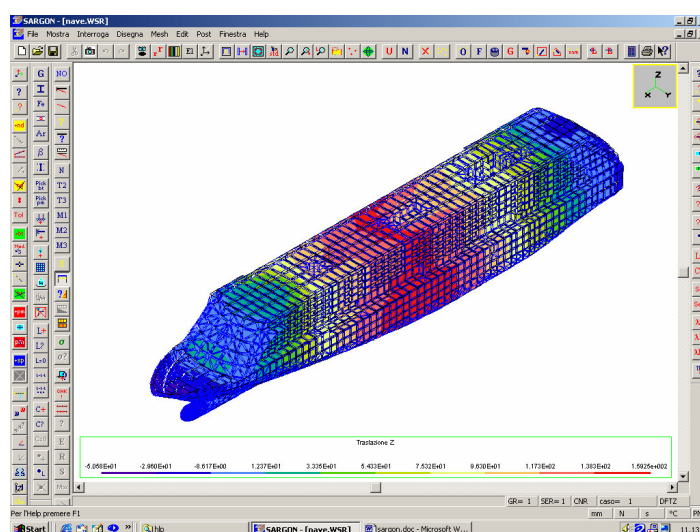




GUIDA INTRODUTTIVA



<http://www.castaliaweb.com>

Via Pinturicchio, 24

20133 Milano

staff@castaliaweb.com

Copyright © 1991-2008 – Castalia srl

Rev. 14.0 del 3-3-2008 aggiornato alla versione 8.50

1. INTRODUZIONE

1.1. Licenza d'uso

CONTRATTO DI CONCESSIONE IN USO

SARGON

Si conviene quanto segue:

Castalia s.r.l. dà in uso al Concessionario n. 1 copia del programma di elaborazione dati SARGON, numero di serie, nel seguito denominato Programma.

Il Programma è composto dai supporti magnetici (floppy disk) e da una chiave di protezione. La concessione è regolata dalle seguenti condizioni:

- 1) Castalia s.r.l. ha e mantiene in via esclusiva i diritti di proprietà e copyright sul programma, sul manuale e su tutto il materiale scritto di accompagnamento al Programma. Il Programma è tutelato dalle leggi sul copyright dell'Italia, dalle disposizioni dei trattati internazionali e da tutte le leggi nazionali applicabili.
- 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 concesso in qualunque forma o 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, al manuale, alla chiave di protezione e a tutta la documentazione annessa, senza diritto a rimborso alcuno; inoltre viene sin da ora stabilita una penale pari a venti volte il prezzo di listino corrente del Programma nella configurazione in possesso del Concessionario, come risultante da regolare fattura, salvo il risarcimento degli ulteriori danni e le eventuali azioni penali.
- 7) Castalia s.r.l., nonostante che il Programma sia stato sottoposto ad accurati controlli, declina 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 s.r.l., per un periodo di 12 mesi a decorrere dalla data di consegna del Programma al Concessionario, fornirà, dietro di volta in volta espressa richiesta di questi, le nuove versioni del Programma via via commercializzate, limitatamente alle parti e alle opzioni in possesso del Concessionario e risultanti da regolare fattura. Tale fornitura avverrà a titolo gratuito, fatte salve le spese di spedizione, trasporto e consegna, che saranno a carico del Concessionario.
- 9) La mancata restituzione a Castalia s.r.l. di una copia controfirmata del presente contratto entro 15 giorni dalla consegna del Programma, comporterà il decadimento del Concessionario da qualunque diritto di assistenza, garanzia e aggiornamento.
- 10) Foro competente per qualsiasi controversia è quello di Novara.

Novara,

CONTRATTO DI CONCESSIONE IN USO

POLISAR

Si conviene quanto segue:

Castalia s.r.l. dà in uso al Concessionario n. 1 copia del pacchetto di programmi di elaborazione dati POLISAR 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 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 di Castalia srl 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., nonostante che il Programma sia stato sottoposto ad accurati controlli, declina 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.

CONTRATTO DI CONCESSIONE IN USO

SARGON LITE

Si conviene quanto segue:

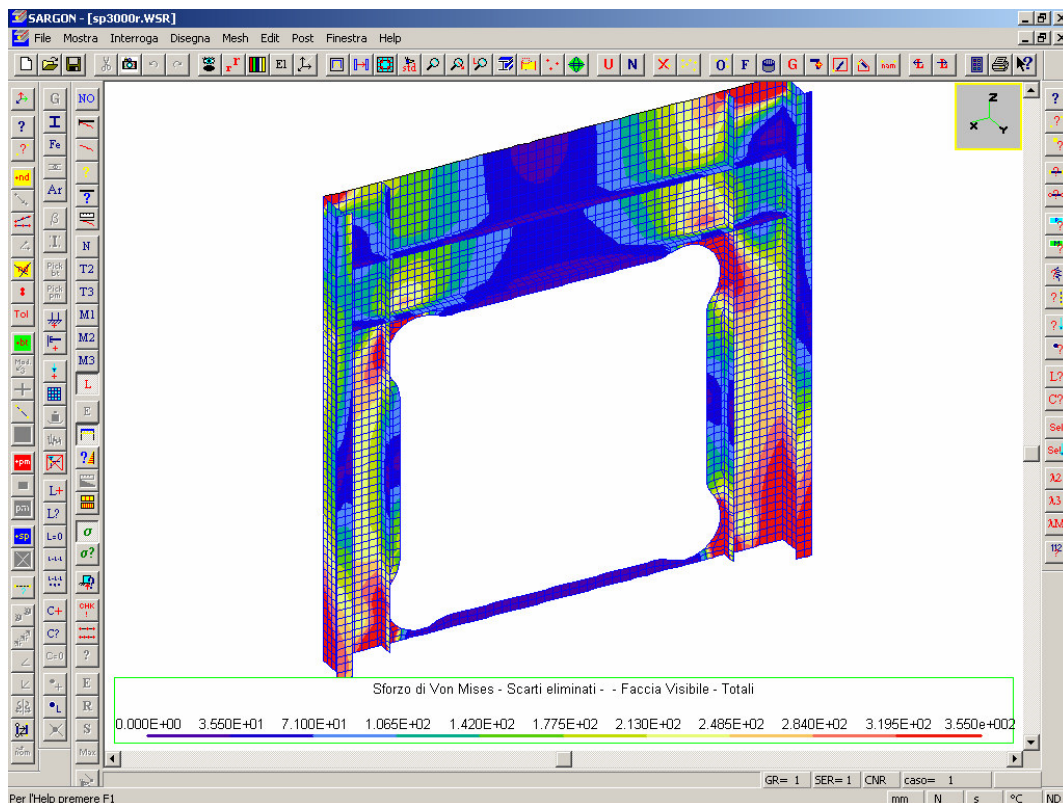
Castalia s.r.l. dà in uso al Concessionario n. 1 copia del pacchetto di programmi di elaborazione dati SARGON LITE nel seguito denominato Programma.

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 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 di Castalia srl 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., nonostante che il Programma sia stato sottoposto ad accurati controlli, declina 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. SARGON: A COSA SERVE, A CHI E' DIRETTO



Finestratura lobata di una nave da crociera: sforzi di Von Mises (Castalia srl)

Sargon è un programma di calcolo di strutture prevalentemente intelaiate, pur disponendo degli elementi finiti necessari per le piastre sottili, le piastre spesse, le membrane e gli elementi solidi. In quest'ambito Sargon si propone di essere un punto valido strumento per quanti debbano progettare o verificare strutture. Sargon non vuole sovrapporsi ai programmi *general purpose*: al contrario si propone di essere uno strumento più specializzato nel solo ambito delle strutture intelaiate. Relativamente al post processing classico (deformate, diagrammi, involuipi) Sargon è dotato di strumenti più agili e potenti rispetto a quelli dei programmi *general purpose*, ed è pertanto preferito rispetto a questi, da chi abbia a studiare strutture intelaiate.

Sargon è pertanto diretto in primo luogo ai progettisti, alle società di engineering ed alle imprese di costruzione.



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

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

Un particolare lavoro di approfondimento è stato dedicato alle strutture in acciaio: per esse sono disponibili sei verificatori automatici, secondo sei diverse normative: CNR 10011TA/SL, CNR10022, AISC-ASD, EC3, BS5950.

Questo lavoro ha reso Sargon il miglior programma italiano oggi esistente per le strutture in acciaio. I verificatori di Sargon sono stati usati per le più disparate strutture, da strutture di tipo navale a strutture impiegate nelle centrali elettriche, da tralicci ad edifici multipiano, strutture civili o industriali, in Italia ed all'Estero.

Con Sargon è possibile fare analisi statiche, modali a spettro di risposta e di risposta in frequenza, nonché analisi nonlineari con nonlinearità geometrica.

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

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

1.3. POLISAR

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

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

Per ragioni didattiche POLISAR non fa le verifiche in automatico. Allo stesso modo non è disponibile l'archivio con le 7000 sezioni: le sezioni vengono descritte scrivendone le caratteristiche statiche.

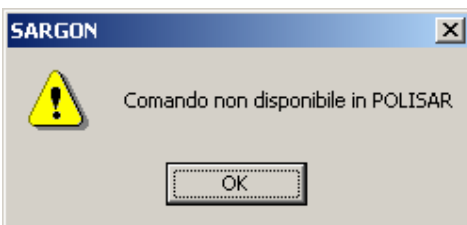
Sono però disponibili la deformata, i diagrammi, gli involuipi dei diagrammi, le reazioni vincolari, le mappe di snellezza. E' disponibile la stampa e l'anteprima di stampa. Si possono creare tabulati in italiano o in inglese. L'unità di misura è variabile.

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

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

A partire dall'anno 2001, POLISAR è entrato a far parte di un pacchetto di applicazioni per l'architettura e l'ingegneria, denominato E.Str.A.D.A. (Education to Structural Assisted Design and Analysis), realizzato in collaborazione dal Politecnico di Milano (tramite il METID, Metodi E Tecnologie Innovative per la Didattica) e da Castalia s.r.l.. Ne sono autori il Prof. Ing. Giulio Ballio e l'ing. Paolo Rugarli. Per informazioni si visiti il sito di Castalia <http://www.castaliaweb.com>, o quello del Multimedia Academic Press <http://www.mapress.org>.

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



1.4. STRUTTURA DEL PROGRAMMA

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



- scrittura dei file di input (moduli SINCLEV.EXE, SINLEDA.EXE, SINSSAP.EXE, SINSAP80.EXE, SINSAP90.EXE, SINUNUV.EXE, WINSTRUDL.EXE);
- lettura dei file di output dei solutori e creazione dei database con sforzi e deformazioni (SDBSSAP.EXE, SDBSAP80.EXE, SDBSAP90.EXE, SDBUNIV.EXE, WDBSTRUDL.EXE, SDBSAP2K.EXE);
- analisi statiche (WCLEVER.EXE);
- analisi modali (WLEDA.EXE);
- analisi a spettro di risposta (WSPECTRM.EXE);
- analisi statiche nonlineari (SOCLEVER.EXE);
- analisi di risposta in frequenza (FREQUENCY.EXE)
- stampa del tabulato (WPRINT.EXE);
- verifiche con le norme CNR 10011 (WCNR.EXE, WPRINTC.EXE);
- verifiche con le norme CNR 10011 SL(WCNRSLU.EXE, WPRINTCSLU.EXE);
- verifiche con le norme CNR 10011-10022 TA(WCNR1122.EXE, WPRINTC.EXE);
- verifiche con le norme AISC (WAISC.EXE, WPRINTA.EXE);
- verifiche con le norme EC3 (WEURO.EXE, WPRINTE.EXE).
- verifiche con le norme BS (BS.DLL, WPRINTB.EXE)
- manutenzione degli archivi di sezioni e materiali (SAMBA.EXE)
- caricamento dei risultati da un modello figlio a uno padre (MERGEDBASE.EXE)
- programma di verifica bontà dei risultati (CHECKSOLVERS.EXE)

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

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

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

In futuro questa caratteristica sarà mantenuta ed ampliata.

