore di taglio deriva dal fatto che non esiste una formula unica e semplice in grado di descrivere come vari la tensione tangenziale dovuta al taglio da punto a punto sulla sezione. Si preferisce allora introdurre un coefficiente correttivo che tenga conto di volta in volta di come è fatta la distribuzione di sforzi tangenziali, al fine di valutare il lavoro di deformazione.

Se si usa la teoria semplificata di Jouravskij e si esprime la tensione tangenziale con la formula omonima, allora il fattore di taglio diviene:

$$\chi = \int \frac{S^{*2} dA}{b^2 A \rho^4}$$

Usando tale teoria per la sezione rettangolare il fattore di taglio è eguale a 1.2. Si può dimostrare che il fattore di taglio è sempre maggiore di 1.

## 4.25 FITTIZIA

Si definisce fittizia la struttura che deriva dalla [isostaticizzazione](#)<sup>[327]</sup> della [struttura originaria](#)<sup>[339]</sup>, caricata da una forza unitaria, appunto: fittizia, messa in posizione opportuna.

Si può dire quanto segue.

**a) Fittizie associate a incognite iperstatiche.**

Se la forza unitaria corrisponde ad una incognita iperstatica, allora le azioni interne della fittizia sono pari alla quotaparte di azioni interne della struttura originaria dovute all'iperstatica, divise per il valore dell'iperstatica stessa. Infatti l'effetto sulla struttura originaria dovuto alla iperstatica è proprio eguale al valore della incognita iperstatica per gli effetti dovuti all'iperstatica posta eguale ad 1 (ovvero della forza fittizia).

Sia  $N^\circ$  la azione assiale di un ramo nella struttura [principale](#)<sup>[338]</sup>,  $N$  l'azione assiale nella [struttura originaria](#)<sup>[339]</sup>. Per il principio di sovrapposizione degli effetti:

Se la struttura è isostatica

$$N = N^\circ$$

Se la struttura ha una iperstatica  $X$

$$N = N^\circ$$

$$+ N'X$$

Se la struttura ha una iperstatica  $X$  ed una  $Y$

$$N = N^\circ + N'X$$

$$+ N''Y$$

E così via.

L'azione assiale nella fittizia  $N'$  non è che  $N'X/X$ , ovvero la parte di azione assiale totale  $N$  dovuta a quella iperstatica, parte che vale  $N'X$ , divisa per  $X$ .

#### b) Fittizie associate a incognite iperstatiche o cinematiche

La fittizia viene introdotta per avere un sistema di forze  $\mathbf{F}$  (la forza unitaria e le reazioni vincolari ad essa associate) in equilibrio con un sistema di azioni interne (le azioni interne della fittizia stessa, il sistema di sforzi generalizzati  $\mathbf{s}$ ). Questo sistema equilibrato  $(\mathbf{F}, \mathbf{s})$  è poi usato con gli spostamenti della struttura originaria e con le sue deformazioni totali, per scrivere una equazione dei [lavori virtuali](#)<sup>[337]</sup>.

L'introduzione di una o più strutture fittizie consente di adoperare il [plv](#)<sup>[337]</sup> per calcolare incognite iperstatiche o cinematiche (spostamenti).

## 4.26 FLESSIONE

Si chiama flessione la deformazione di un concio di trave alla De Saint Venant tale per cui una faccia di un tratto di trave viene a ruotare rispetto ad un'altra (in modo che la rotazione avvenga rispetto ad un asse giacente sulla faccia stessa, non rispetto all'asse del prisma).

Usualmente la flessione è studiata facendo l'ipotesi che le facce ruotino rimanendo piane.

Cinematicamente parlando, la deformazione flessionale (o anche flessione)  $d\varphi$  può essere definita come l'angolo formato tra loro da due facce distanti una quantità infinitesima  $dx$ .

La flessione può essere dovuta al fatto che sul concio sia applicato un momento flettente (*flessione elastica*) o a causa del fatto che la sezione sia sottoposta ad una distribuzione di temperatura non uniforme (*flessione termica*).

Non è questa la sede per percorrere la teoria della flessione elastica, qui basterà fornire alcuni brevi richiami.

La flessione elastica è un fenomeno tale per cui le due facce di un concio di trave sollecitate da un [momento](#)<sup>[334]</sup> avente vettore giacente nel loro piano (momento flettente) vengono a ruotare l'una rispetto all'altra.

Se si usa la teoria della elasticità, si può vedere che valgono i seguenti risultati (alcuni di questi valgono anche sotto condizioni più ampie, ma non è questa la sede per una discussione):

- Esiste un asse sulla sezione ove lo [sforzo](#)<sup>[344]</sup> si mantiene nullo (asse neutro).
- Se vi è solo un momento applicato, e non una azione assiale, allora l'asse neutro passa per il [baricentro](#)<sup>[310]</sup> della [sezione](#)<sup>[342]</sup>.
- Se il vettore momento è parallelo ad uno degli [assi principali](#)<sup>[308]</sup> della sezione allora anche l'asse neutro è parallelo all'asse principale (flessione retta).
- Se vi è solo un momento applicato parallelo ad un asse principale, e non un taglio, lo sforzo è puramente normale, e aumenta linearmente con la distanza  $y$  dall'asse neutro secondo la formula:  $s = My/J$ , dove  $M$  è il momento applicato,  $J$  il [momento di inerzia](#)<sup>[334]</sup> della sezione rispetto all'asse principale.
- Se il vettore momento non è parallelo ad uno degli assi principali può essere scomposto in due componenti ciascuna parallela ad uno degli assi principali, e la tensione normale si ottiene sommando i due contributi di ciascuna flessione retta (flessione deviata).

Come detto, anche un riscaldamento od un raffreddamento può essere causa di una flessione, detta in questo caso *termica*. Ciò avviene a causa del diverso allungamento subito dalle fibre superiori del prisma rispetto a quelle inferiori.

La deformazione flessionale complessiva può dunque essere espressa come somma della parte elastica e della parte anelastica (termica). Qui di seguito l'espressione della deformazione  $d\varphi$ :

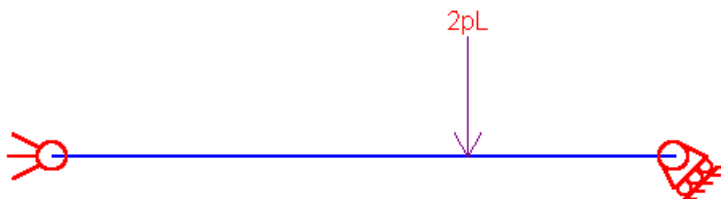
$$d\varphi = d\varphi_e + d\varphi_t = \frac{Mdx}{EJ} + \frac{2\alpha\Delta Tdx}{h}$$

dove  $a$  è il [coefficiente di dilatazione termica](#)<sup>[314]</sup>,  $h$  è l'altezza della sezione, immaginata rettangolare,  $DT$  è il valore pari a  $(T_1 - T_2)/2$ , essendo  $T_1$  e  $T_2$  i valori della temperatura ai due estremi della sezione.

## 4.27 FORZA

Il concetto di forza è intuitivo. Possiamo definire *forza* ciò che provoca un'accelerazione in un corpo libero di muoversi, o uno stato di sforzo in un corpo vincolato alla traslazione nella direzione della forza.

In meccanica la forza è una quantità vettoriale, essa è cioè individuata da un *modulo* (l'intensità della forza) e da un *versore*, vale a dire un vettore di modulo unitario che indica la direzione ed il verso in cui la forza agisce.



In CESCO le forze sono rappresentate per mezzo dei versori e del modulo, che viene esplicitamente riportato a fianco del versore.

Alle forze, essendo quantità vettoriali, si applicano tutte le regole del calcolo vettoriale, come la somma, la sottrazione, il prodotto.

La forza si misura in newton (N), definito come la forza capace di imprimere ad una massa di un kg la accelerazione di un metro al secondo quadrato. Oltre al newton si usano i chiloneutron (kN), i decanewton (daN), eccetera. In ambito tecnico, per lunga tradizione, spesso si usano ancora, i chili (kg,  $1\text{kg} = 9.81\text{N}$ ) e le tonnellate (t).

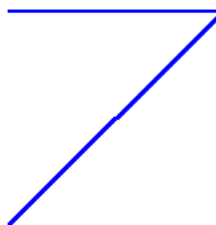
## 4.28 INCASTRO

Un incastro impedisce due traslazioni e una rotazione. Un incastro è pertanto equivalente a tre gradi di vincolo.



**incastro a terra**

L'incastro può essere "a terra" ("[terra](#)"<sup>[345]</sup>), ed in questo caso le traslazioni e le rotazioni impediti sono assolute, vale a dire definite rispetto al sistema di riferimento.



#### incastro relativo

Oppure un incastro può essere relativo, se le traslazioni e la rotazione impediti sono relative, vale a dire di un corpo rispetto ad un altro. Se due o più corpi distinti vengono incastrati tra loro (ad esempio mediante saldatura) essi costituiscono un corpo unico: il movimento relativo di uno rispetto agli altri è stato totalmente annullato.