1.5. ITINERARIO DI LAVORO TIPICO

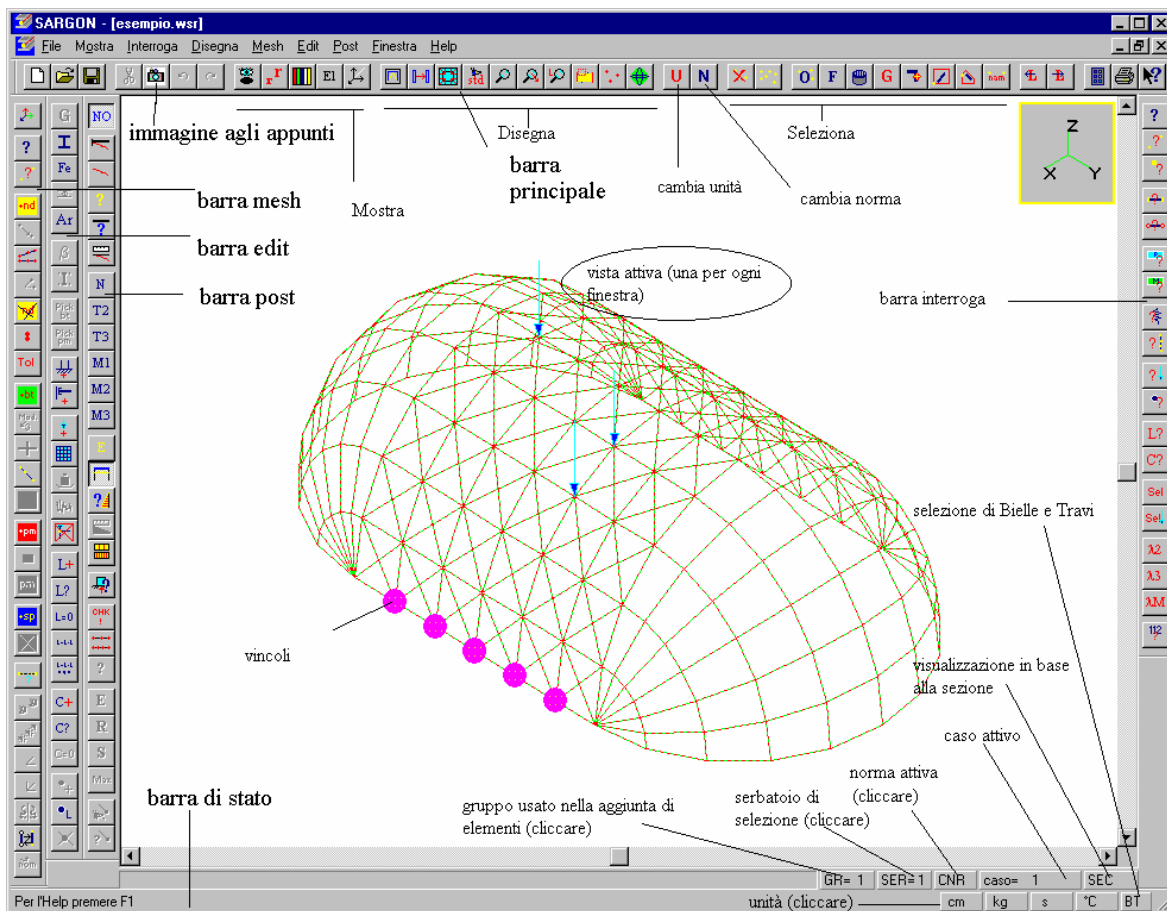
Come si lavora con Sargon? Cosa occorre fare? Occorre fare le seguenti cose:

- 1 - Creare la mesh della struttura
- 2 - Attribuire vincoli e svincoli
- 3 - Attribuire materiali e proprietà
- 4 - Aggiungere i casi di carico e le azioni pertinenti
- 5 - Aggiungere le combinazioni
- 6 - Eseguire il solving
- 7 - post processare i dati eseguendo lo studio della spostata, dei diagrammi, delle reazioni vincolari
- 8 - Eseguire le verifiche e studiarne i risultati
- 9 - Produrre gli elaborati di output, immagini e tabulati

Se si devono eseguire anche i calcoli sismici occorrerà:

- 10 - Aggiungere le masse
- 11 - Impostare ed eseguire l'analisi modale
- 12 - Impostare ed eseguire l'analisi a spettro di risposta

1.6. L'INTERFACCIA GRAFICA



L'interfaccia grafica di Sargon è molto evoluta, ed una sua dettagliata descrizione complessa.

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

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

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

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

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

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

Le barre dei comandi possono essere visibili oppure nascoste.

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

Le altre barre sono:

la barra “disegna”

la barra “mesh”

la barra “interroga”

la barra “edit”

la barra “post”

la barra “post2”

ognuna delle quali raggruppa comandi presi dal corrispondente menù.

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

Ogni vista rappresenta in modo convenzionale il modello. Gli elementi monodimensionali ed i superelementi vengono mostrati come segmenti congiungenti i nodi. Gli elementi bidimensionali con una poligonale riempita opportunamente. Le molle sono rappresentate da una linea seghettata. I nodi si vedono solo se sono selezionati. In tal caso si vede un quadratino giallo (o del colore scelto dall'utente).

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

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

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

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

Parecchi comandi fanno vedere un cerchio colorato in rosso che si muove col movimento del mouse. Talvolta questo circoletto compare due volte anziché 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).

1.7. FUNZIONAMENTO DEI COMANDI

1.7.1. COMANDI MODALI E NON MODALI

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

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

Alla seconda categoria appartengono comandi che attendono la decisione dell'utente (tutte le interrogazioni, le selezioni, ecc.). Una importante decisione riguarda la fine del comando stesso. Alcuni comandi si aspettano certe informazioni e terminano quando le ricevono (ad esempio in Copia il comando aspetta che l'utente scelga due nodi), altri terminano solo quando l'utente decide di smettere (tutte le interrogazioni sui nodi, le travi, bielle, ecc).

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

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

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

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

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

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

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

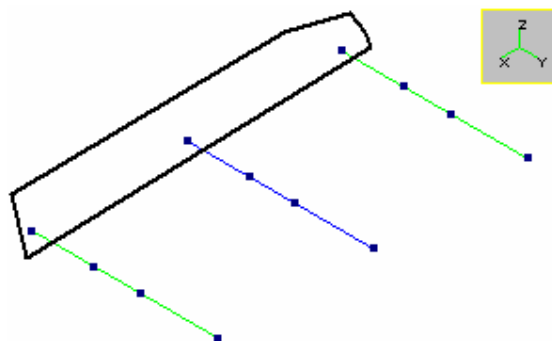
1.7.2. DARE UN BOX

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

Con la tastiera occorre premere due volte “invio”. Una prima volta per fissare il primo punto, una seconda volta per fissare il secondo punto. Le freccette (alto, basso, destra, sinistra) consentono di variare la dimensione del box, e corrispondono ai quattro movimenti del mouse. Il tasto “ESC” da interrompere il comando.

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

1.7.3. DARE UNA POLIGONALE



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

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

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

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

2. Come...

2.1. COME AVERE AIUTO

In Sargon l'aiuto è disponibile con il comando Indice del menù Help. Tuttavia sono disponibili varie altre forme di aiuto:

1) Tooltip

Muovendo il mouse in prossimità di un bottone di una qualsiasi delle barre degli strumenti compare una finestrella che dice qual'è quel comando.

2) Barra di stato

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

3) Aiuto sensibile al contesto

Premendo il tasto F1 quando è aperto un dialogo si hanno informazioni sul contenuto ed il significato di quel dialogo (tale tipo di aiuto è raccomandato per avere informazioni di dettaglio).

Selezionando un comando di menù e premendo F1 si hanno informazioni su quel comando.

Cliccando su



eppoi su un bottone o un comando del menù si hanno informazioni su quel comando.

4) Comandi non modali

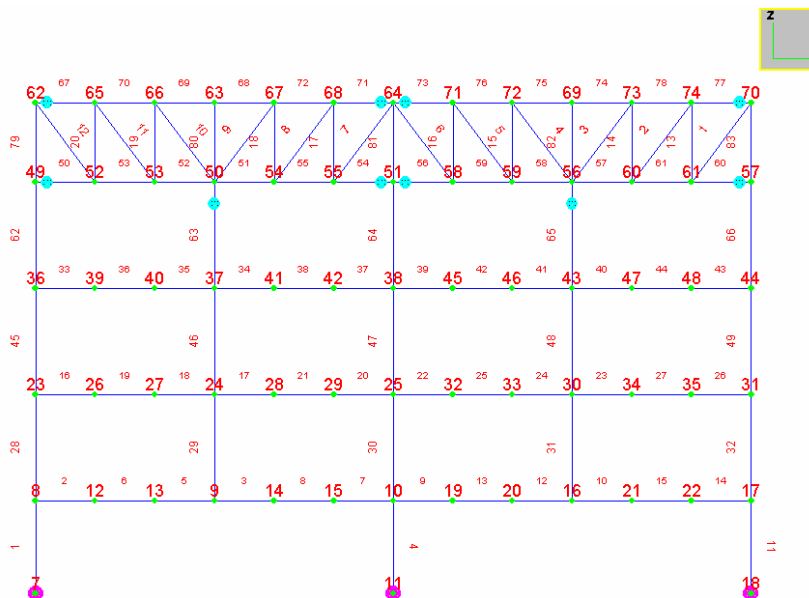
Nel corso della esecuzione di un comando non modale (Comandi modali e non modali) nella barra di stato della vista attiva del comando compare una scritta che ricorda quale comando sia attivo. Se il comando viene abbandonato eppoi ripreso, al primo movimento del mouse il comando ricompare.

2.2. COME USCIRE DA SARGON

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

2.3. COME CREARE LA MESH

2.3.1. COSA È UNA MESH



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

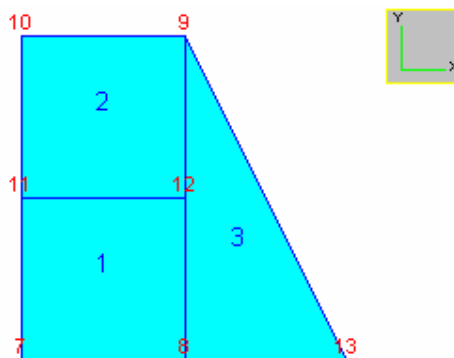
Un nodo è un punto dello spazio dotato di sei distinte possibilità di movimento. Ad ogni nodo viene associato un numero che lo individua e lo contraddistingue.

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

L'elemento finito simula in modo semplificato il comportamento di una parte della struttura reale. Una mesh è pertanto una astrazione, un modello, che non ha per obiettivo quello di simulare l'aspetto esteriore di una struttura, bensì quello di simulare la risposta della struttura alla applicazione di certe azioni, nell'ambito di una certa teoria. Poiché il metodo degli elementi finiti è ad oggi l'unico modo efficiente di fare calcoli su strutture generiche, occorre tenere presente che nella modellazione agli elementi finiti ciò che conta sono i risultati numerici, non l'aspetto della mesh o il suo assomigliare alla

struttura reale. Pertanto è del tutto lecito aggiungere elementi monodimensionali là dove nella struttura v'è un blocco solido o un complicato marchingegno, se, ai fini della risposta del sistema allo studio, il marchingegno può essere assimilato ad un elemento monodimensionale. Viceversa, tentare di modellare il marchingegno con elementi solidi (brick) può essere il segno di una mancata comprensione del metodo, o di uno stato paranoide. Dipende.

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



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

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

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

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

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

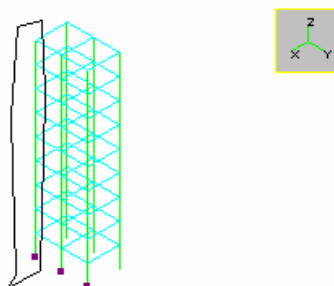
2.3.2. MATTONI FONDAMENTALI

2.3.2.1. NODO

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

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

In Sargon i nodi non si vedono a meno che non siano selezionati o a meno che non si sia chiesto di renderli comunque visibili per mezzo del comando Mostra-Oggetti. È possibile mostrare il numero associato a ciascun nodo (numerazione nodale: Oggetti).



I tre nodi alla base si vedono perchè selezionati

2.3.2.1.1. NODI PREDEFINITI

Data la necessità di orientare le terne locali degli elementi trave e biella mediante un nodo (il terzo nodo) in Sargon i primi sei nodi sono riservati a questo scopo: essi sono automaticamente aggiunti ogni volta che si crea un nuovo modello. I sei nodi sono automaticamente vincolati, e sono posti all'infinito nelle direzioni X, Y, Z, -X, -Y, -Z. La codifica dei sei nodi si evince dalla seguente tabella:

**NODO POSIZIONE DEL
PUNTO**

1	+ INFINITO ASSE Y
2	+ INFINITO ASSE Z
3	+ INFINITO ASSE X
4	- INFINITO ASSE Y
5	- INFINITO ASSE Z
6	- INFINITO ASSE X

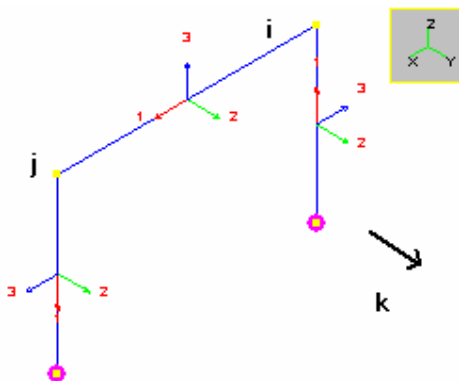
Tipicamente, una colonna (che corre lungo l'asse Z) avrà terzo nodo pari a 1 o a 3. Non può avere terzo nodo pari a 2.

2.3.2.2. TRAVE

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

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

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



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

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

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

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

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

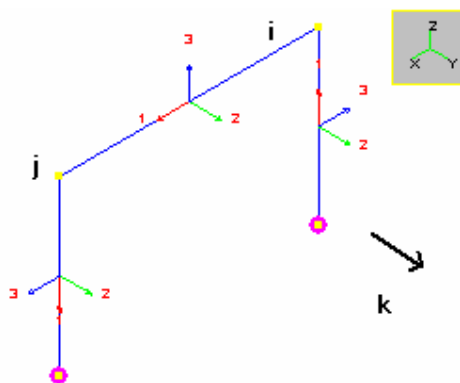
Nella attribuzione dei profili l'asse indicato sul disegno della sezione coincide con l'asse 2 della terna locale. Per le sezioni ad I l'asse 2 è l'asse perpendicolare all'anima. Lo stesso per quelle a C ed a T. L'asse 2 è sempre uno degli assi principali della sezione.

2.3.2.3. BIELLA

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

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

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



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

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

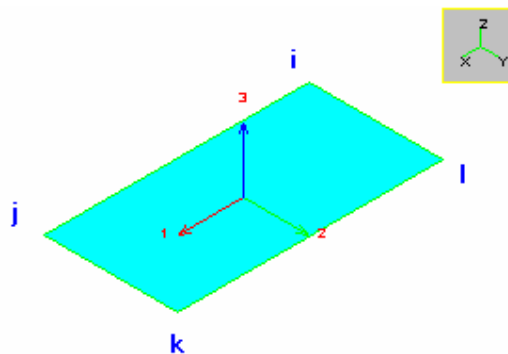
L'asse della biella va dal nodo I (che è il primo nodo) al nodo J (che è il secondo nodo). L'asse della biella è anche l'asse 1 del sistema di riferimento locale. Il nodo K (che è il terzo nodo) definisce un piano con i nodi I e J: infatti i nodi I, J, K non devono mai essere allineati. L'asse 2 della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

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

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

2.3.2.4. PIASTRA

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



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

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

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

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

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

Benché la soluzione in termini di spostamenti sia affidata ai solutori esterni, SARGON ha la necessità di costituire la matrice di rigidezza per gli elementi bidimensionali al fine di calcolare le reazioni vincolari.

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

A partire dalla versione 7.0 Sargon dispone anche dell'elemento finito di piastra spessa. Tale elemento (a tre o a quattro nodi) è stato implementato secondo la formulazione di Hughes ("Finite Elements Based Upon Mindlin Plate Theory with Particular Reference to the Four-Node Bilinear Isoparametric Element", T.J.R. Hughes, T.E. Tezduyar, *Journal of Applied Mechanics*, September 1981). Se non viene specificato alcunchè gli elementi di tipo piastra seguono la formulazione delle piastre sottili. Se si vuole che l'elemento di piastra sia del tipo "piastra spessa" occorre eseguire il comando Mesh-PM-Tipo, che assegna il tipo scelto alle piastre selezionate.

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

2.3.2.5. MEMBRANA

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

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

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

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

Per gli elementi membrana è usato il solo spessore membranale.

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

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

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

Il secondo dei due elementi finiti (Wilson-Ibrahimbegovic, 1990) è un elemento non compatibile modificato in modo da passare il patch test. Ancorchè non compatibile questo elemento presenta un eccellente comportamento già con mesh abbastanza (non troppo) rade. In pratica

all'elemento bilineare vengono aggiunti 4 (*nodeless*, privi di nodi) nuovi parametri che poi vengono condensati in modo da riportare l'ordine della matrice ad 8. La correzione della matrice **B** deformazioni-spostamenti consente di passare il patch test anche in presenza di elementi distorti.

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

2.3.2.6. MOLLA



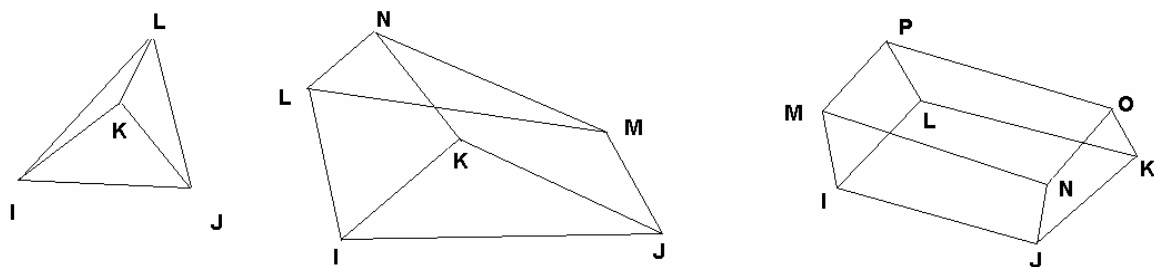
L'elemento molla può essere di due tipi: traslazionale o rotazionale. L'elemento molla traslazionale dà una rigidezza traslazionale paragonabile a quella di una biella. L'elemento molla rotazionale attacca ad un nodo una rigidezza rotazionale. La rigidezza compete alle rotazioni che avvengono secondo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

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

2.3.2.7. SUPERELEMENTO

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

2.3.2.8. SOLIDO



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

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

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

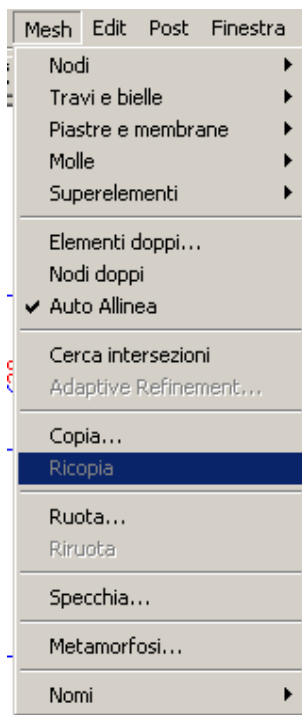
La matrice di rigidezza che SARGON CLEVER, LEDA e SOCLEVER costruiscono per elementi solidi tetraedrici è quella degli elementi a deformazione costante (spostamenti lineari): $u=a+bx+cy+dz$.

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

Per gli elementi solidi a otto nodi la matrice è quella degli elementi isoparametrici lineari (spostamenti trilineari: $u=a+bx+cy+dz+exy+fxz+gyz+hxyz$). L'integrazione di questi elementi (come degli altri) è completa: 2x2x2 punti di Gauss vengono impiegati dai solutori per calcolare la matrice di rigidezza di questi elementi.

A partire dalla versione 8.1 sono stati aggiunti anche gli elementi a 8 nodi con correzione di Wilson Ibrahimbegovic (analoghi ai corrispondenti elementi piani) e gli elementi a 8 nodi con integrazione selettiva, vale a dire 2x2x2 punti di Gauss sulla parte flessionale e 1x1x1 punto di Gauss per la parte tagliante della matrice di rigidezza.

2.3.3. CREAZIONE O MODIFICA DELLA MESH IN SARGON



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

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

La creazione della mesh viene fatta generalmente aggiungendo un certo numero di elementi tramite i comandi di aggiunta. Qui per mesh intendiamo l'insieme dei nodi e degli elementi con le loro connessioni. L'aggiunta di un elemento comporta l'aggiunta automatica dei nodi che lo definiscono. Non è pertanto necessario aggiungere dapprima i nodi eppoi connetterli. Sargon consente di aggiungere nodi singoli (Aggiungi), ma non è necessario aggiungerli preventivamente rispetto agli elementi.

I nodi possono essere aggiunti (Aggiungi), traslati (Trasla), ruotati (Ruota) o riposizionati (Riposiziona). File di nodi allineati possono essere riallineate diversamente (Trasla 2). I nodi non referenziati, cioè non attaccati ad elementi, possono essere -e in generale devono essere- eliminati (Elimina).

I nodi doppi costituiscono un problema, generalmente, capace di invalidare una mesh e le analisi

fatte su di essa. Per nodo doppio si intende un nodo che disti da un altro nodo meno di una determinata tolleranza. La tolleranza viene stabilita dall'utente (Tolleranza), e perciò può essere cambiata in ogni istante. Sargon consente di controllare automaticamente se nella mesh sono presenti nodi doppi (Mostra doppi).

Sargon gestisce i seguenti elementi finiti: trave (Trave), biella (Biella), piastra (Piastra), membrana (Membrana), molla (Molla).

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

Le piastre e le membrane possono essere aggiunte (Aggiungi) secondo tre modalità diverse, suddivise in modo da dividere i lati in parti eguali (Dividi), oppure possono essere spezzate in due (Splitta). Le piastre e le membrane selezionate possono essere cancellate (Cancella). Se è necessario ruotare la terna locale (Piastra) delle piastre o delle membrane è possibile usare un comando atto a questo scopo (Ruota).

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

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

Tutti gli elementi possono essere selezionati e copiati. Ci sono tre modi per farlo: la copia propriamente detta (Copia), la rotazione (Ruota), la specchiatura (Specchia).

Gli elementi possono anche subire una metamorfosi. Per metamorfosi si intende il passaggio, a parità di nodi, da un tipo di elemento ad un altro tipo di elemento. Le travi possono essere trasformate in

bielle, le bielle in travi. Le piastre in membrane, le membrane in piastre. Il comando è Metamorfosi.

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

2.3.4. IMPORTAZIONE DELLA MESH FATTA ALTROVE

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

SRG	Sargon DOS
DXF	Autocad
ESD	Algor SDIII
ANF	Strucad

2.3.4.1. IMPORTARE .SRG

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

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

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

2.3.4.2. IMPORTARE .DXF

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

Per importare una mesh in formato .dxf occorre:

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

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

2.3.4.2.1. COSTRUZIONE DELLA MESH IN FORMATO .DXF

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

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

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

2.3.4.2.2. USO DEI NODI PREDEFINITI NEI FILE DXF

Si ricorda che il terzo nodo può essere definito anche dentro SARGON, mediante il comando Terzo Nodo. Ciò detto vale quanto segue.

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

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

2.3.4.3. IMPORTARE .ESD

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

Per importare una mesh in formato .esd occorre:

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

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

2.3.4.3.1. COSTRUZIONE DELLA MESH IN FORMATO .ESD

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

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

Valgono le seguenti corrispondenze:

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

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

trave.

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

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

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

BIELLE sono caratterizzate dal numero di layer = 1.

TRAVI sono caratterizzate dal numero di layer diverso da 1.

Se il terzo nodo di un elemento è allineato con l'asse X_1 , ciò rende impossibile definire una terna di riferimento locale. SARGON automaticamente associa all'asta un terzo nodo corrispondente al numero di gruppo precedente (se il numero originario è 1, viene interpretato come 6).

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

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

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

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

È necessario distinguere gli elementi in BIELLE e TRAVI; e assegnare ad ogni asta un terzo nodo in modo da definirne univocamente la terna di riferimento intrinseca. La terna può essere definita anche in SARGON: non è necessario occuparsi del problema in SUPERDRAW III[©]. Anche le bielle ricevono un

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

2.3.4.3.2. USO DEI NODI PREDEFINITI NEI FILE ESD

Si ricorda che il terzo nodo può essere definito anche dentro SARGON, mediante il comando Terzo Nodo. Ciò detto vale quanto segue.

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

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

2.3.4.4. IMPORTARE .ANF

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

Per importare una mesh in formato .anf occorre:

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

Valgono le seguenti regole ed assunzioni:

Gli elementi verranno interpretati come beam a meno che diversamente specificato nel blocco Element_User_Attribute_18 del file .anf. In quella sede il codice 0 indica truss, il codice 1 indica beam.

Le eccentricità degli elementi interpretati come truss vengono scartate.

Le informazioni sezionali vengono interpretate sulla base del file SHPCVT.TXT, contenuto nella directory di installazione di Sargon, che dà la corrispondenza tra i nomi in Strucad e quelli in Sargon. Una sezione non riconosciuta non viene interpretata e l'elemento non avrà attribuzione sezionale.

I materiali non vengono interpretati, data la semplicità con cui è possibile assegnarli.

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

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

2.3.5. COLLEGAMENTO CON STRUCAD

Il collegamento tra Sargon e Strucad è una delle caratteristiche più interessanti di Sargon in quanto realizza la piena comunicazione con un programma di disegno (peraltro molto evoluto) in modo bidirezionale: così come è possibile leggere da Sargon informazioni create da Strucad è possibile da Strucad leggere informazioni create da Sargon.

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



file di collegamento .arf (ciò si fa con il comando Esporta).

Aspetti salienti del collegamento sin qui descritto sono i seguenti:

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

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

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

Sargon legge ed assegna tutte le eccentricità descritte in Strucad

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

2.3.5.1. EXPORT DEI DATI SEZIONALI (ESPORTARE .ARF)

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

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

2.3.6. **USO DEI COMANDI DI MESHING AUTOMATICO**

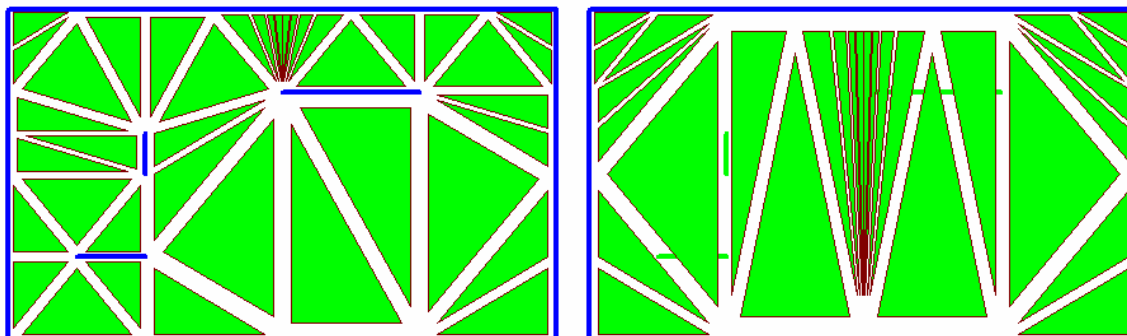
A partire dalla versione 7.30 Sargon è in grado di generare reticoli di elementi andando a riempire automaticamente regioni assegnate.