## 4.29 INCOGNITA IPERSTATICA

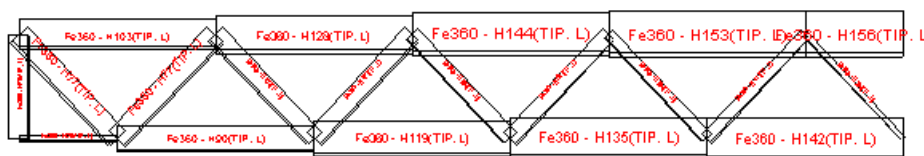
In un sistema [iperstatico](#)<sup>[326]</sup>, le [reazioni vincolari](#)<sup>[340]</sup> sono in numero superiore alle condizioni di equilibrio che si possono scrivere. Poiché l'azione dei [vincoli](#)<sup>[348]</sup> si traduce in forze e coppie che, al pari dei carichi esterni, vengono esercitate sulla struttura, si può assumere che la struttura iperstatica sia equivalente alla stessa struttura, resa [isostatica](#)<sup>[327]</sup> mediante [isostaticizzazione](#)<sup>[327]</sup>, sulla quale sono applicate, accanto alle forze originarie, note, delle forze incognite, dette incognite iperstatiche, che traducono l'effetto che i vincoli soppressi avevano sulla struttura. Perché i vincoli soppressi siano correttamente rispettati le incognite iperstatiche devono assumere dei valori molto particolari, che dipendono dalla struttura e dai carichi applicati sulla struttura: esse devono fare sì che la [deformata](#)<sup>[316]</sup> da loro causata si sovrapponga alla deformata causata dai carichi applicati ([Principale](#)<sup>[338]</sup>) proprio in modo da rispettare tutti i vincoli originariamente esistenti. In una parola le incognite iperstatiche devono fare in modo che la *congruenza* sia rispettata.

## 4.30 INGOMBRO

La realizzabilità di una struttura dipende anche dal suo ingombro, vale a dire dalle dimensioni dei suoi elementi.

Le scelte progettuali condizionano le dimensioni degli elementi, e possono essere inconciliabili con l'estetica o con la funzionalità, o con la stessa pratica realizzabilità.

Un esempio tipico è quello della trave reticolare, che, se non sufficientemente alta, può richiedere dimensioni addirittura incompatibili con la stessa realizzabilità della struttura.



Nella figura si vede una trave reticolare che è chiaramente vicina ad essere irrealizzabile, poiché i correnti sono tra loro troppo ravvicinati rispetto alla dimensione trasversale degli elementi.

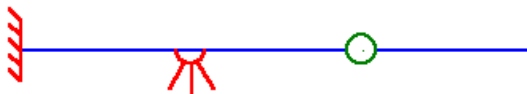
CESCO fa vedere l'ingombro degli elementi strutturali dando una chiara idea della situazione.

## 4.31 IPERSTATICITA'

Si definisce iperstaticità la condizione per la quale una struttura composta da un insieme di corpi vincolati tra loro ed a [terra](#)<sup>[345]</sup> si trovi ad avere un numero di vincoli superiore al numero complessivo di gradi di libertà. Per numero di vincoli si intende la somma di tutte le molteplicità di ciascun [vincolo](#)<sup>[348]</sup> della struttura in esame.

Se una struttura è iperstatica è impossibile calcolare le sue azioni interne usando esclusivamente le equazioni di equilibrio del corpo rigido (nel piano esse sono in numero pari a tre per ogni distinto corpo dal quale il sistema è formato): occorre tenere in conto la sua deformabilità.

Una struttura che sia iperstatica può comunque avere atti di [moto rigido](#)<sup>[335]</sup>. Per escluderli è necessaria una [analisi cinematica](#)<sup>[308]</sup>.



**Esempio di struttura iperstatica con ipostaticità localizzata: i vincoli sono mal distribuiti anche se globalmente in numero superiore ai gradi di libertà.**

## 4.32 IPOSTATICITA'

Si definisce ipostaticità la condizione per la quale una struttura composta da un insieme di corpi vincolati tra loro ed a [terra](#)<sup>[345]</sup> si trovi ad avere un numero di vincoli inferiore al numero complessivo di gradi di libertà. Per numero di vincoli si intende la somma di tutte le molteplicità di ciascun [vincolo](#)<sup>[348]</sup> della struttura in esame.

Se una struttura è ipostatica essa è certamente dotata di [moti rigidi](#)<sup>[335]</sup> e non può stare in piedi.



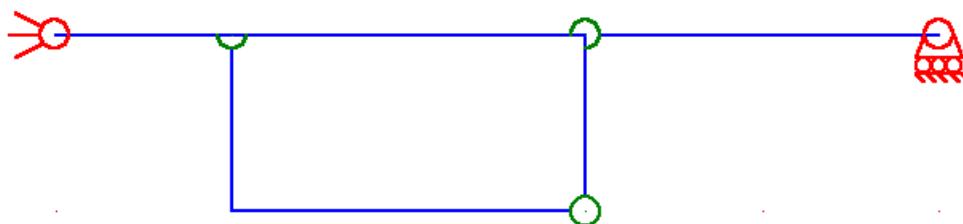
### Esempio di struttura ipostatica

## 4.33 ISOSTATICITA'

Si definisce isostaticità la condizione per la quale una struttura composta da un insieme di corpi vincolati tra loro ed a [terra](#)<sup>[345]</sup> si trovi ad avere un numero di vincoli pari al numero complessivo di gradi di libertà. Per numero di vincoli si intende la somma di tutte le molteplicità di ciascun [vincolo](#)<sup>[346]</sup> della struttura in esame.

Se una struttura è isostatica è possibile calcolare le sue azioni interne usando esclusivamente le equazioni di equilibrio del corpo rigido (nel piano esse sono in numero pari a tre per ogni distinto corpo dal quale il sistema è formato).

Una struttura che sia isostatica può comunque avere atti di [moto rigido](#)<sup>[335]</sup>. Per escluderli è necessaria una [analisi cinematica](#)<sup>[308]</sup>.



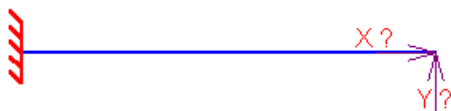
**Esempio di struttura isostatica con ipostaticità localizzata: i vincoli sono mal distribuiti anche se globalmente in numero pari ai gradi di libertà.**

## 4.34 ISOSTATICIZZAZIONE

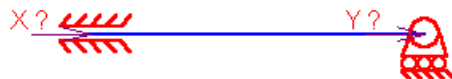
Si chiama *isostaticizzazione* il procedimento in base al quale una struttura [iperstatica](#)<sup>[326]</sup> può essere [resa isostatica](#)<sup>[340]</sup> mettendo al posto dei vincoli reputati in eccesso le [reazioni vincolari](#)<sup>[340]</sup> da essi esercitate. Poiché per soddisfare la [congruenza](#)<sup>[315]</sup> le reazioni evidenziate devono necessariamente assumere particolari valori, tali reazioni sono incognite, e prendono il nome di [incognite iperstatiche](#)<sup>[325]</sup>.



**Struttura iperstatica**



Struttura isostaticizzata in modo corretto



Struttura isostaticizzata in modo scorretto (labile)

La scelta dei vincoli in eccesso è arbitraria: una struttura può essere isostaticizzata in molti modi diversi. Sebbene le incognite iperstatiche cambino, non cambia il quadro complessivo dello stato di sforzo, né il valore delle reazioni vincolari sulla struttura originaria.

La isostaticizzazione non può essere fatta generando schemi [labili](#)<sup>[328]</sup>, né evidenziando un numero di incognite superiore a quanto strettamente necessario per ottenere una struttura [isostatica](#)<sup>[327]</sup>.

## 4.35 LABILITA'

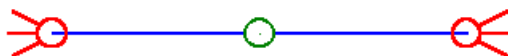
La labilità è la situazione per la quale i vincoli di una struttura, pur essendo in numero teoricamente sufficiente ad impedire [moti rigidi](#)<sup>[335]</sup>, sono disposti in modo tale da consentire uno o più di essi. La labilità è dunque legata alla errata disposizione dei vincoli, non al loro essere in numero insufficiente.

Le strutture labili sono destinate a crollare, indipendentemente dal fatto che negli schemi di calcolo la labilità sia attivata.

Qui di seguito sono mostrati alcuni tipici esempi di struttura labile, ed alcuni esempi un po' più articolati.