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

Triangolarizzazione di Delaunay

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

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



Triangolarizzazione vincolata

Triangolarizzazione non vincolata

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

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

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

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

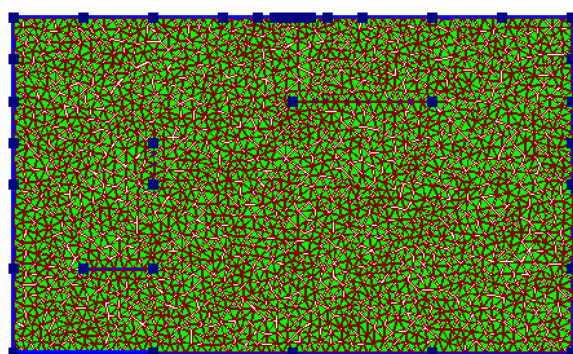
Entrambi i parametri sono estremamente delicati e una piccola variazione può portare a grandi tempi di calcolo ed a numeri di nodi assai differenti.

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

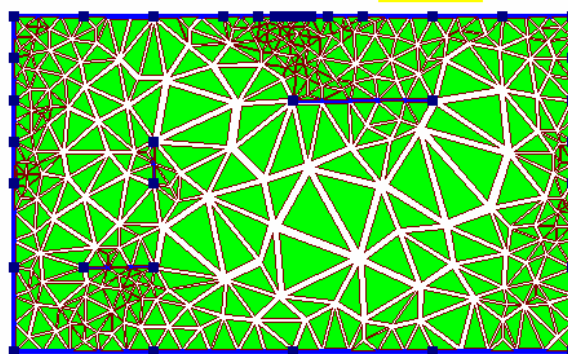
Un primo metodo consiste nell'ottenere una mesh con elementi aventi tutti più o meno la stessa dimensione e lo stesso angolo minimo (si parla in tal caso di mesh omogenee).

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

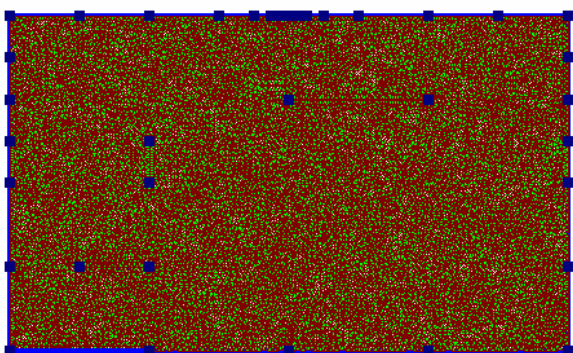
Ottimizzazione omogenea (algoritmo di)



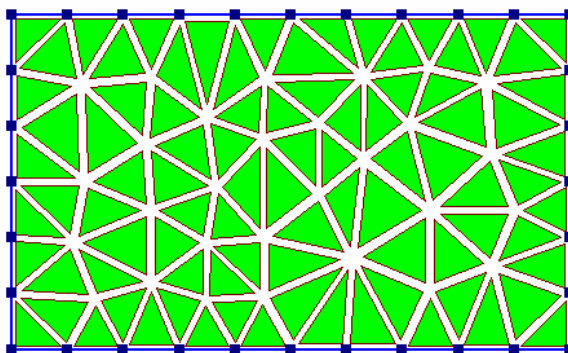
Ottimizzazione omogenea d=100



Ottimizzazione omogenea d=300



Ottimizzazione omogenea d=50



Ottimizzazione omogenea d=500

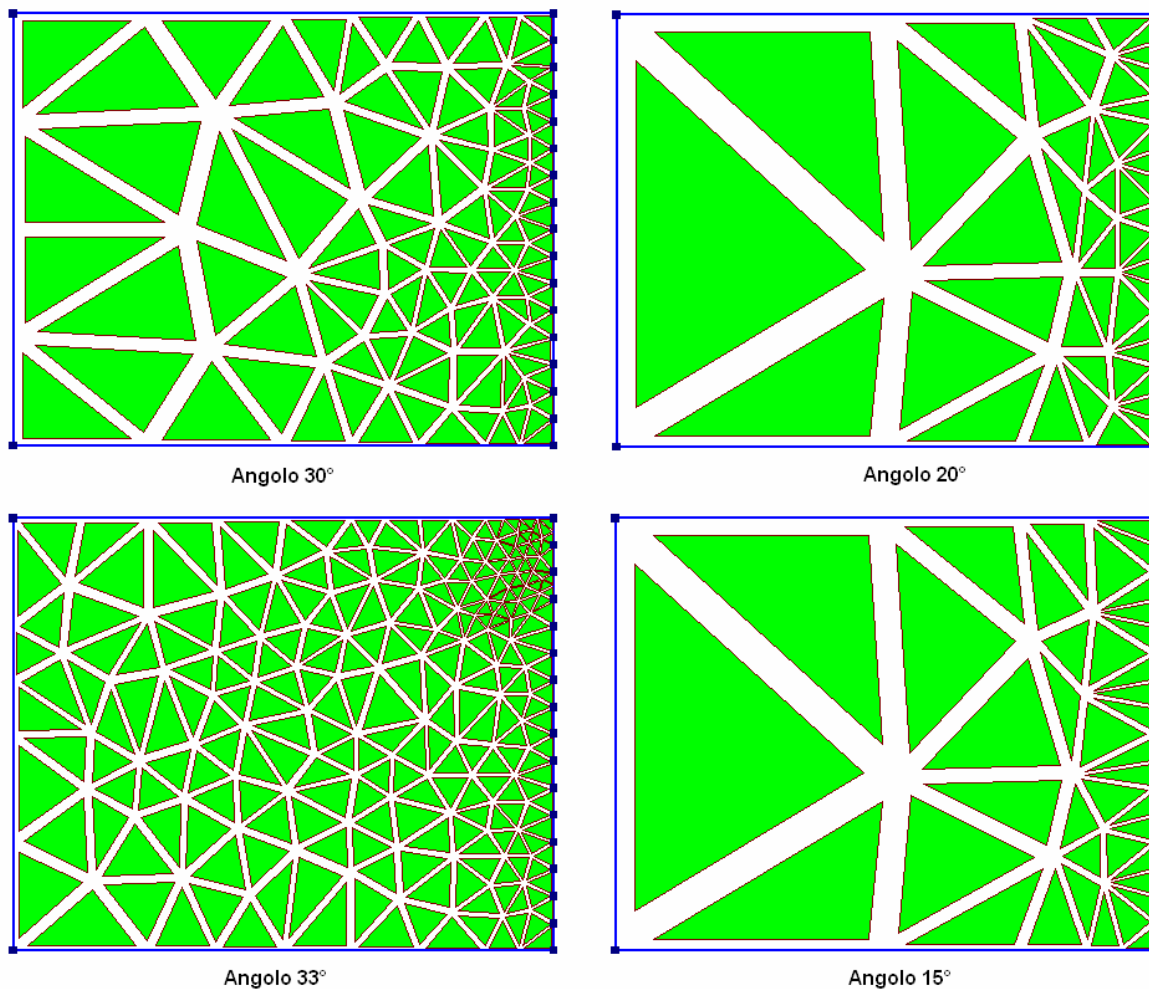
(si noti la diversità dei lati iniziali rispetto agli altri esempi)

L'algoritmo divide i triangoli quando i lati superano la lunghezza di mesh massima stabilita. Quando la lunghezza massima è pari a zero i lati non vengono suddivisi in base alla loro lunghezza. L'algoritmo tende a dare angoli minimi intorno a 30° e mesh omogenea purchè venga impostata una lunghezza massima prossima o inferiore al minimo segmento presente inizialmente (in figura il minimo segmento è lungo 78). Sulla base del limite di lunghezza introdotto i lati iniziali vengono suddivisi, in modo che nessuno di loro possieda lunghezza superiore al limite. L'algoritmo non è sensibile a variazioni di angolo.

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

di angolo minimo e quindi con mesh di scarsa qualità.

Ottimizzazione eterogenea (algoritmo di Ruppert)



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

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

L'algoritmo di Ruppert, comunque, non garantisce che i lati originari restino invariati e ciò talvolta

pone un problema in quanto capita che sia richiesto che la mesh non interferisca con altre regioni già meshate. In questi casi, se è necessario non suddividere ulteriormente i lati già esistenti, si dovrebbe usare l'algoritmo precedente. Naturalmente i vincoli corrispondenti al fatto di non suddividere lati esistenti possono essere incompatibili con le richieste in termini di massima dimensione del lato e/o minimo valore dell'angolo, pertanto l'utente deve fornire questi valori in modo coerente con la lunghezza dei lati esistenti (e da non toccare) oppure, in alternativa, accettare che i lati inizialmente esistenti siano modificati.

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

Quadrangolarizzazione

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

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

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

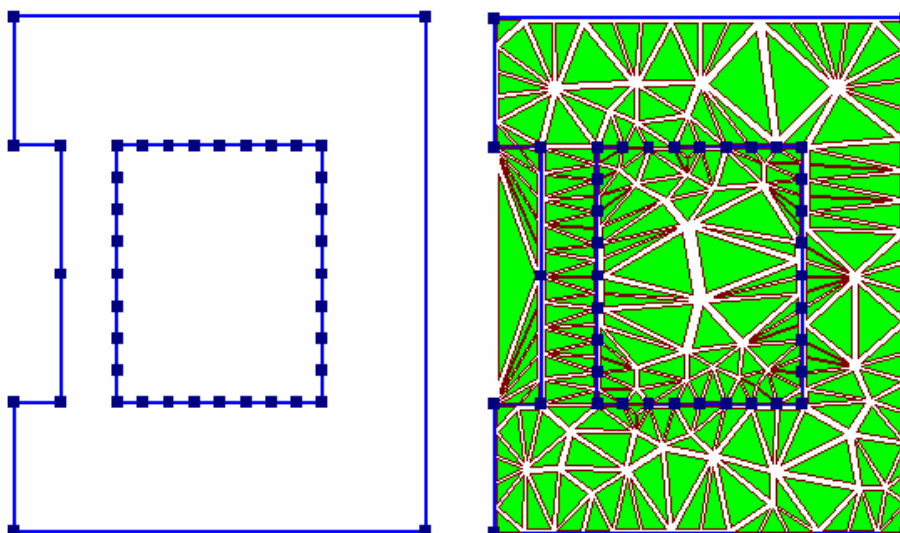
Il programma prende in input una qualità minima al di sotto della quale i quadrangoli vengono scartati perché inaccettabili. Il valore di default proposto è 0.36.

Mancanza di convessità del dominio, fori

Gli algoritmi descritti non distinguono tra domini concavi o convessi. Per poter meshare su domini concavi è necessario attivare una specifica opzione che rimuove i triangoli posti al di fuori

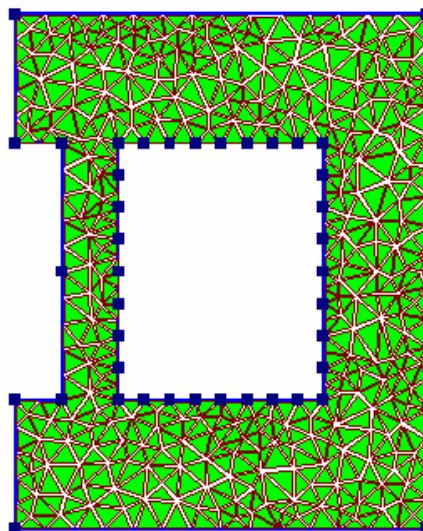
del dominio originario. La stessa opzione consente di svuotare eventuali fori presenti nella regione da meshare.

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



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

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



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

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

Come agire operativamente

Per usare questo potente comando occorre includere la regione da meshare (che deve essere piana) all'interno di un ciclo chiuso di elementi monodimensionali selezionati (travi o bielle) che indicano i lati iniziali. Opzionalmente è possibile aggiungere anche lati interni alla regione da meshare, anche disgiunti: se questi sono selezionati al momento della esecuzione del comando, la mesh finale li rispetterà, nel senso che il lato (eventualmente suddiviso) sarà incluso all'interno dei lati della mesh. Se si desidera che i lati iniziali non vengano suddivisi è necessario specificare la richiesta esplicitamente nel dialogo opportuno.

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

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

Estratto della Bibliografia consultata

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

2.4. COME CAMBIARE UNITÀ DI MISURA

Il comando da impiegare è il comando Unità... del menù Edit_Seleziona.

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

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

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

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

2.5. COME CAMBIARE LA VISTA

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

I comandi qui descritti si trovano tutti nel menù Disegna.

2.5.1. Cambiamento del punto di vista

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

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

2.5.2. Ingrandimento e rimpicciolimento

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

Un comando utile è Ultimo Zoom, che riporta all'ultimo zoom eseguito.

2.5.3. Traslazione

Il riquadro di vista può essere spostato mediante un vettore tramite il comando Pan.

2.5.4. Viste Utente

Può essere utile, talvolta, memorizzare e richiamare delle viste particolarmente significative. Sargon consente di memorizzare sino a 4. Il comando per memorizzare una vista è Definisci vista, mentre quello per richiamare una vista precedentemente memorizzata è Vista utente.

2.5.5. Traslazione

Per traslazione di una vista si intende il fatto che il riquadro della vista venga spostato nel suo piano. In Sargon ciò si fa con le barre di scorrimento, orizzontalmente e verticale.

La traslazione della vista è utile per vedere dettagli limitrofi alla zona di interesse.

2.5.6. Estrazione

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

In Sargon l'estrazione avviene selezionando gli elementi che si desidera guardare sul serbatoio estrai, eppoi dando il comando Estrai. Esistono due stati possibili: estrai e non estrai, segnalati da un opportuno segno di spunta. Se estrai è inattivo si vedranno tutti gli elementi. Se estrai è attivo si

vedranno solo gli elementi selezionati nel serbatoio estrai. Per la selezione nel serbatoio estrai si vede il comando Serbatoio....

2.6. COME SELEZIONARE

2.6.1. GENERALITÀ

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

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

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

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

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

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

Sargon mette a disposizione dell'utente vari comandi per selezionare. Essi sono raggruppati nel menù Seleziona sotto Edit.

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

-1- L'utente sceglie se vuole selezionare nodi, oppure travi o bielle, oppure piastre o membrane,

oppure molle, oppure superelementi (Oggetti)

- 2- L'utente indica degli oggetti con uno degli strumenti di selezione
- 3- Gli oggetti indicati (catturati) che soddisfano il filtro di selezione sono candidati alla selezione. L'insieme di tutti gli oggetti è così suddiviso in oggetti candidati (ovvero catturati soddisfacenti il filtro) e non candidati (tutti gli altri).
- 4- A seconda del modo di selezione scelto, l'operazione di selezione verrà applicata ai candidati (modalità autoriferimento) o ai non candidati (modalità complemento)

Per selezionare gli oggetti sulla base del loro nome, indipendentemente da altri filtri, è inoltre disponibile il comando Nome.

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

Il default su cui Sargon è programmato:

Operazione: cambia

Modalità: autoreferenziale

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

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

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

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

2.6.2. STRUMENTI DI SELEZIONE

Gli strumenti di selezione sono: il Click, il Box la Poligonale.

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

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

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

Oltre a questi strumenti sono disponibili i comandi Tutti, che seleziona tutti gli oggetti della struttura soddisfacenti il filtro, e Nessuno che deselecta tutti gli oggetti: Questi ultimi due comandi non dipendono dalla modalità o dalla operazione di selezione attive.

Il comando Nome consente di selezionare tutti gli oggetti che hanno un nome che sposta la stringa di ricerca specificata dall'utente. In questo caso i filtri di selezione non vengono impiegati.

2.6.3. FILTRI DI SELEZIONE

I filtri di selezione sono importanti in quanto fanno passare dagli oggetti catturati a quelli candidati (cfr. Generalità)

I filtri vengono stabiliti con il comando Filtro...

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

2.6.4. MODALITÀ DI SELEZIONE

Le modalità di selezione vengono decise con il comando Filtro.

Le modalità sono tre:

- autoreferenziale
- complemento
- forza

Nella modalità autoreferenziale l'operazione si applica ai soli oggetti candidati, cioè agli oggetti catturati che soddisfano il filtro.

Nella modalità complemento l'operazione si applica solo a tutti gli oggetti non candidati (ovvero

agli oggetti non catturati o catturati non soddisfacenti il filtro).

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

2.6.5. OPERAZIONI DI SELEZIONE

Le operazioni di selezione possibili sono tre: accendi, spegni, cambia.

- Accendi: attiva la selezione
- Spegni: disattiva la selezione
- Cambia: accende se trova spento, spegne se trova acceso.

Queste operazioni hannodelle operazioni contrarie, definite dalla seguente tabella:

OPERAZIONE	OPERAZIONE CONTRARIA
ACCENDI	SPEGNI
SPEGNI	ACCENDI
CAMBIA	INVARIATO

La tabella delle operazioni contrarie serve quando si usa la modalità forza.

2.6.6. ESEMPI SULLA SELEZIONE

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

- a) Selezione di tutte le aste dopo aver scelto travi e bielle: Tutti
- b) Selezione di tutti i nodi dopo aver scelto nodi: Tutti
- c) Selezione di un'asta Click dopo aver scelto travi e bielle.

In questo esempio si è supposto che l'operazione fosse accendi e il modo fosse autoreferenziale.

c1) Se il modo fosse complemento e l'operazione accendi, nell'esempio c si selezionano tutte le aste tranne quella catturata con Click.

c2) Se il modo fosse complemento e l'operazione fosse spegni, nell'esempio c si deselectionano tutte le aste tranne quella catturata con Click (che resta invariata).

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

c4) Se il modo fosse forza e l'operazione accendi, nell'esempio c l'asta catturata sarebbe accesa e tutte le altre sarebbero spente.

c5) Se il modo fosse forza e l'operazione spegni, nell'esempio c l'asta catturata sarebbe spenta e tutte le altre sarebbero accese.

c6) Se il modo fosse forza e l'operazione cambia, nell'esempio c l'asta catturata verrebbe accesa se era spenta, spenta se era accesa e tutte le altre resterebbero invariate.

d) Esempio di applicazione dei filtri

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

Occorre fare le seguenti cose:

Scegliere come oggetti di selezione le travi e le bielle

Attivare un filtro sul tipo bielle

Attivare il la modalità di selezione forza

Attivare l'operazione di selezione accendi.

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

2.6.7. SERBATOI DI SELEZIONE

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

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

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

2.7. COME INFLUIRE SUL MODO DI RAPPRESENTARE

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

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

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

Il comando Assi di riferimento influisce sul modo di rappresentare gli assi di riferimento.

Il comando Oggetti consente di decidere quali oggetti verranno mostrati a schermo (ivi incluse le numerazioni, le etichette, i nomi, i dati numerici).

Il comando Dimensioni consente di variare la dimensione con cui vengono rappresentati gli oggetti.

Il comando Colori consente di variare il colore degli oggetti.

Il comando Elementi consente di stabilire il significato da associare alla colorazione degli elementi (il colore può rappresentare il tipo, la sezione, il materiale, ecc.). Esso consente inoltre di stabilire il modo di disegnare gli elementi bidimensionali (se riempirli o no) e se i superelementi debbano essere visibili.

Il comando Font varia la dimensione il colore e il tipo dei font usati per varie cose (numerazioni, etichette, ecc.).

Il comando Orientazione pilota la rappresentazione della orientazione della terna locale degli elementi. E' anche possibile rappresentare il disegno della sezione.

Il comando Associa Colore associa un colore agli elementi selezionati.

2.8. COME GESTIRE VINCOLI SVINCOLI E CEDIMENTI

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

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

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

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

2.8.1. COME ATTRIBUIRE VINCOLI FISSI

In Sargon l'attribuzione di vincoli fissi avviene dapprima selezionando i nodi che interessa vincolare, poi con il comando Vincoli sui nodi... del menù Vincoli.

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

2.8.2. COME ATTRIBUIRE SVINCOLI

L'attribuzione degli svincoli avviene con il comando Svincoli sulle travi del menù Vincoli.

Per svincolo si intende sia uno svincolo completo che parziale.

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

2.8.3. COME APPLICARE MOLLE

Le molle possono essere applicate con il comando Aggiungi del menù Molle, oppure con il comando Winkler dello stesso menù.

La cancellazione delle molle selezionate avviene con il comando Cancella.

Il comando Winkler serve ad aggiungere molle la cui costante di rigidità viene valutata a partire dalla costante di Winkler.

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

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

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

2.8.4. COME APPLICARE CEDIMENTI

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

Il comando da impiegare per assegnare i cedimenti è Aggiungi del menù Azioni.

I cedimenti vengono applicati ai nodi selezionati.

2.9. COME GESTIRE LE AZIONI

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

Ogni caso di carico base raggruppa un certo numero di azioni che in generale si suppongono agire contemporaneamente sulla struttura. Il significato fisico di queste azioni è coerente: il caso di

carico rappresenta il vento, il sisma o i carichi permanenti.

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

2.9.1. CASI DI CARICO

Il gruppo di comandi che gestisce i casi di carico si trova sul menù Casi. L'aggiunta di casi di carico si fa con il comando Aggiungi, la modifica delle etichette e dei nomi dei casi di carico si fa con il comando Modifica. E' possibile azzerare il contenuto di un caso di carico senza eliminarlo: il comando è Azzera.

Ad un certo caso di carico è possibile sommare un altro caso di carico moltiplicato per un fattore scelto dall'utente. Ciò si fa con il comando Somma.

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

Per posizionarsi in un nuovo caso di carico è sufficiente selezionarlo nella lista presentata con il comando Modifica o con il comando Casi del menù Interroga. E' altresì possibile spostarsi da un caso di carico al precedente o al successivo con i comandi Successivo e Precedente.

Per cancellare un caso di carico si usa il comando Modifica.

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

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

2.9.2. COMBINAZIONI DI CARICO

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

Il posizionamento su una combinazione di carico avviene selezionando la combinazione d'interesse nella lista presentata dai comandi Modifica e Combinazioni del menù Interroga.

2.9.3. AZIONI

Le azioni vengono associate al caso di carico correntemente attivo. Vale la regola che le azioni vengono applicate ai nodi ed agli elementi selezionati nel momento in cui viene eseguito il comando Aggiungi. Con questo comando è possibile aggiungere direttamente, sulle entità selezionate, forze o coppie nodali, forze o coppie uniformemente distribuite, concentrate o linearmente distribuite, carichi termici e, infine, cedimenti.

Il comando Canc Sel cancella le azioni applicate sulle entità selezionate al momento della esecuzione del comando.

Il comando Gravità aggiunge le azioni corrispondenti alla forza di gravità degli elementi selezionati al caso di carico corrente.

Il comando Regione consente di aggiungere carichi a regione. Essi vengono applicati ai nodi della struttura che definiscono una regione, sia essa una linea o una superficie.

Per regione si intende una parte di una linea o una parte di una superficie. La linea o la superficie devono essere ricostruite sulla base delle coordinate dei nodi che su di essa giacciono. Per fare questo è necessario ipotizzare che la linea o la superficie posseggano certi requisiti di regolarità.

Nel caso della linea, l'utente dà una poligonale all'interno della quale si trovano tutti e soli i nodi appartenenti alla linea stessa. Il programma sceglie i due nodi più distanti, poi ordina i nodi in modo da enumerare tutti i nodi scelti a partire dal primo nodo per finire all'ultimo. Una volta ordinati i nodi è possibile assegnare a ciascuno una lunghezza di pertinenza prendendo ciascuno dei due segmenti uscenti dal nodo (al limite uno) e dividendoli per due.

Si abbia ad esempio una linea definita da una successione di nodi, e si desideri applicare - su ciascun nodo - un carico proporzionale al tratto della linea di competenza di ciascun nodo. Per fare questo si definisce l'intensità del carico per unità di lunghezza e si racchiudono i nodi d'interesse all'interno di una poligonale. Il programma calcola automaticamente la parte di linea competente a ciascun nodo e aggiunge una forza su ognuno dei nodi scelti. Se p_x , p_y , p_z è il vettore delle tre intensità e I, J, K sono tre nodi consecutivi, sul nodo J verrà applicata la forza $0.5(IJ + JK)(p_x, p_y, p_z)$

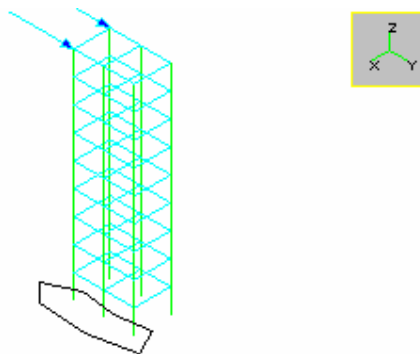
Nel caso della superficie è possibile usare due modalità.

Nella prima modalità la superficie è individuata da due file di nodi che fungono da “riga” e “colonna” di una scacchiera ideale. La linea non deve necessariamente essere retta. Le due linee identificate dai nodi, identificati dalle due poligonali specificate dall’utente, devono avere un nodo in comune. I nodi mancanti vengono ricostruiti impiegando le due linee di nodi fornite (vedi l’esempio più avanti). Il programma cerca i nodi nelle posizioni attese e, se li trova, assegna loro il carico pertinente. Se invece non trova il nodo che si aspetta di trovare, segnala “c’è un buco nella mesh” e procede oltre. Sia O il nodo in comune tra le file di nodi, I il contatore sulla prima linea e J il contatore sulla seconda linea. Sian inoltre PI il punto P sulla prima linea corrispondente al contatore I e PJ il nodo sulla seconda linea corrispondente al contatore J. Il generico punto PIJ è trovato come

$$PIJ = (PI-O) + (PJ-O)$$

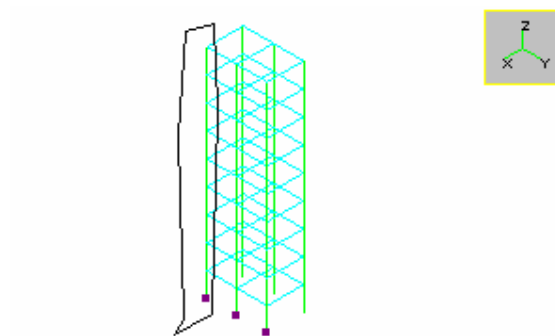
I nodi della superficie sono generati dal movimento di una curva sull'altra.