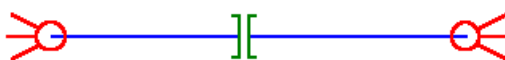


1:Esempio classico di struttura labile

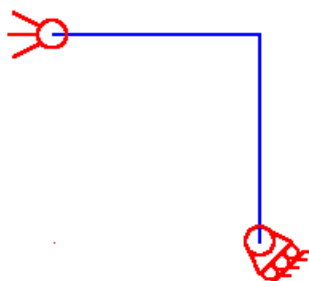


2:Esempio classico di struttura labile

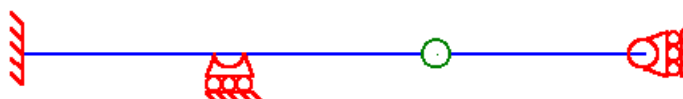




3: Esempio classico di struttura labile equivalente a 2

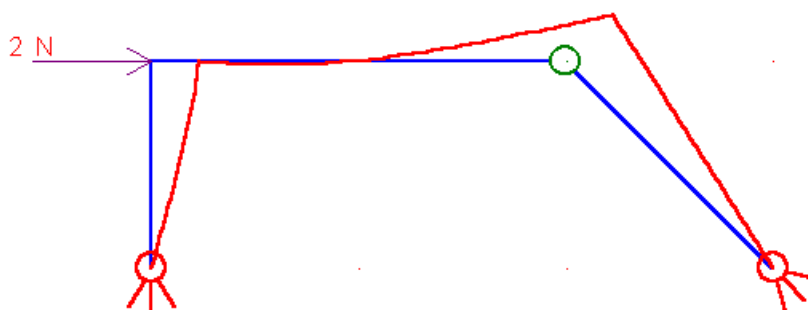


4: Esempio di struttura labile assimilabile a 1



5: Esempio di struttura iperstatica e labile (labilità di tipo 1)

## 4.36 LAVORO



Sia data una forza applicata in un certo punto P. Supponiamo che il punto P si sposti di una quantità infinitesima  $ds$ , in modo che  $da$  sia lo spostamento in direzione parallela ad  $F$ ,  $dp$  lo spostamento in direzione perpendicolare. Chiamiamo lavoro elementare la quantità

$$dL = F da$$

Si noti che solo la parte di spostamento parallela alla direzione di  $F$  entra nel lavoro, la parte perpendicolare invece no. Infatti, se si considera il vettore  $F$ , ed il vettore  $ds$ , risulta

$$dL = Fxds$$

ove con il simbolo “ $x$ ” si è indicato il prodotto scalare.

Come si vede il lavoro è una quantità scalare (un numero, non un vettore) che ha le dimensioni fisiche di una forza per uno spostamento. L’unità di misura del lavoro è il joule, pari a 4.18cal, dove una caloria (cal) è la quantità di energia per innalzare di un grado centigrado la temperatura di un cc di acqua distillata.

Ma cosa è un lavoro? Ci sembra particolarmente convincente la definizione di Gilberto Bernardini: “Come vedremo la risposta a questa domanda è, nella maggior parte dei casi, la seguente: il lavoro è il processo in base al quale una certa quantità di energia ‘si trasferisce’ da un corpo ad un altro” (Fisica Generale, Ed. Libreria Eredi V. Veschi, Roma, 1974).

Ciò è particolarmente vero per i sistemi elastici che incassano questo lavoro sotto forma di [energia di deformazione](#)<sup>[320]</sup> e la restituiscono quando sono liberi di riprendere la loro configurazione indeformata.

## 4.37 LUNGHEZZA DI LIBERA INFLESSIONE

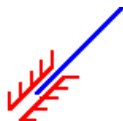
Si definisce lunghezza di libera inflessione la lunghezza della semionda di senoide che corrisponde alla forma assunta dalla membratura in caso di un suo sbandamento per instabilità euleriana.

La lunghezza di libera inflessione è spesso espressa come lunghezza della membratura moltiplicata per il [coefficiente di libera inflessione](#)<sup>[314]</sup>.

La lunghezza di libera inflessione è molto importante per determinare il [carico critico euleriano](#)<sup>[311]</sup>.

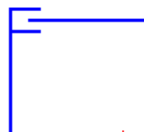
## 4.38 MANICOTTO

Si ha un manicotto quando l’estremo di un’asta è vincolato a traslare in direzione parallela all’asse dell’asta stessa, ovvero quando sono impedita la rotazione e la traslazione normale all’asse dell’asta. Un manicotto è qualcosa di molto simile ad un [pattino](#)<sup>[336]</sup>, e può essere visto come un pattino con piano di scorrimento parallelo all’asta a cui è applicato. Un manicotto, come un pattino, impedisce una traslazione ed una rotazione. Un manicotto è pertanto equivalente a due gradi di vincolo, ed è cinematicamente assimilabile ad una cerniera posta in un punto improprio del piano (posto all’infinito in direzione normale all’asta).



**manicotto a terra**

Il manicotto può essere “a terra” ([“terra”](#)<sup>[345]</sup>), ed in questo caso la traslazione e la rotazione impedita sono assolute, vale a dire definite rispetto al sistema di riferimento.

**manicotto relativo**

Oppure un manicotto può essere relativo, se la traslazione e la rotazione impedita sono relative, vale a dire di un corpo rispetto ad un altro.

**4.39 MEMBRATURA**

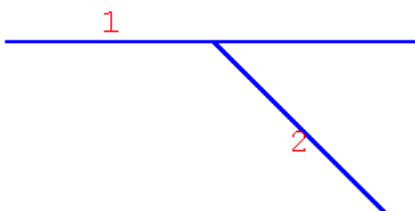
In CESCO si intende per membratura (o equivalentemente *elemento strutturale*) un tratto rettilineo di elemento monodimensionale avente un'unica sezione ed un unico materiale.

Una membratura può essere spezzata in più [rami](#)<sup>[339]</sup> senza che per questo venga a perdersi la sua identità di membratura.

Se ad esempio, si aggiunge un'asta che ha un estremo che va a cadere sull'asse di una membratura esistente, questa viene spezzata automaticamente in due rami, ciascuno dei quali ha in comune il punto di intersezione dell'asta appena aggiunta con quella originaria. Benchè ora composta da due rami la membratura originaria continua ad esistere.



**Esiste un solo ramo ed una sola membratura**



**Ora esistono tre rami e due membrane. La numerazione della prima membratura viene riportata sul baricentro del suo primo ramo (la posizione del numero è cambiata)**

Se *ab initio* si fosse descritto il tratto orizzontale mediante due pezzi, allora le membrane sarebbero state tre.

Le membrane vengono definite quando si descrive la struttura mediante i comandi di aggiunta.

Se si vuole descrivere un lungo tratto rettilineo come composto da più membrane sarà sufficiente

descriverlo in più tratti, facendo tappa in punti intermedi.

## 4.40 METODO ?

Questo metodo è usato nella pratica tecnica per eseguire implicitamente le verifiche di stabilità. Come si è visto la determinazione del [carico critico](#)<sup>[311]</sup> è molto difficile se si esce dal campo elastico ed ideale. D'altro canto tutte le membrane reali hanno imperfezioni e dunque occorre trattarle di conseguenza. Il metodo  $w$  consiste nell'amplificare di un fattore  $w > 1$ , appunto, il carico applicato, in modo da calcolare una tensione di compressione maggiore di quella effettivamente esistente. La correzione è studiata in modo tale da aumentare con l'aumentare della snellezza, in modo da tenere implicitamente in conto anche le verifiche di stabilità. E' da notare che le curve  $w=w(l)$  sono curve che derivano da quelle sperimentali, e quindi sono valide in tutti i campi di [snellezza](#)<sup>[344]</sup>.

## 4.41 MODALITA' DI FUNZIONAMENTO

Per modalità di funzionamento si intende la possibilità di far funzionare il programma in modo ottimizzato in funzione di particolari esigenze.

Le esigenze previste sono quattro, e quattro le diverse modalità di funzionamento.

### Predimensionamento

In questa modalità di funzionamento si suppone che chi usa il programma sia piuttosto inesperto ed a digiuno di nozioni teoriche. Pertanto non vi sono limitazioni sulle strutture da poter risolvere, e neppure obblighi di coerenza particolari: l'utente ha una specie di lasciapassare, che gli consente di cominciare a farsi le ossa sul problema. Le [unità di misura](#)<sup>[346]</sup> sono a libera scelta. Non è accessibile la parte sul [PLV](#)<sup>[337]</sup>.

In questa modalità è possibile tentare di risolvere strutture ipostatiche ([ipostaticità](#)<sup>[326]</sup>) o labili ([labilità](#)<sup>[328]</sup>), ricevendo consigli sul da farsi.

E' soprattutto per questa modalità che è stata pensatoa il [predimensionamento](#)<sup>[338]</sup>.

### Equilibrio

Questa modalità è pensata per gli Studenti del Corso di Statica. Si possono risolvere solo strutture isostatiche ([isostaticità](#)<sup>[327]</sup>). L'utente è obbligato ad eseguire l'[analisi cinematica](#)<sup>[308]</sup>. Le [unità di misura](#)<sup>[346]</sup> sono letterali ( $p$ ,  $pL$ ,  $pL2$ ) e non possono essere cambiate.

Questa modalità è stata pensata per gli Allievi che devono imparare a risolvere le strutture

calcolandole a mano mediante il calcolo letterale.

### Congruenza

Questa modalità è pensata per gli Studenti del Corso di Scienza delle Costruzioni. Si possono risolvere strutture isostatiche ([isostaticità](#)<sup>[327]</sup>) o con al più tre iperstatiche. L'utente è obbligato ad eseguire l'[analisi cinematica](#)<sup>[308]</sup>. Le [unità di misura](#)<sup>[348]</sup> sono letterali (p, pL, pL2) e non possono essere cambiate. E' disponibile la soluzione per mezzo del [PLV](#)<sup>[337]</sup>, con tutte le equazioni del caso, e, dunque, è possibile calcolare spostamenti, sempre con il PLV.

Questa modalità è stata pensata per gli Allievi che devono imparare a risolvere le strutture iperstatiche calcolandole a mano mediante il calcolo letterale ed il PLV. Nel caso in cui vengano attribuite sezioni, è possibile avere gli sforzi in vari punti della sezione ed avere i cerchi di Mohr qualitativi. Viene data la tensione di Von Mises, quella di Tresca, gli sforzi principali.

### Analisi

Questa modalità è pensata per gli Studenti del Corso di Tecnica delle Costruzioni. Si possono risolvere strutture anche a molte iperstatiche. L'utente non è obbligato ad eseguire l'[analisi cinematica](#)<sup>[308]</sup>. Le [unità di misura](#)<sup>[348]</sup> sono scelte liberamente. I comandi relativi al PLV non sono disponibili.

Questa modalità è stata pensata per gli Allievi che devono imparare a verificare le strutture con un po' di realismo, e che quindi non devono avere l'assillo di progettare solo strutture isostatiche o con poche iperstatiche. E' anche la modalità più adatta per chi voglia usare questo programma per calcoli realistici su strutture realistiche.

## 4.42 MODULO DI RESISTENZA

Esso è definito come il rapporto tra il momento elastico (vale a dire il massimo momento applicabile senza che alcun punto arrivi al limite elastico) e la tensione pari al limite elastico.

Può essere calcolato facendo il rapporto tra il [momento di inerzia](#)<sup>[334]</sup> rispetto ad un certo asse principale e la distanza massima d dei punti della sezione rispetto a tale asse.

Per la sezione rettangolare inflessa intorno all'asse orizzontale, ad esempio  $W = bh^2/6$ .

## 4.43 MODULO PLASTICO

Esso è definito come il rapporto tra il momento plastico (vale a dire, grosso modo, il momento massimo applicabile su una sezione) e la tensione di snervamento. In pratica è un numero sempre maggiore del modulo di resistenza elastico che si misura in cm<sup>3</sup>, (mm<sup>3</sup>, m<sup>3</sup>, ecc.).

Per calcolarlo su sezioni aventi almeno un asse di simmetria si fa nel seguente modo. Si trova l'asse che taglia la sezione in due parti di eguale area. Si sommano i moduli dei momenti statici delle due parti

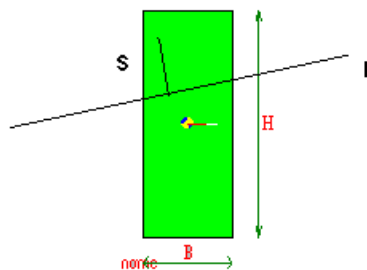
rispetto all'asse trovato: il risultato è il momento plastico. Ad esempio per una sezione rettangolare il  $W$  plastico rispetto all'asse orizzontale è pari a  $bh^2/4$ .

## 4.44 MOMENTO DI INERZIA

Si definisce momento di inerzia di una sezione rispetto ad un asse  $r$  che giace sul suo piano la quantità

$$J_r = \int s^2 dA$$

dove  $s$  è la distanza della generica area infinitesima  $dA$  dall'asse  $r$ .



Se l'asse  $r$  è normale al piano della sezione si parla di *momento di inerzia polare*, essendo chiamato polo il punto in cui l'asse interseca il piano della sezione.

Se si considerano due assi tra loro perpendicolari,  $r$  ed  $s$ , si definisce *momento di inerzia centrifugo* della sezione rispetto a tali assi la quantità

$$J_{rs} = \int r s dA$$

essendo  $r$  la distanza dall'asse  $s$ , ed  $s$  la distanza dall'asse  $r$  della generica area infinitesima  $dA$ .

In analogia con quanto previsto dalla formula della [flessione](#)<sup>[322]</sup>, si definisce anche un *momento di inerzia torsionale*, che però assume formulazioni diverse in funzione della teoria semplificata della torsione alla quale si fa riferimento.

## 4.45 MOMENTO

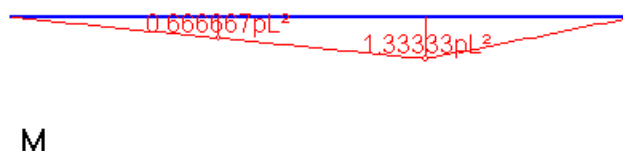
Al pari di quello di [forza](#)<sup>[324]</sup>, il concetto di momento o *coppia*, è intuitivo. Chiamiamo momento (di una forza: in meccanica esiste anche il *momento della quantità di moto*, e, in generale, si può definire il momento di qualunque quantità vettoriale) ciò che è capace di generare un'accelerazione angolare in un corpo libero di ruotare. Anche la coppia, come la forza, può indurre uno stato di sforzo in un corpo che non può ruotare.

Nel piano, il momento di una forza rispetto ad un punto (punto che è l'immagine di un asse normale

al piano), viene calcolato moltiplicando vettorialmente la forza per il vettore che connette il punto di applicazione della forza con il punto, ovvero, in alternativa, moltiplicando scalarmente il modulo della forza per la distanza della retta di applicazione della forza dal punto considerato, eppoi considerando il vettore normale al piano di rotazione, positivo se la rotazione è antioraria.

#### 4.46 MOMENTO FLETTENTE

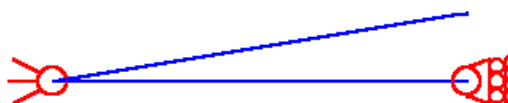
Sia dato un prisma di De Saint Venant soggetto ad uno stato di sforzo, e si tagli il prisma in un punto generico. Le azioni interne che le due facce del prisma si scambiano, eguali e contrarie sulle due facce, sono riducibili ad una coppia, *momento flettente*, una forza normale alla faccia ([azione assiale](#) <sup>[309]</sup>) ed una forza, detta [taglio](#) <sup>[345]</sup>, giacente sulla faccia.



Qui sono tese le fibre di sotto.

CESCO riporta il diagramma di momento sempre dalla parte delle fibre tese.

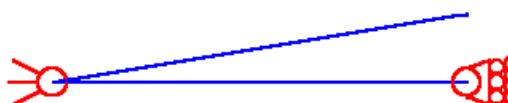
#### 4.47 MOTO RIGIDO



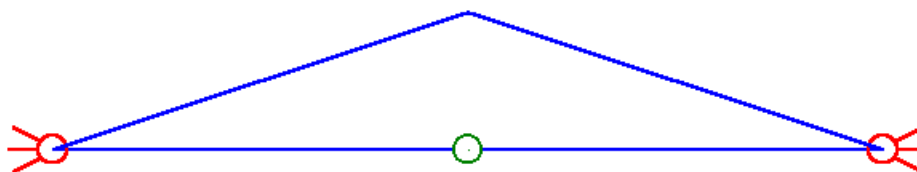
Se una struttura o parte di essa può muoversi liberamente, senza cioè che sia necessario compiere alcun lavoro, essa è dotata di moti rigidi. Se è possibile un moto rigido, nessun vincolo interno od esterno si oppone al movimento, che è pertanto destinato ad avvenire.

I moti rigidi possono essere, se non voluti, causa di crollo o di inutilizzabilità per le strutture.

Qui di seguito si danno due esempi di strutture dotate di moti rigidi, e degli stessi moti.



Struttura labile



Struttura labile

## 4.48 NODO

Nell'ambito di CESCO definiamo nodo ogni punto che corrisponde all'estremo di un [ramo](#)<sup>[339]</sup>. Il ramo può essere stato precedentemente aggiunto esplicitamente, o generato per mezzo di una intersezione automatica (dovuta alla presenza di due rami intersecantisi), o per mezzo di una suddivisione in parti ([Dividi](#)<sup>[197]</sup>). Se più rami convergono in un punto là vi è uno e un solo nodo.

Un nodo può corrispondere ad un punto sulla griglia, ma ovviamente non tutti i punti della griglia sono nodi.

Chi è familiare con il metodo degli elementi finiti ha ben chiaro il concetto di nodo, che coincide con quello di CESCO. L'unica differenza è che in CESCO sono automaticamente risistemate le incidenze (grazie alla intersezione automatica), e non è possibile avere nodi doppi.

## 4.49 PATTINO

Un pattino impedisce la traslazione in una certa direzione ed una rotazione. Un pattino è pertanto equivalente a due gradi di vincolo, ed è cinematicamente assimilabile ad una cerniera posta in un punto improprio del piano (posto all'infinito in direzione normale al piano di scorrimento).



### pattino a terra

Il pattino può essere "a terra" ("[terra](#)"<sup>[345]</sup>), ed in questo caso la traslazione e la rotazione impedita sono assolute, vale a dire definite rispetto al sistema di riferimento.



### pattino relativo

Oppure un pattino può essere relativo, se la traslazione e la rotazione impedita sono relative, vale a dire



di un corpo rispetto ad un altro.