Esempio 1:



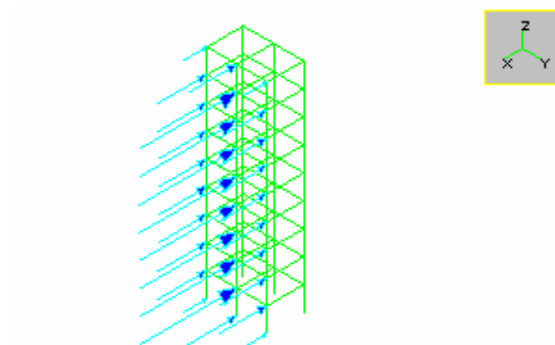
{bmc region1.bmp}

Selezione dei nodi della prima curva



{bmc region2.bmp}

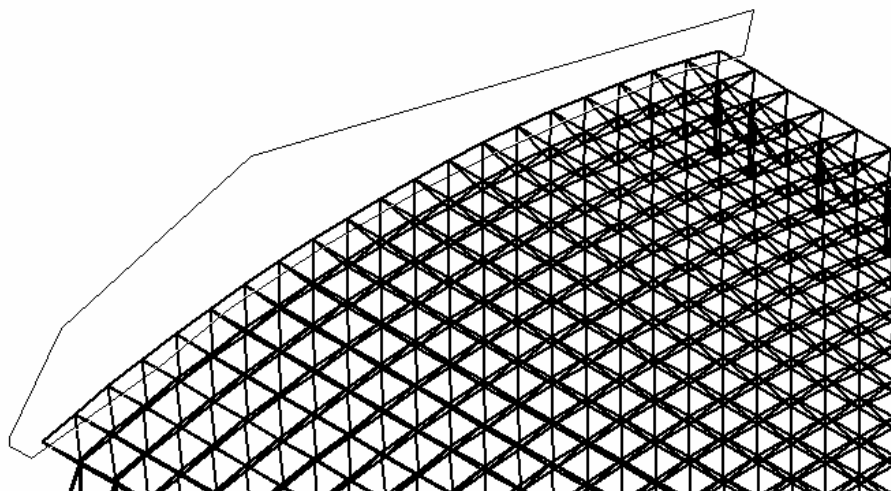
Selezione dei nodi della seconda curva



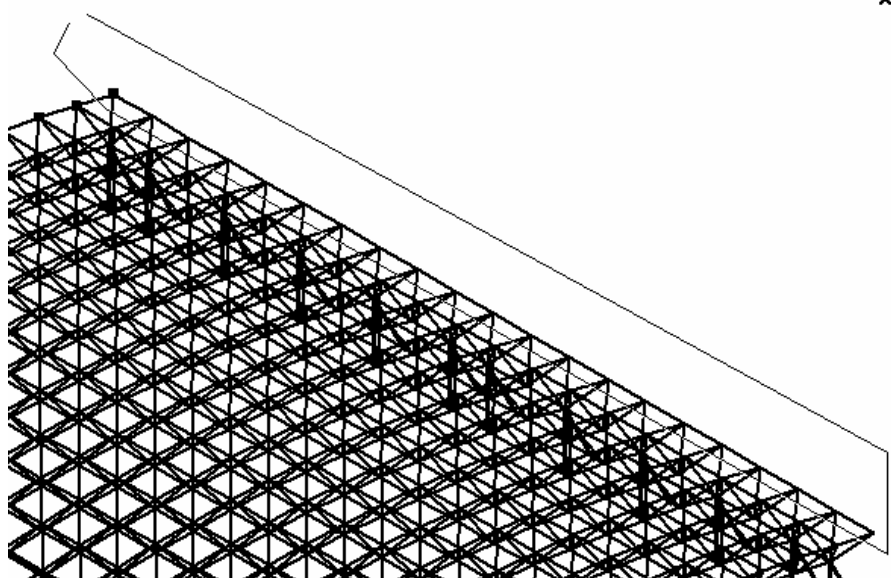
{bmc region3.bmp}

Effetto risultante

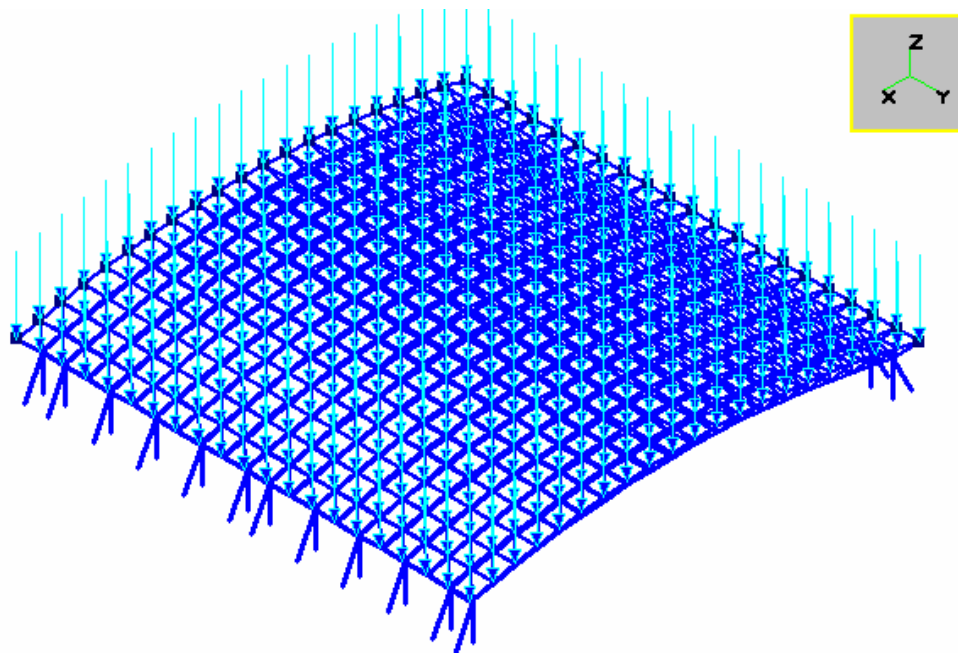
Esempio 2:



Selezione dei nodi della prima curva



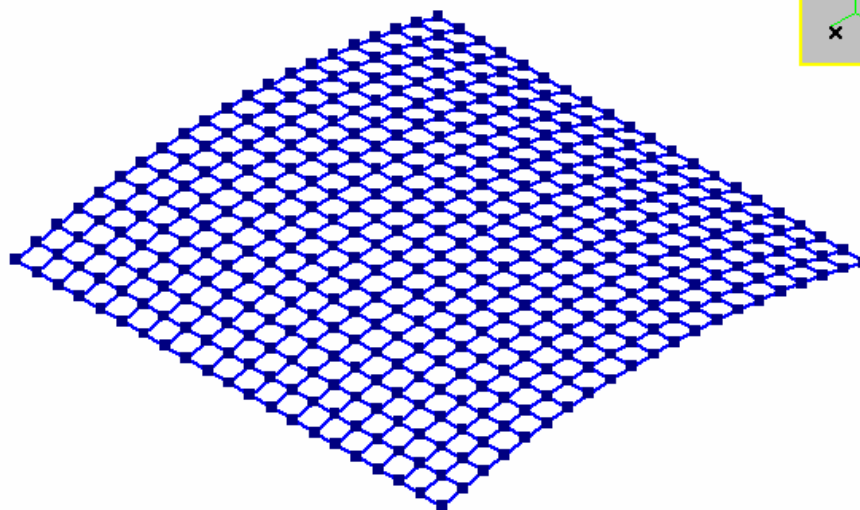
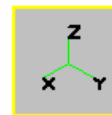
Selezione dei nodi della seconda curva



Effetto risultante

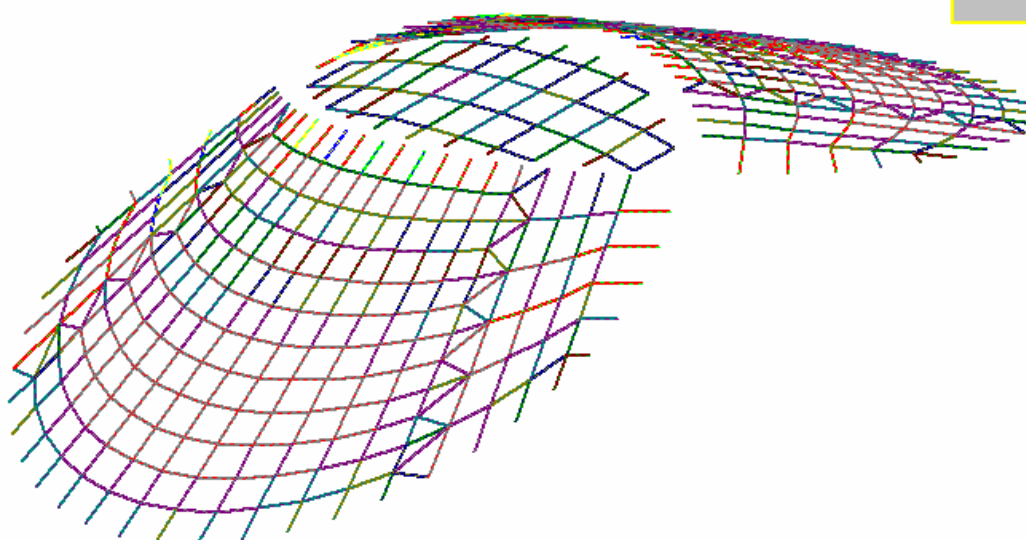
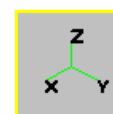
Nella seconda modalità la superficie di pertinenza di ciascun nodo viene ricostruita sulla base degli elementi trave e/o biella selezionati e collegati a quel nodo. La selezione è necessaria per poter scegliere quali elementi impiegare per ricostruire il luogo localmente. Tipicamente su un nodo selezionato si avranno quattro elementi uscenti, uno in una direzione, uno in una direzione grosso modo ortogonale. I quattro elementi definiscono quattro “facce” che consentono di ricostruire l’andamento della superficie desiderata intorno al nodo. Questa modalità evita di dover definire spline o superfici complesse. Le forze vengono applicate solo sui nodi selezionati. Per ogni nodo selezionato vengono cercati gli elementi trave e biella selezionati e connessi a quel nodo. L’insieme di tutti gli elementi uscenti dal nodo viene ordinato e così si ricostruisce una superficie uscente dal nodo. Da tale superficie si ricava la misura dell’area e la direzione della normale, necessarie per applicare questo o quel carico.

Esempio 3:



I nodi selezionati e le aste uscenti, selezionate anch'esse. Da ogni nodo escono 4 o 2 elementi, sufficienti a ricostruire l'andamento della superficie intorno a ogni nodo (solo il livello superiore dell'ordito è visibile).

Esempio 4:



Esempio di superficie a doppia curvatura alla quale applicare il comando. Occorrerà selezionare tutti i nodi e gli elementi (solo il livello superiore dell'ordito è visibile). Qui non è possibile ragionare su scacchiere.

Il comando Solaio viene impiegato per dare rapidamente carichi uniformemente distribuiti ad un insieme di travi (il comando è tipicamente usato per i solai).

Il comando Sisma è usato per generare automaticamente le forze sismiche statiche equivalenti, secondo quanto previsto da diverse normative.

Il comando Vento su bt viene usato per generare dei carichi uniformemente distribuiti (per le travi) o forze nodali (per le bielle) equivalenti al carico agente sull'elemento a causa di una pressione dovuta al vento avente una certa direzione. Questo comando consente di valutare rapidamente l'effetto del vento su una struttura (si pensi ai tralicci).

2.10. COME GESTIRE GLI ARCHIVI

In Sargon sono presenti due archivi: l'archivio delle sezioni (circa 5600 profili disponibili online) e l'archivio dei materiali.

Questi archivi possono essere mantenuti dall'utente con il comando Archivi del menù Proprietà.

In pratica la gestione degli archivi viene demandata ad un modulo esterno a Sargon, denominato SAMBA, il quale consente sia di aggiungere che di cancellare materiali e sezioni. Si rimanda all'help di SAMBA per tutti i chiarimenti del caso.

L'uso degli archivi consente di usare qualsiasi tipo di materiale o di sezione sul modello ad elementi finiti.

In POLISAR gli archivi non sono disponibili e la sezione deve essere identificata mediante la sua area ed i suoi momenti di inerzia. Il materiale deve essere identificato mediante il modulo elastico ed il coefficiente di Poisson.

2.10.1. AGGIUNTA E CANCELLAZIONE DI PROFILI E MATERIALI

A questa parte del programma si accede tramite il comando Archivi. Con tale comando si accede a SAMBA, il programma preposto al compito di modificare, aggiornandolo, l'archivio delle sezioni e dei materiali. Si rimanda all'help di SAMBA per ogni chiarimento sul suo funzionamento.

Si rimarca il fatto che possono essere aggiunti materiali qualunque, anche non metallici. Tale scelta avrà delle ricadute sulle verifiche (non saranno applicabili quelle eseguite con le norme per i materiali metallici) ma consentirà la creazione di modelli misti.

2.11. COME ASSEGNARE MATERIALI SEZIONI E PROPRIETÀ

L'attribuzione di sezioni agli elementi trave e biella, spessori agli elementi piastra e membrana, materiali agli elementi trave, biella, piastra e membrana, è un passaggio necessario ed indispensabile.

In Sargon le proprietà suddette vengono attribuite scegliendole da un archivio nel quale sono contenute. Ciò rende la procedura di assegnazione assai più sicura. In POLISAR le sezioni e i materiali o vengono ripescati dalla lista di quelli precedentemente assegnati o vengono definiti dandone esplicitamente le caratteristiche.

Ogni modello, SARGON o POLISAR, contiene un archivio con le sezioni, le proprietà ed i materiali attribuiti. Inizialmente questi archivi sono vuoti.

Su disco rigido, al momento della installazione, vengono creati due archivi: l'archivio delle sezioni e l'archivio dei materiali, entrambi ampliabili dall'utente (Gestire gli archivi).