## 4.50 PATTINO DOPPIO

Un pattino doppio ( o “doppio pattino”) impedisce la sola rotazione. Un pattino doppio è pertanto equivalente a un solo grado di vincolo.



### pattino doppio a terra

Il pattino doppio può essere “a terra” (“terra”<sup>[345]</sup>), ed in questo caso la rotazione impedita è assoluta, vale a dire definita rispetto al sistema di riferimento.



### pattino doppio relativo

Oppure un pattino doppio può essere relativo, se la rotazione impedita è relativa, vale a dire di un corpo rispetto ad un altro.

CESCO presentemente non supporta i pattini doppi.

## 4.51 PLV

Il principio dei lavori virtuali (plv) è un principio di fondamentale importanza in tutta la meccanica.

Esso assume due diverse formulazioni a seconda che si parli di sistemi rigidi o di sistemi deformabili.

Nel caso di sistemi rigidi, e pertanto per definizione incapaci di incassare energia sotto forma di deformazione elastica o plastica, il plv si enuncia così:

**Condizione necessaria e sufficiente perché un sistema di corpi rigidi sia in equilibrio sotto un insieme di forze date è che il lavoro compiuto da tali forze sia nullo per ogni insieme di spostamenti infinitesimi e compatibili con i vincoli.**

Se invece il sistema di corpi è deformabile il principio dei lavori virtuali si enuncia così:

**Condizione necessaria e sufficiente affinché un sistema di corpi deformabili sia in equilibrio sotto l'insieme di forze date è che per ogni insieme di spostamenti infinitesimi e compatibili con i vincoli risulti che il lavoro esterno sia eguale al lavoro interno.**

Uno spostamento infinitesimo e compatibile con i vincoli è detto *virtuale* per definizione. Da qui il nome di *principio dei lavori virtuali*.

Si può anche dimostrare quanto segue.

Dato un sistema di corpi deformabili, siano dati per esso un sistema di forze applicate  $\mathbf{F}$ , un sistema di sforzi interni  $\mathbf{s}$ , un sistema di spostamenti  $\mathbf{U}$  ed un sistema di deformazioni  $\mathbf{e}$ . Se  $\mathbf{F}$  è in equilibrio con  $\mathbf{s}$  e  $\mathbf{U}$  congruente con  $\mathbf{e}$ , allora il lavoro esterno compiuto dalle forze  $\mathbf{F}$  per gli spostamenti  $\mathbf{U}$  è certamente eguale al lavoro interno compiuto dagli sforzi  $\mathbf{s}$  per le deformazioni  $\mathbf{e}$ .

Si noti, in particolare, che non è necessario che il sistema di forze e sforzi *causi* il sistema di spostamenti e deformazioni: essi possono essere affatto indipendenti.

Il principio dei lavori virtuali è di universale applicabilità perché non è legato ad alcuna particolare ipotesi sul comportamento del materiale.

## 4.52 PREDIMENSIONAMENTO

Il termine predimensionamento è stato usato per indicare il procedimento con il quale è possibile dare una ragionevole stima dell'[ingombro](#)<sup>[325]</sup> delle [membrature](#)<sup>[331]</sup> di una struttura, dati i carichi applicati, lo schema strutturale e le [tipologie](#)<sup>[346]</sup> assegnate alle membrature.

Si è usato il termine predimensionamento e non il termine dimensionamento o previsione perché l'uno sembrava troppo, l'altro troppo poco. Un *dimensionamento* infatti deve tenere bene in conto tutti i fenomeni che possono portare in crisi una struttura, mentre una previsione è cosa abbastanza equivoca: gli oroscopi *prevedono*.

Poiché per sistemi iperstatici le azioni interne dipendono dalle dimensioni, e dato che queste dipendono dalle azioni interne, ne segue che il programma è in grado di stabilire le dimensioni solo grazie ad un procedimento iterativo: partendo da dimensioni di tentativo si calcolano le azioni interne e poi da queste nuove dimensioni, e così via fino a convergenza.

## 4.53 PRINCIPALE

Si definisce principale la struttura che deriva dalla [isostaticizzazione](#)<sup>[327]</sup> della struttura originaria, soggetta a tutte le forze, le coppie ed i carichi distribuiti della [struttura originaria](#)<sup>[339]</sup>.

La struttura principale genera la quotaparte di sollecitazione dovuta ai carichi esterni, e la quota di deformazione elastica dovuta ai carichi esterni. Per ottenere il valore totale occorre ancora sommare l'effetto delle [incognite iperstatiche](#)<sup>[325]</sup>.

Sia  $N^\circ$  la azione assiale di un ramo nella principale,  $N$  l'azione assiale nella struttura originaria.

Se la struttura è isostatica

$$N=N^{\circ}$$

Se la struttura ha una iperstatica X

$$N=N$$

$$^{\circ}+N^{\circ}X$$

Se la struttura ha una iperstatica X ed una Y

$$N=N^{\circ}+N^{\circ}X$$

$$+N^{\circ}Y$$

## 4.54 RAGGIO DI INERZIA

Il raggio di inerzia  $i$  di una sezione rispetto ad un asse  $r$ , è pari per definizione a

$$\sqrt{\frac{J_r}{A}}$$

essendo  $J_r$  il [momento di inerzia](#)<sup>[334]</sup> della sezione rispetto all'asse  $r$ , ed  $A$  l'area della sezione. Il raggio di inerzia è una lunghezza ed è una misura dell'intensità di momento di inerzia a parità di area, ed è fondamentale nella definizione della [snellezza](#)<sup>[344]</sup>.

## 4.55 RAMO

Per ramo si intende in CESCO un tratto di [membratura](#)<sup>[331]</sup> compreso tra due [nodi](#)<sup>[336]</sup>.

Una membratura può essere divisa in rami, mentre non può accadere il contrario.

Può capitare che una membratura venga automaticamente divisa in rami dal programma, ciò avviene quando una nuova membratura interseca la precedente.

Può anche capitare che sia l'utente a desiderare di spezzare una membratura in rami: ciò avviene quando si vogliono applicare delle forze all'interno di una membratura, e non si trovano [nodi](#)<sup>[336]</sup> interni ad essa. In tal caso sarà necessario spezzare la membratura in rami.

Per chi è dimestico con l'argomento si può dire che i rami sono, in realtà, *elementi finiti*.

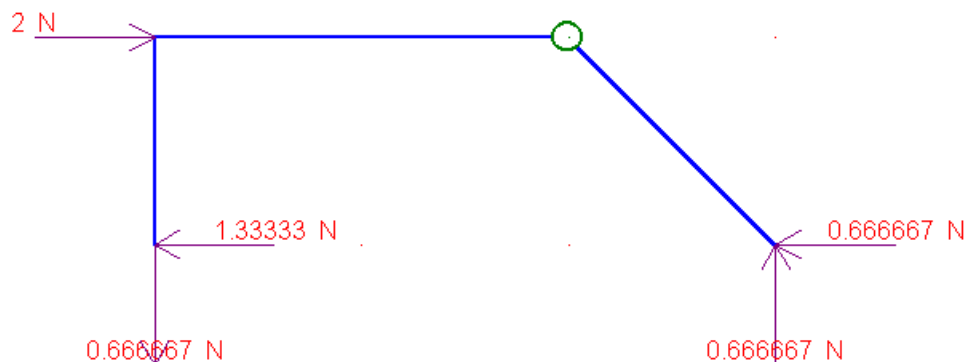
## 4.56 REALE

Per risolvere una struttura con il [plv](#)<sup>[337]</sup>, è necessario impiegare varie diverse strutture oltre a quella originaria (le [fittizie](#)<sup>[321]</sup>, la [principale](#)<sup>[338]</sup>). E' detta allora *reale* la struttura di partenza, quella alla quale si è effettivamente interessati.

## 4.57 REAZIONE

Si chiama reazione la forza o la coppia esercitata da un corpo sul quale sono applicate delle azioni. Per il noto principio risalente a Newton, ad ogni azione corrisponde una reazione eguale e contraria.

## 4.58 REAZIONE VINCOLARE



I [vincoli](#)<sup>[348]</sup> fanno sì che una struttura non si muova anche se soggetta a carichi esterni ad essa. Per poter esercitare questo compito i vincoli reagiscono alle azioni comunicate loro dalla struttura per mezzo di [reazioni](#)<sup>[339]</sup> ad esse eguali e contrarie: le reazioni vincolari. Le reazioni vincolari sono sempre tali da garantire l'equilibrio e la *congruenza*, vale a dire il rispetto delle condizioni cinematiche espresse dal vincolo. In sistemi [isostatici](#)<sup>[327]</sup> le reazioni vincolari possono essere trovate grazie alle sole equazioni di equilibrio. In sistemi [iperstatici](#)<sup>[326]</sup> è invece necessario conoscere come il corpo si deforma.

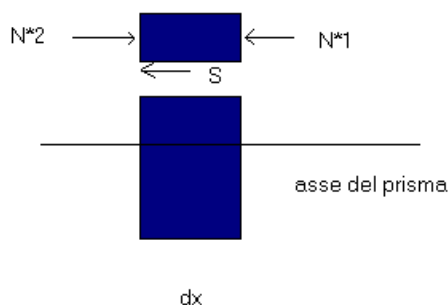
## 4.59 RESA ISOSTATICA

Per risolvere una struttura con il [plv](#)<sup>[337]</sup>, è necessario [isostaticizzare](#)<sup>[327]</sup> la struttura [reale](#)<sup>[339]</sup>, se questa è [iperstatica](#)<sup>[326]</sup>. In CESCO è detta *resa isostatica*, la struttura reale isostaticizzata con tutti i carichi applicati e con le reazioni vincolari incognite chiaramente evidenziate.

## 4.60 SCORRIMENTO

Sia dato un tronco di trave con le due facce “1” e “2” distanti  $dx$ , soggetto a due [momenti flettenti](#)<sup>[335]</sup> diversi sulle due facce. Ciascuno di questi momenti flettenti genera ([flessione](#)<sup>[322]</sup>) delle tensioni normali sulla faccia alla quale è applicato. Immaginando di dividere il tronchetto e perciò la sezione in due parti (*affettando* il tronchetto con un piano parallelo all'asse del prisma), e considerata una delle due parti in cui si è diviso il tronchetto, si vede che la somma delle tensioni normali sulla faccia “1”,  $N1^*$ , è diversa dalla somma delle tensioni normali sulla faccia “2”,  $N2^*$ . Se non insorgessero tensioni tangenziali parallele all'asse del prisma, agenti sul piano che ha tagliato il tronchetto, e con risultante  $S = N2^* - N1^*$ ,

una parte del tronchetto slitterebbe, *scorrerebbe*, rispetto all'altra.



Ciò accade se il momento flettente è diverso sulle due sezioni "1" e "2". Se invece il momento è eguale sulle due facce, uguale è la somma delle tensioni normali sulle due facce,  $N1^*=N2^*$ , e nullo lo scorrimento  $S$ .

Allora si intuisce che lo scorrimento è legato alla variazione di momento,  $dM$ .

Una semplice manifestazione dello scorrimento si ha prendendo un libro e flettendolo: le pagine (le fibre) scorrono le une sulle altre ed il libro si piega facilmente. Se invece si incollano le pagine del libro queste scorrono con molta maggior fatica, e l'inflessione è resa assai più difficile.

Le tensioni tangenziali che si sviluppano per generare la forza che si oppone allo scorrimento  $S$ , sono parenti molto strette delle tensioni tangenziali che si generano su ciascuna faccia a causa del [taglio](#)<sup>[345]</sup>.

In effetti si può vedere che

$$dM = T \, dx$$

essendo  $dx$  la lunghezza di un tratto di trave infinitesimo,  $dM$  la variazione di momento tra le due facce distanti  $dx$ . Quindi la stessa variazione di momento  $dM$  che è responsabile dello scorrimento, è anche responsabile del taglio.

Il taglio è a sua volta responsabile della insorgenza di tensioni tangenziali sulla sezione ( $t$ ). Per equilibrio si vede che tali tensioni tangenziali dovute al taglio  $T$  sulla corda staccata dal piano con cui si è affettato il tronchetto, sono eguali a quelle che impediscono lo scorrimento e che generano la forza  $S$ .

Non esiste un modo unico semplice per valutare le tensioni tangenziali da punto a punto, in quanto la loro distribuzione, la *forma* della loro distribuzione, varia fortemente da sezione a sezione. Generalmente si usa in ambito tecnico una formula che dà il valore medio della tensione tangenziale su una corda, la formula di Jouravskij:

$$\tau = \frac{TS^*}{bJ}$$

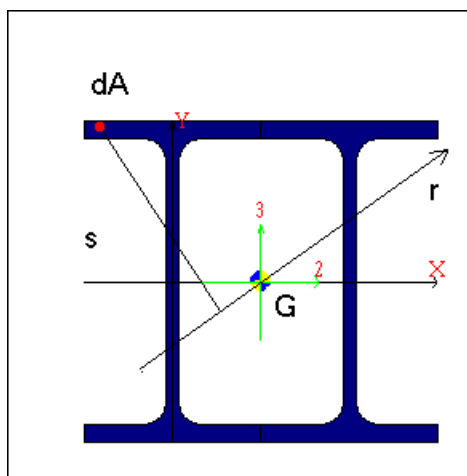
Questa formula è ottenuta sviluppando la relazione  $S = N2^* - N1^*$ , e immaginando costante la  $t$  lungo la corda ( $t$  media).

Per una compiuta illustrazione della formula si rimanda ai testi di teoria.

Per la valutazione del [lavoro di deformazione](#)<sup>[320]</sup>, è possibile definire lo *scorrimento medio* sulla sezione,  $dt$ , facendo uso del [fattore di taglio](#)  $c$ <sup>[321]</sup>  $g_l$   $\chi_i$ , nel seguente modo:

$$dt = cdx/GA$$

## 4.61 SEZIONE



Per sezione si intende la forma assunta da un corpo prismatico quando esso viene tagliato da un piano normale al suo asse. La forma e le dimensioni della sezione determinano le sue proprietà statiche, le quali, a loro volta, influiscono direttamente sugli spostamenti subiti dal prisma e, nel caso di struttura iperstatica ([iperstaticità](#)<sup>[326]</sup>) sulle azioni interne presenti nel prisma.

In CESCO il concetto di sezione è diverso da quello di [tipologia](#)<sup>[346]</sup>.

Le sezioni si applicano con il comando [Applica Sezione](#)<sup>[181]</sup>, al quale si rimanda per una lista delle sezioni disponibili.

Ogni sezione ha una serie di caratteristiche che le sono proprie e che possono essere calcolate.

Nella figura si vede un dialogo nel quale vengono forniti i dati di calcolo relativi ad una sezione. I dati che si trovano a sinistra sono le quote che individuano la sezione, i dati che si trovano a destra sono invece i dati di calcolo. Mentre le quote da dare variano a seconda della forma della sezione, i dati di calcolo sono sempre gli stessi. Qui di seguito viene chiarito il significato dei simboli:

	A	area della sezione
J2		<a href="#">momento di inerzia</a> <sup>[334]</sup> intorno all' <a href="#">asse principale</a> <sup>[308]</sup> 2
J3		<a href="#">momento di inerzia</a> <sup>[334]</sup> intorno all' <a href="#">asse principale</a> <sup>[308]</sup> 3
Jt		<a href="#">momento di inerzia</a> <sup>[334]</sup> torsionale
i2		<a href="#">raggio di inerzia</a> <sup>[339]</sup> associato a J2
i3		<a href="#">raggio di inerzia</a> <sup>[339]</sup> associato a J3
it		<a href="#">raggio di inerzia</a> <sup>[339]</sup> associato a Jt
W2		<a href="#">modulo di resistenza</a> <sup>[333]</sup> per flessioni intorno all'asse 2
W3		<a href="#">modulo di resistenza</a> <sup>[333]</sup> per flessioni intorno all'asse 3
Wpl2		<a href="#">modulo plastico</a> <sup>[333]</sup> per flessioni intorno all'asse 2
Wpl3		<a href="#">modulo plastico</a> <sup>[333]</sup> per flessioni intorno all'asse 3
U		superficie di verniciatura per unità di lunghezza
X2		<a href="#">fattore di taglio</a> <sup>[321]</sup> per taglio secondo l'asse 2
X3		<a href="#">fattore di taglio</a> <sup>[321]</sup> per taglio secondo l'asse 3

Poiché CESCO è un programma che tratta solo i problemi piani, si tenga presente che i dati di calcolo A, J, X, W sono i seguenti:

$$\begin{aligned} A &= A \\ J &= J2 \\ W &= W2 \end{aligned}$$

$$X=X3$$

## 4.62 SFORZO

In termini maccheronici si può definire sforzo la forza per unità di superficie presa da ogni singola particella di corpo solido. Una definizione più rigorosa usa il concetto di limite, ed esula dagli scopi di questo glossario: qui basterà dire quanto segue, rimandando ai testi di teoria per una trattazione esaustiva.

Lo sforzo in un dato punto varia al variare della giacitura della superficie sulla quale esso viene letto. Se si conosce lo sforzo su tre facce tra loro perpendicolari allora è noto lo sforzo su una faccia comunque inclinata. Pertanto si definisce tensore dello sforzo l'insieme di tre sforzi su tre facce perpendicolari. Noto il tensore è possibile calcolare lo stato di sforzo su qualunque faccia, comunque inclinata, passante per il punto in esame.

Lo sforzo su una faccia ha sempre una componente normale alla faccia, detto sforzo normale ed indicato generalmente con  $s$ , ed una componente tangente la faccia, detto sforzo tangenziale ed indicato generalmente con  $t$ .

Al variare della giacitura della faccia di lettura variano sia  $s$  che  $t$ . Si può dimostrare che esistono tre facce tra loro ortogonali per le quali la  $t$  si annulla e la  $s$  assume valori di massimo e minimo. I valori di  $s$  corrispondenti sono detti sforzi principali ( $s_I$ ,  $s_{II}$ ,  $s_{III}$ ).