Al momento della attribuzione l'utente può decidere se scorrere gli archivi su disco rigido o quelli del modello. L'attribuzione si fa selezionando preventivamente gli elementi dei quali si desidera cambiare le proprietà. Se si vogliono attribuire sezioni si usa il comando Sezioni . Se si vogliono attribuire le caratteristiche di piastre o membrane si usa il comando Spessori . Se si vuole attribuire il materiale si usa il comando Materiale .

E' anche possibile modificare le quote di una sezione già assegnata (solo la sezione presente nel modello, non quella dell'archivio di cui questa è copia) senza passare dall'archivio: il comando si trova nel menu Edit-Proprietà ed è Modifica Sezione.

Tutti questi comandi ad eccezione dell'ultimo si applicano agli elementi preventivamente selezionati.

Un modo alternativo per applicare le proprietà di sezione e materiale agli elementi trave e biella è il comando Pick bt . Per le piastre e le membrane si può usare l'analogo Pick pm .

I comandi di attribuzione vengono anche usati per scorrere gli archivi o per avere informazioni sui valori numerici corrispondenti alle caratteristiche applicate.

2.12. COME AVERE INFORMAZIONI SUL MODELLO

In Sargon si possono avere informazioni sui contenuti del modello in vari modi: molte informazioni vengono date mediante simboli grafici appositamente preparati (molle, vincoli, svincoli, tipo delle azioni, ecc), tuttavia non è evidentemente possibile trasferire tutte le informazioni in questo modo.

Se si vogliono informazioni su singoli nodi, elementi finiti o superelementi ci sono dei comandi appositamente studiati. Essi si trovano nel menù Interroga :

Nodi

Travi

Bielle

Piastre

Membrane

Molle

Superelementi

Ciascuno dei comandi precedenti dà tutte le informazioni contenute nella corrispondente struttura di dati.

Se si vogliono avere informazioni generali sul modello, come il numero dei vari oggetti, occorre usare il comando Dati Generali .

Per conoscere la distanza tra due o più nodi è necessario usare il comando Geometria .

Relativamente ai casi ed alle combinazioni ci sono i due comandi Casi, e Combinazioni. Il comando Azioni serve invece per conoscere le azioni presenti su uno o più oggetti scelti dall'utente. Per conoscere le masse su un nodo si usa il comando Nodi , mentre per conoscere la risultante delle masse su un gruppo di nodi selezionati si usa il comando Masse .

I comandi sotto il menu Mostra Snellezze consentono di avere una mappa a colori tracciata sulla base delle snellezze delle aste (travi, bielle e superelementi).

Se si conosce il numero di un nodo o di un elemento, e si vuole sapere dov'è si usa il comando Trova .

Un importante insieme di comandi si trova sotto il menu Oggetti Selezionati. Questi comandi sono importanti perchè si riferiscono all'insieme degli oggetti selezionati al momento della esecuzione

del comando, e quindi a gruppi di oggetti logicamente interconnessi.

In particolare è importante il comando Azioni perchè consente di avere la risultante delle azioni applicate sugli oggetti selezionati (nodi ed elementi): con questo comando si possono tenere sotto controllo le azioni applicate controllandone la correttezza.

2.13. COME GESTIRE I NOMI DEGLI OGGETTI

Ciascun nodo o elemento (comprese le molle ed i superelementi) può ricevere un nome che lo identifica. La opportunità di introdurre i nomi per gli oggetti deriva da queste considerazioni.

Quando si creano delle macro istruzioni gli elementi possono essere individuati grazie al loro nome, che avrà un'attinenza con la loro posizione;

Quando si modifica una mesh della quale sono già stati fatti dei plottaggi non si modifica l'identificatore degli elementi, ma solo il loro numero. E' così possibile riferire l'output al nome anzichè al numero, e quindi facilitare le fasi successive del lavoro (non dover rifare tutti i plottaggi).

In fase di selezione impiegando i nomi ed il carattere "*" è possibile selezionare con facilità insiemi di oggetti affini.

In nessun modo la gestione dei nomi è necessaria. Essa può invece costituire un aiuto in numerose occasioni.

Generalmente conviene assegnare i nomi agli elementi solo dopo aver completato il grosso della mesh: non è necessario assegnare i nomi mentre si aggiungono gli elementi. Una volta aggiunti gli elementi si vorrà dare un nome per esempio ai controventi, e allora si chiameranno i controventi "CONTR1", "CONTR2", eccetera, le colonne "COL1", "COL2", eccetera, e così via.

Il nome è un identificatore di 20 caratteri costituito da un prefisso alfanumerico ed un suffisso numerico. Il prefisso non deve finire con un numero.

Il comando da impiegare per assegnare il nome agli oggetti selezionati è Modifica Nomi . Questo comando serve sia ad assegnare un nuovo nome, sia a modificare il nome esistente, sia, al limite, a cancellare il nome. In fase di attribuzione del nome agli oggetti sarà cura dell'utente evitare di attribuire dei nomi già precedentemente assegnati. Per fare questo è sufficiente diversificare i prefissi alfanumerici nel corso delle successive operazioni di assegnazione. Per esempio le colonne del primo piano potranno essere "COLPP*", quelle del secondo piano "COLSP*" e così via. Sta all'utente decidere

il giusto compromesso tra la esigenza di diversificare i nomi e la esigenza di semplificare.

Una volta assegnati i nomi con una ragionevole suddivisione degli elementi è poi possibile sia selezionare in base al nome (Nome), sia far vedere stampati i nomi degli oggetti (Oggetti). Tutti i comandi di interrogazione sui singoli oggetti danno anche il nome.

Nel tabulato (Crea Listato) è possibile introdurre una tabella di corrispondenza Nome-Numero e Numero-Nome, in grado di consentire il riconoscimento di ogni oggetto anche nel tabulato.

2.14. COME GESTIRE I GRUPPI

Oltre al nome i nodi e gli elementi possono ricevere un numero di gruppo. Ogni modello nasce con 10 gruppi, ma il numero dei gruppi può essere aumentato in modo arbitrario. Ciascun gruppo si distingue dagli altri oltre che per il suo numero progressivo, anche per il colore che ad esso è associato e per una descrizione. Sia il colore che la descrizione possono essere fissati arbitrariamente dall'utente. Sia le operazioni di aggiunta di nuovi gruppi che quelle di modifica delle caratteristiche dei gruppi esistenti sono gestite dal comando Gruppi, nel menu Edit. La modifica del colore o della descrizione di un gruppo può essere fatta anche con il comando Gruppo, nel menu Edit-Proprietà, normalmente impiegato per assegnare gli oggetti selezionati ad un gruppo.

In Sargon il concetto di "gruppo" è molto generale. Possono far parte dello stesso gruppo sia elementi differenti per tipo che nodi ed elementi assieme. Gruppo è la riunione di un numero arbitrario di oggetti accomunati da una qualche caratteristica utile per l'utente. Per assegnare gli oggetti selezionati ad un gruppo esistente si usa il comando Gruppo, del menu Edit-Proprietà.

Nel caso dei nodi il numero di gruppo prelude alla trattazione sistematica dei collegamenti, ed in futuro nodi dello stesso gruppo saranno nodi aventi eguali caratteristiche di calcolo.

Nel caso degli elementi il numero di gruppo può essere adoperato per distinguere parti diverse del modello, in modo tale, ad esempio, da rendere più immediatamente comprensibili le operazioni di meshing. Se si vogliono vedere gli elementi colorati in base al loro numero di gruppo è possibile utilizzare il comando Elementi, del menu Mostra.

Il gruppo può anche essere adoperato per selezionare rapidamente le parti del modello che si intendono vedere e quelle che si intendono nascondere, grazie al comando Estrai.

In nessun modo l'utente è obbligato a decidere il gruppo mentre sta facendo la mesh. L'attribuzione degli elementi ai gruppi e la decisione di quanti e quali gruppi adottare può essere presa anche a mesh completata. Viceversa, se l'utente ha le idee chiare su come suddividere gli elementi in gruppi può farlo mentre prepara la mesh.

Per selezionare rapidamente oggetti appartenenti ad un gruppo è possibile adoperare il filtro di selezione basato sul gruppo (Filtro).

Se un modello viene fuso in un altro i suoi gruppi verranno accodati a quelli del modello padre (Fondi).

Sulla barra di stato della finestra attiva compare il gruppo corrente ("GR="). Nelle operazioni che comportano l'aggiunta di elementi (copia, rotazione, mirroring ed aggiunta diretta) i nuovi elementi apparterranno al gruppo attivo nel momento in cui si è eseguito il comando. Si noti che è possibile modificare il gruppo corrente mentre si stanno aggiungendo gli elementi (anche semplicemente cliccando a sinistra per incrementare, a destra per decrementare, sopra "GR="). Tutte le operazioni di divisione, splitting ed intersezione di elementi fanno invece sì che i nuovi elementi ereditino il gruppo degli elementi originari.

I gruppi sono un aiuto, non un vincolo per chi fa il modello. Se nella trattazione dei gruppi si incontra difficoltà, ed il modello può essere gestito agevolmente con gli ordinari strumenti di selezione, la definizione dei gruppi può essere omessa. Su modelli vasti e complessi la corretta gestione dei gruppi può rendere tutto molto più facile. In questi casi l'uso dei gruppi ancorchè non necessario è vivamente consigliato.

2.15. COME PREPARARE ED ESEGUIRE IL SOLVING

2.15.1. ANALISI STATICA CON SOLUTORI ESTERNI

Volendo eseguire il solving con uno dei solutori esterni con cui Sargon è interfacciato, occorre dapprima scrivere il file di input per il solutore scelto (Crea Input). Con i solutori esterni è possibile fare solo analisi statiche. Una volta scritto il file di input per il solutore scelto occorre uscire da Sargon e far

girare il solutore. Fatto ciò occorre rientrare in Sargon e caricare i risultati della analisi (Importa Risultati). A questo punto sarà possibile fare postprocessing ed eseguire le verifiche.

E' da notare che per varie ragioni (legate alla limitazione dei load case a, b, c, d, di sapV e derivati) nel file di input per i solutori esterni i carichi distribuiti sono trasformati in forze nodali equivalenti, e che quindi lo stato di sforzo calcolato dai solutori esterni non è quello "esatto", essendo necessario riaggiungere gli effetti delle forze di incastro perfetto. Questa operazione viene compiuta quando i risultati vengono nuovamente letti ed importati in Sargon.

2.15.2. ANALISI STATICA CON CLEVER

Per eseguire l'analisi statica con CLEVER è necessario usare il comando Analizza e attivare l'opzione relativa alla analisi statica. Il programma viene eseguito e, al suo termine, si viene riportati all'interno di Sargon: da quel momento è possibile fare postprocessing.

Segnaliamo la rigidità estrema con la quale CLEVER verifica che non vi siano ipostaticità o labilità: tutti i gradi di libertà devono essere vincolati o attaccati a qualche rigidità. In caso contrario il solutore si ferma e segnala il problema. In questa eventualità viene creato un campo di spostamenti fittizio nel quale lo spostamento (traslazione o rotazione) associato al grado di libertà sul quale è avvenuto il blocco è convenzionalmente posto eguale ad 1.

In questa eventualità ulteriori informazioni sono reperibili nel file .inf.

Cholesky sparse solver

A partire dalla versione 8.10 di Sargon è disponibile un nuovo tipo di solutore accanto al solutore skyline che è il primo messo a punto intorno alla metà degli anni '90. Si tratta di un solutore che usa sempre il metodo di Cholesky, ma sfruttando la sparsità della matrice di rigidità.

Il solutore in questione consente in molti casi di ottenere soluzioni nettamente più rapide di quelle ottenibili con il solutore skyline, e con minore occupazione di memoria, esso comunque non implementa alcuna divisione in blocchi della matrice con accesso al disco rigido, e dunque vi sono casi in cui, a causa della particolare struttura delle matrici, le richieste in termini di spazio di memoria per conservare la matrice triangolarizzata \mathbf{L} (dove $\mathbf{K}=\mathbf{L}\mathbf{L}^T$) superano le risorse disponibili. In questo caso il solutore si arresta con un messaggio di errore.

Benchè in un solutore sparse matrix alla Cholesky l'esigenza di rinumerare per diminuire la banda non ci sia, perché la matrice di rigidità viene immagazzinata con i suoi soli termini non

nulli, che non dipendono dalla banda, pure in effetti si ha che lo schema di sparsità della matrice triangolarizzata **L** non è identico a quello della matrice **K**, e quindi ci sono casi in cui il numero dei termini non nulli di **L** è nettamente maggiore del numero dei termini non nulli di **K**. In questi casi è possibile che benchè la fase di assemblaggio sia stata superata, non così risulti la fase di triangolarizzazione, durante la quale è necessario oltre allo spazio di **K** anche lo spazio per **L**.

Allo stato attuale il solutore sparse matrix non risulta ancora ottimizzato per quanto attiene alla rapidità nell'assemblaggio. Sono inoltre allo studio soluzioni che implementino il metodo del Gradiente Biconiugato Precondizionato e/o che migliorino le prestazioni del solutore per quanto attiene alla dimensione dello spazio richiesto per **L**.

Per ulteriori informazioni sul solutore CLEVER si rimanda al suo manuale.

2.15.3. ANALISI MODALE CON LEDA

Da un punto vista operativo l'analisi modale viene lanciata, esattamente come l'analisi statica, con il comando Analizza . A differenza della analisi statica, l'analisi modale è un'analisi di tipo iterativo, pertanto andrebbe correttamente impostata prima di essere eseguita.