L'unità di misura dello sforzo è la forza per unità di superficie (N/mm<sup>2</sup>, Kg/cm<sup>2</sup>, ecc.).

Gli sforzi misurano il cimento al quale è sottoposto il materiale prescindendo dal contesto strutturale nel quale esso si trova: dato uno stato di sforzo ed un [criterio di resistenza](#)<sup>[316]</sup> è possibile dire se lo sforzo può essere sopportato dal materiale anche senza sapere nulla sul contesto nel quale il punto sotto analisi si trova.

Nell'ambito della teoria della elasticità gli sforzi sono legati alle [deformazioni](#)<sup>[317]</sup> da una relazione lineare. Più in generale si chiama legame costitutivo il legame esistente tra sforzi e deformazioni.

## 4.63 SNELLEZZA

Si definisce snellezza il rapporto tra la [lunghezza di libera inflessione](#)<sup>[330]</sup> di un elemento compresso ed il suo [raggio di inerzia](#)<sup>[339]</sup>. La snellezza è un numero puro ed ha di norma valori compresi tra 20 e 200, dipendentemente dall'importanza dell'elemento compresso e dall'entità del carico che è chiamato a sopportare.

La snellezza è un importantissimo indicatore dell'attitudine di un elemento a sbandare sotto carichi di compressione ed è pertanto un fondamentale parametro di progetto.

## 4.64 STATICA

Si chiama statica la disciplina che studia sotto quali condizioni un corpo od un sistema di corpi è in equilibrio sotto l'azione di un insieme di [forze](#)<sup>[324]</sup> o [momenti](#)<sup>[334]</sup> dati. E' inoltre compito della statica la



determinazione dello stato di sollecitazione all'interno di questi corpi.

## 4.65 SVINCOLO

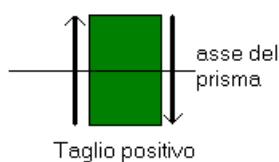
Ogni medaglia possiede due facce: così come il [vincolo](#)<sup>[348]</sup> è una limitazione alla possibilità di muoversi uno svincolo è una limitazione alla *incapacità* di muoversi. Due aste incastrate possono così essere svincolate alla rotazione, se si mette tra loro una cerniera, alla sola traslazione in una direzione, se si mette un pattino, alla traslazione ed alla rotazione se si mette tra loro un carrello.

Quando si aggiungono [rami](#)<sup>[339]</sup> questi vengono tra loro incastrati. Se il vincolo mutuo è più debole dell'incastro, allora occorre introdurre degli svincoli rispetto all'[incastro](#)<sup>[324]</sup>, il che si fa mettendo dei vincoli interni di minor [molteplicità](#)<sup>[348]</sup>. Per questa ragione si è scelto di porre sotto il nome di svincoli l'insieme dei comandi che fanno modificare i vincoli interni: perché il programma parte da una situazione di pieno incastro, che va poi degradata.

## 4.66 TAGLIO

Sia dato un prisma di De Saint Venant soggetto ad uno stato di sforzo, e si tagli il prisma in un punto generico. Le azioni interne che le due facce del prisma si scambiano, eguali e contrarie sulle due facce, sono riducibili ad una coppia (momento flettente), una forza normale alla faccia (azione assiale) ed una forza, detta *taglio*, giacente sulla faccia.

La presenza del taglio è legata al fatto che il momento flettente varia lungo l'asse del prisma, così che si genera uno *scorrimento* delle fibre ([scorrimento](#)<sup>[340]</sup>).



CESCO assume positivo il taglio orario nei diagrammi del taglio, secondo la convenzione indicata in figura.

## 4.67 TERRA

Nell'analisi cinematica si usa spesso il termine "terra" per indicare un sistema di riferimento rispetto al quale si valuta il moto.

E' importante capire che "terra" può essere qualsiasi cosa, persino un corpo in movimento. Quello che interessa infatti è per definizione il moto del sistema in esame (le aste degli esercizi, ad esempio) rispetto al riferimento, non il moto del riferimento in sé. Poiché ciò che l'esperienza fa più

frequentemente ritenere fisso è il suolo, il sistema di riferimento è la “terra” (che però, non è affatto ferma).

Si immagini il tavolino di uno scompartimento ferroviario. Esso è incastrato al vagone, e quindi incastrato “a terra” se si esamina il suo moto rispetto allo scompartimento: un signore seduto nello scompartimento dichiarerà che il tavolino è incastrato, tanto è vero che ci ha appoggiato sopra la sua bibita. Ciò non toglie che un altro osservatore, seduto in panchina in una stazione di transito, possa dichiarare che il tavolino sfreccia, insieme al vagone al quale è attaccato, a cento chilometri all’ora. Se si osserva il moto rispetto ad un sistema di riferimento, bisogna “salire” su quel sistema di riferimento e descrivere ciò che si vede in modo coerente.

**“Terra” è dunque ciò che noi conveniamo di assumere come riferimento fisso in un dato momento.**

## 4.68 TIPOLOGIA

Per tipologia si intende un insieme di proprietà associate ad un tipo sezionale. Queste proprietà consentono al programma di stabilire la legge con la quale certe tipiche grandezze di calcolo variano in funzione dell’altezza.

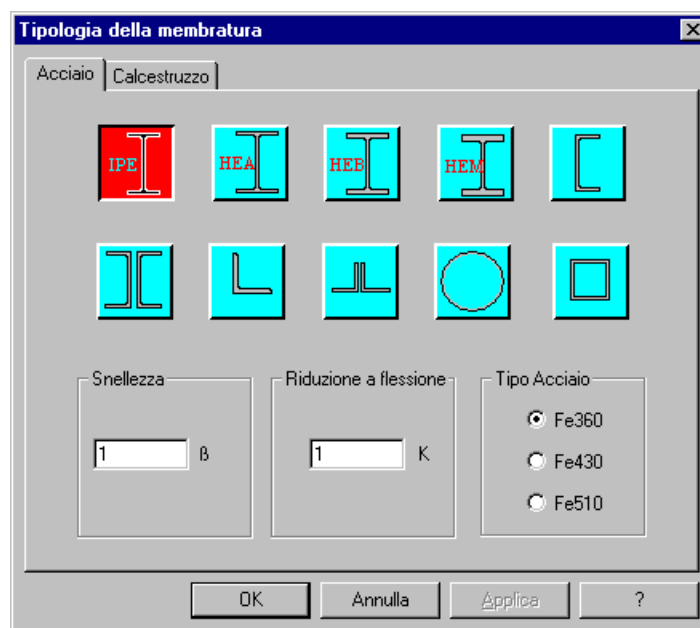
In termini più semplici si può dire che una tipologia è una particolare forma sezionale sulla quale sono state fatte, da parte del programma, certe ipotesi di regolarità.

La differenza tra una [sezione](#)<sup>[342]</sup> ed una tipologia è che il calcolo delle caratteristiche di una sezione è fatto sulla base delle quote che individuano la sezione stessa, mentre il calcolo delle caratteristiche di una certa tipologia sezionale, data una certa altezza, dipende dalle ipotesi aggiuntive che sono state fatte su quella tipologia.

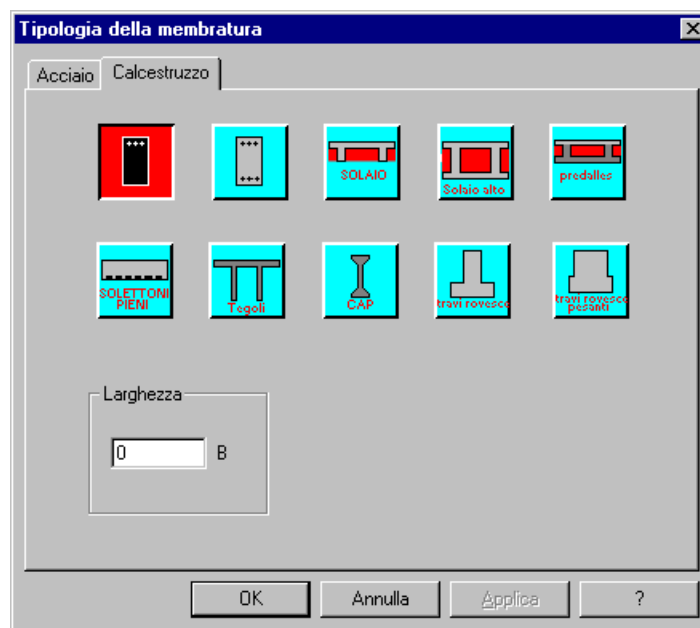
Una tipologia consente, fissata una altezza, di determinare tutti i parametri di calcolo, ma non consente di eseguire le verifiche, giacchè assegnare una tipologia al fine di valutare le dimensioni probabili ([predimensionamento](#)<sup>[338]</sup>) non significa scegliere una vera e propria sezione, bensì soltanto avere un suggerimento su quelle che probabilmente saranno le dimensioni di una sezione: la scelta di tali dimensioni e l’effettiva attribuzione di una sezione alle membrature è un passo ulteriore che spetta a chi fa il progetto.

Diciamo subito che le ipotesi fatte coprono il campo ingegneristicamente realistico e significativo che possono assumere i valori di progetto, cosicchè l’impiego delle tipologie è ingegneristicamente accettabile. Le ipotesi fatte, delle quali qui verrà dato solo qualche cenno, danno luogo a stime realistiche sulle probabili dimensioni necessarie, dato il tipo in esame.

Le tipologie attualmente previste sono indicate nei bottoni presenti nelle seguenti immagini:



**Tipologie disponibili per sezioni in acciaio**



**Tipologie disponibili per sezioni in cemento armato**

- Gli angolari sono a lati eguali;
- I tubi sono quadrati;

Per le tipologie in c.a. è necessario specificare la larghezza. Per le tipologie in acciaio è necessario specificare il materiale e il coefficiente di libera inflessione ([snellezza](#)<sup>[344]</sup>1p3tcy).

Applicando le tipologie è possibile ottenere tutti i possibili risultati, coerentemente con le scelte fatte, ad eccezione degli [sforzi](#)<sup>[344]</sup>congub3w5 sulla sezione ([Verifica ramo](#)<sup>[261]</sup>caovqa).

Si ricorda che l'assegnazione di una tipologia comporta anche l'assegnazione di una altezza iniziale di tentativo del tutto arbitraria, pari a 200mm. Il valore stimato per l'altezza dell'elemento si ottiene chiedendo al programma di stimarlo con l'apposito comando ([Esegui!](#)<sup>[245]</sup>conal7l.6).

Non a tutte le tipologie disponibili corrispondono nel programma veri e propri tipi sezionali. Ciò perché il concetto di verifica è più stringente di quello di [predimensionamento](#)<sup>[338]</sup>m8i6nm, e coprire tutte le tipologie con altrettante verifiche è scopo che esula dagli obiettivi di questo software.

## 4.69 UNITA' DI MISURA

Cosa sia l'unità di misura è, riteniamo, scontato: è un campione fisso ed immutabile nel tempo e nello spazio rispetto al quale vengono misurate grandezze dimensionalmente omogenee. Meno scontato è come CESCO tratti l'unità di misura nelle varie [modalità](#)<sup>[332]</sup>. Si veda:

[Unità di misura](#)<sup>[33]</sup>

## 4.70 VINCOLO

Un vincolo è un dispositivo atto a limitare in tutto o in parte il movimento di un corpo rispetto ad un altro corpo o rispetto ad un sistema di riferimento. Se si esaminano le varie possibilità di movimento di un corpo rigido nel piano, e si idealizza l'azione del vincolo come capace impedire alcuni particolari movimenti (la traslazione o la rotazione, o entrambe) si arriva a definire i vincoli comunemente usati (vincoli ideali):

Movimento impedito	Molteplicità	Vincolo ideale corrispondente
Una traslazione		<a href="#">CARRELLO</a> <sup>[312]</sup>
Una rotazione		<a href="#">DOPPIO PATTINO</a> <sup>[337]</sup>
Due traslazioni		<a href="#">CERNIERA</a> <sup>[313]</sup>
Una rotazione ed una traslazione		<a href="#">PATTINO</a> <sup>[336]</sup>
Una rotazione ed una traslazione		<a href="#">MANICOTTO</a> <sup>[330]</sup>
Una rotazione e due traslazioni		<a href="#">INCASTRO</a> <sup>[324]</sup>

Se il vincolo non limita la capacità di muoversi del corpo rispetto al sistema di riferimento (["terra"](#)<sup>[345]</sup> con560fi0), ma limita il movimento relativo di un corpo rispetto ad un altro, si parla di *vincolo relativo*.

Quindi è possibile definire anche i vincoli relativi ideali, in analogia a quanto visto per i vincoli “esterni”.

Per esempio, la ruota di una bicicletta è incernierata al telaio, e da esso non può staccarsi, ma è libera di muoversi, insieme alla bicicletta, ovunque.

# Indice

## - A -

acciaio 241  
analisi (modalità) 165  
analisi a spettro di risposta 155, 271, 272  
analisi cinematica 237, 238, 239, 308  
analisi modale 151, 268, 269, 270, 271  
angolo 197  
anteprima di stampa 162  
apertura file 161  
archivio 187  
arco 195, 196  
assi principali 308  
asta 309  
aste 238  
avvertenze 18  
azione 215  
azione assiale 251, 309  
azioni 39, 207

## - B -

baricentro 310  
barra c.a. 168  
barra carichi 168  
barra degli svincoli 168  
barra dei vincoli 167  
barra delle forze 167  
barra di stato 165  
barra mesh 167  
barra plv 169  
barra principale 165  
Barre 310

## - C -

calcestruzzo 242  
calcestruzzo armato 53, 274, 284, 285, 288, 290, 297, 298, 299, 300, 301, 302  
carichi lineari 202, 203  
carico critico 311  
carico distribuito 200, 201, 202, 312  
carico termico 203, 204  
carrello 222, 223, 224

casi e combinazioni 53  
caso di carico 230, 231, 232, 233, 234  
cedimento 205, 206, 313  
cerniera 218, 313  
cesco 304  
cinematica  
    analisi 45  
coefficiente di libera inflessione 314  
coefficienti di libera inflessione 189, 190  
colori 170  
comandi 31  
combinazione 234, 235  
cominciare 43  
configurazione 161  
congruenza 315  
congruenza (modalità) 165  
coordinate 193  
coppia 216  
corpo rigido 315  
creazione file 161  
criteri di resistenza 316  
criterio di progetto 184

## - D -

deformata 51, 258, 260, 316  
deformata interna 259  
deformazione 317  
diagrammi 50, 317  
dilatazione termica (coefficiente di) 314  
dimensioni 171

## - E -

elementi 191, 192, 197, 198, 199  
elongazione 319  
energia di deformazione 261, 320  
equazione diagrammi 257  
equazioni cardinali della statica 320  
equilibrio (modalità) 165  
estrazione 184

## - F -

fattore di taglio 321  
filtri 187  
filtro 184  
fittizia (struttura) 321

flessione 322  
font 171  
formato 172, 173  
forza 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 324

## - G -

gravità 190, 200  
griglia 169, 170  
gruppo 184  
guida  
    come usare la 28

## - I -

immagini 162, 163  
incastro 312, 324  
inclusione 178  
incognita iperstatica 325  
informazioni 250, 258  
ingombro 173, 325  
interfaccia 30, 46  
interrogazioni 174, 175, 176, 177, 178  
Introduzione 19, 28, 306  
involuppo 256  
iperstaticità 326  
ipostaticità 326  
isostaticità 327  
isostaticizzazione 327  
iterazione 245

## - L -

labilità 328  
lavoro 329  
legno 243  
licenza d'uso 16  
limiti 184  
lunghezza di libera inflessione 330

## - M -

manicotto 219, 330  
mappa 257  
masse 174, 235, 236, 237  
materiale 40, 180, 188  
Membratura 331

metodo w 332  
modalità 32, 48, 332  
modalità di input 194, 195  
modulo di resistenza 333  
modulo plastico 333  
momento 252  
momento di inerzia 334  
momento flettente 335  
moto rigido 335  
multipiano 180

## - N -

nascondere barre 169  
nodi 191  
nodo 336  
nome 184  
nome utente 162  
numerazione 173  
numero sezioni 256

## - O -

orientazione 190

## - P -

pattino 219, 220, 221, 336  
Pattino doppio 337  
plv 36, 246, 247, 248, 249, 250  
predimensionamento 239, 244, 245, 338  
predimensionamento (modalità) 164  
principale (struttura) 338

## - R -

raggio di inerzia 339  
ramo 339  
reale (struttura) 339  
reazione 339  
reazione vincolare 340  
reazioni vincolari 46, 261  
redo 180  
refresh 178  
resa isostatica (struttura) 340  
ringraziamenti 17  
riquadri 165, 166, 167

riquadro 166

## - S -

salva in 161  
salvataggio 161  
scala deformata 261  
scala diagrammi 256, 257  
scala spostamenti 261  
schema 44  
scorrimento 184, 340  
selezione 179, 180  
setup stampante 162  
sezione 41, 181, 183, 189, 342  
sforzi 50, 261, 264  
sforzo 344  
sforzo assiale 252  
sforzo principale massimo 254  
sforzo principale minimo 255  
snellezza 344  
soluzione 251  
sovrapposizioni 52  
stampa 49, 161  
stampa numeri 257  
statica 344  
suddivisione 197  
svincoli 45  
svincolo 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 345

## - T -

tabulato 53, 163  
taglio 252, 345  
Terra 345  
tipo 184  
Tipologia 346  
titolo 162  
travi reticolari 180

## - U -

undo 180  
unità 33, 191  
unità di misura 348  
utente 162

## - V -

verifica 262  
verifiche 65, 265, 266, 267, 268  
vincoli 43  
Vincolo 348  
vincolo nullo 217

## - Z -

zoom 179







<http://www.castaliaweb.com>  
Via Pinturicchio, 24  
20133 Milano  
[staff@castaliaweb.com](mailto:staff@castaliaweb.com)  
Copyright 1995-2015 - Castalia srl