In particolare è di estrema importanza controllare i risultati della analisi sia in termini di deformata modale (Mostra) sia in termini di massa partecipante (Interroga).

2.15.3.1. COME AGGIUNGERE MASSE AL MODELLO

Dalla versione 3.20 è possibile eseguire l'analisi modale ed a spettro di risposta con i moduli integrati LEDA e SPECTRUM. Per fare un'analisi modale è necessario applicare delle masse sul modello, le quali simulano la presenza dei carichi durante il terremoto. In campo dinamico, tanta più massa è applicata sul modello tanto più elevate saranno le sollecitazioni (Guida pratica alla analisi modale).

Pertanto l'aggiunta delle masse deve essere fatta in modo attento, onde evitare sovrastime o sottostime delle azioni.

Le masse possono essere aggiunte direttamente con il comando Aggiungi. Il comando somma i valori specificati alle masse già esistenti sui nodi selezionati al momento dell'esecuzione del comando stesso. Nello specificare i numeri occorre tenere presente che:

- 1) Generalmente le tre masse sono eguali nelle tre direzioni. E' possibile specificare masse diverse nelle varie direzioni per modellare comportamenti peculiari.

2) I valori specificati vengono interpretati sulla base delle unità di misura attive. Per le masse traslazionali conta l'unità di forza. La massa introdotta è quella che ha il peso introdotto nell'unità di forza attiva. Ad esempio, se è attivo kN e viene introdotta il numero 10, la massa è quella che dà un peso di 10kN (come accelerazione di gravità il programma assume 9.81 m/sec^2).

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^2 . Se fosse stato attivo “kN” e “cm” il programma avrebbe interpretato lo stesso numero come $100 \text{ kN cm}^2 = 100.000 \times 100 / 9810. \text{ t mm}^2$.

Per cancellare le masse (tutte e sei, le tre traslazionali più le tre rotazionali) dai nodi si fa così. Si selezionano i nodi su cui si vogliono cancellare le masse e poi si dà il comando Canc sel.

Esistono poi dei comandi che consentono di cancellare solo le masse traslazionali in una certa direzione, ovvero solo le masse traslazionali X (Canc selX), traslazionali Y(Canc selY) e traslazionali Z(Canc selZ).

Oltre ad aggiungere masse secondo valori specificati numericamente, è possibile aggiungere masse secondo i carichi già applicati con il comando Caso.

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. Se si fa così la massa degli elementi nel file di input per l'analisi modale (.din) viene posta eguale a 0.

Il comando Sposta consente di perturbare le masse correggendole in modo tale da generare una certa desiderata eccentricità.

Da “Analisi modale ragionata”, di Paolo Rugarli, EPC libri, ROMA, 2005.

Partendo da una certa distribuzione di masse, una pertinente correzione variabile linearmente con la ascissa può essere ottenuta in forma chiusa applicando le seguenti formule.

Sia \bar{x} la posizione del centro delle masse prima delle correzione ed $(\bar{x}+e)$ la posizione del centro delle masse che si vuole ottenere dopo la correzione, dove “e” è l’eccentricità accidentale desiderata. Sia inoltre “i” un indice che varia da nodo a nodo e che tiene in conto solo i nodi selezionati e con massa non nulla per un totale di “n” nodi. Immaginiamo che la massa m_i di ciascun nodo subisca una correzione Δm_i e che la correzione Δm_i sia funzione lineare di x , secondo la legge

$$\Delta m_i = ax_i + b$$

dove “a” e “b” sono due costanti. In tal caso, imponendo che la massa totale M non cambi e che la posizione del nuovo centro delle masse sia in $(\bar{x}+e)$, otteniamo le due equazioni seguenti:

$$\begin{cases} \sum_i (m_i + \Delta m_i) = M \\ \sum_i x_i (m_i + \Delta m_i) = M(\bar{x} + e) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \sum_i \Delta m_i = \sum_i (ax_i + b) = 0 \\ \sum_i x_i \Delta m_i = \sum_i x_i (ax_i + b) = Me \end{cases}$$

$$\begin{cases} b = \frac{-a \sum_i x_i}{n} \\ a = \frac{nMe}{n \left(\sum_i x_i^2 \right) - \left(\sum_i x_i \right)^2} \end{cases}$$

Queste formule entrano però in crisi quando la correzione è negativa e superiore alla massa originaria, quando cioè

$$m_i + \Delta m_i < 0$$

condizione che si raggiunge se la eccentricità “e” supera un certo valore di soglia, dipendente dal problema in esame.

2.15.3.2. 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 richiesti);

- 3) La tolleranza (default = 1.e-8);
- 4) Il massimo numero di iterazioni (default = 20)
- 5) Se dare o non dare densità di massa agli elementi per l'analisi modale.
- 6) L'eventuale shift

Per tutti i valori numerici il programma fornisce un ragionevole default. L'utente può dover cambiare tali default quando la sua analisi richiede un numero di modi diverso, non riesce a convergere o converge lentamente. A tal fine si osservi che ([Guida pratica alla analisi modale](#)):

- più è elevato il numero dei modi più tempo e spazio occorre per risolvere l'analisi. In genere si chiedono fino a poche decine di modi, non di più (fanno eccezione casi particolari). Nella grande maggioranza dei casi 6-10 modi sono sufficienti. Il numero dei modi richiesto non può essere superiore al numero di masse applicate ai vari gradi di libertà. Il numero dei modi non può essere superiore all'ordine del sottospazio.
- più elevato è l'ordine del sottospazio più elevata è la convergenza, che dipende dal rapporto tra la prima e l'ultima frequenza del sottospazio. Se vi sono molti modi con pulsazione identica o simile può essere necessario aumentare l'ordine del sottospazio. Aumentare l'ordine del sottospazio comporta anche un aumento dello spazio richiesto in RAM. L'ordine del sottospazio non può essere inferiore al numero dei modi richiesto.
- la tolleranza consigliata è 1.e-8 per avere buoni risultati sugli autovettori di ordine superiore. Tolleranze minori possono portare a risultati meno precisi sulle componenti meno significative degli autovettori superiori. Al crescere della tolleranza il tempo di calcolo diminuisce. La tolleranza è definita come il massimo valore, al variare dei modi richiesti, del seguente numero, essendo i l'indice di iterazione:

$$TOL = (\Omega_{i+1} - \Omega_i) / \Omega_i$$

- il massimo numero di iterazioni al termine delle quali il programma accetta per buono il risultato ottenuto è per default 20. Spesso si può convergere più semplicemente aumentando l'ordine del sottospazio piuttosto che aumentando il numero di iterazioni. Un elevato numero di iterazioni per

convergere è indice di cattiva convergenza: meglio aumentare l'ordine del sottospazio.

- dare o non dare la massa agli elementi dipende esclusivamente da considerazioni di modellazione. Essenziale è comunque darla, se c'è, e non darla due volte. Se il flag GRAVITA' è acceso la massa degli elementi sarà aggiunta alle masse applicate ai nodi in sede di soluzione. Se il flag è spento si terrà conto solo delle masse applicate ai nodi.
- L'applicazione di uno shift è necessaria per risolvere situazioni nelle quali la struttura gode di uno o più moti rigidi, tipicamente le oscillazioni proprie di un corpo libero. In questi casi specificando uno shift (che ha le dimensioni fisiche di una pulsazione al quadrato), la matrice di rigidezza perde la singolarità ed il problema può venire risolto. Lo shift può essere positivo o negativo. Se è negativo si ha la certezza di non generare termini diagonali negativi sulla matrice di rigidezza. Se lo shift è troppo piccolo esso non è in grado di eliminare la singolarità, e la matrice non sarà invertita. Conviene fare qualche test per determinare il valore di shift ottimo per il problema in esame.

2.15.3.3. COME ESAMINARE I RISULTATI DI UN'ANALISI MODALE

I risultati di un'analisi modale si esaminano in due modi: si guardano le forme modali, i periodi e le masse partecipanti da dentro Sargon, si guarda il file di output MODELLO.DOU da fuori Sargon.

Il file .DOU contiene le forme modali, i periodi, le frequenze, le rispettive tolleranze, le percentuali di massa partecipante, i fattori di partecipazione.

Nel file .DOG è contenuta una statistica su quanto avvenuto nel corso dell'analisi modale.

A schermo è possibile vedere la deformata modale di un certo modo usando il comando Mostra, che chiede di specificare a quale modo si è interessati. Il riepilogo dei periodi, della massa partecipante complessiva e della massa partecipante di ogni modo è ottenuto con il comando Interroga.

Scelto un certo modo, che deve essere coerente con il numero dei modi disponibili, il programma fa vedere la deformata modale. I valori di percentuale di massa partecipante sono estremamente significativi, perchè dicono quanto un modo sia importante per la struttura in esame. Al crescere della massa partecipante cresce l'importanza del modo in questione (Guida pratica alla analisi modale).

2.15.4. ANALISI A SPETTRO DI RISPOSTA CON SPECTRUM

Da un punto vista operativo l'analisi modale viene lanciata, esattamente come l'analisi statica, con il comando Analizza . Perchè l'analisi a spettro di risposta possa essere eseguita è necessario chiedere contestualmente una analisi modale, oppure che l'analisi modale sia stata eseguita in precedenza. Inoltre è necessario che esistano adeguati casi sismici. Un caso di carico è adeguato ad essere trattato per l'analisi a spettro di risposta quando soddisfa i seguenti requisiti:

- 1) Ha un'etichetta di tipo Sisma (analisi modale).
- 2) In quel caso di carico è presente un'unica forza nodale, diretta come il sisma, e con una intensità in Newton pari alla intensità del sisma. Il nodo su cui applicare la forza è arbitrario. Se ad esempio il sisma è diretto come Y ed ha una intensità pari a 1.5 volte quella prevista dallo spettro, occorrerà dare ad un nodo una forza (0, 1.5, 0) in Newton.

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, delle norme ASCE-7 2005 oppure per punti (file SPETTROX.PTS, SPETTROY.PTS, SPETTROZ.PTS del direttorio 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).

Nel primo caso l'equilibrio viene perso, nel secondo caso no. Per ovviare all'inconveniente del primo metodo, Sargon consente di ricalcolare i tagli sulla base dei momenti di calcolo, e consente di decidere il segno dei diagrammi di momento. Tale possibilità andrebbe attentamente presa in considerazione in vista delle verifiche di resistenza e stabilità.

2.15.4.1. COME IMPOSTARE UNA ANALISI A SPETTRO DI RISPOSTA

2.15.4.1.1. 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 $F_x = 1 \text{ N}$, $F_y = 0$, $F_z = 0$. E' da notare che nell'aggiungere la forza occorre usare come unità il Newton. Infatti il numero specificato non stabilisce solo la direzione, ma anche l'intensità, intendendosi che una forza doppia ha effetti doppi. Se si specifica 1N come intensità l'effetto sarà quello dello spettro con moltiplicatore pari a 1. Se si specificano 2N l'effetto sarà quello dello spettro con moltiplicatore pari a 2, e così via.

Riepilogando: per ogni caso di carico sismico occorre aggiungere un'unica forza nodale, definita in Newton, diretta come il sisma e con intensità pari all'intensità che si desidera per gli spettri. Normalmente pertanto si applicherà una forza avente componenti unitarie. Se per errore la forza unitaria viene applicata usando per esempio le tonnellate, i risultati saranno palesemente fuori scala, perché saranno 9810 volte quelli dello spettro definito dalle norme.

Esempio 1

Si vuole far sì che nel caso 3 agisca un sisma diretto come Y e non si vuole amplificare o ridurre lo spettro di normativa. Si etichetta il caso 3 come sismico, poi si cambia l'unità di misura della forza e si sceglie N. Quindi si applica su un nodo qualsiasi una forza con queste componenti (0, 1, 0).

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 (1, 1, 0).

Per eseguire un'analisi a spettro di risposta è necessario che sia stata preventivamente eseguita un'analisi statica ed un'analisi modale. Nessun problema se l'analisi a spettro di risposta viene eseguita in cascata dopo le precedenti.

I risultati dell'analisi a spettro di risposta vengono caricati nei casi che soddisfano i requisiti precedenti, sovrascrivendo i risultati ottenuti con l'analisi statica degli stessi. Tutto ciò è compiuto automaticamente. Occorre prestare attenzione al fatto che 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.

2.15.4.1.2. Come fissare gli spettri

Analisi a Spettro di Risposta

Spettro X | Spettro Y | Spettro Z | Combinazione dei Modi - Fattori d'errore

Spettro Eurocodice 8

1 Tipo dello spettro (1 o 2)

1 C (Categoria del Sottosuolo A=1, B=2, C=3, D=4, E=5)

0.07 ag (Accelerazione del suolo in g) ☐ Attiva

3 q (Fattore di struttura)

1 Fattore di importanza

Spettro D.M. 14-1-2008 (NTC) - Suppl. G.U. n° 29 del 4-2-2008

1 C (Categoria del suolo A=1, B=2, C=3, D=4, E=5)

1 ST (coefficiente di amplificazione topografica)

0.35 ag (accelerazione del suolo in g)

2.5 Fo (fattore di amplificazione spettrale massima)

0.34 T*c (periodo inizio tratto velocità costante)

3 Fattore di struttura ☐ Attiva

ASCE-7 (2005) - (IBC 2006)

0.25 S_{DS} - par. 11.4.4. (g) - accelerazione di picco in g

0.1 S_{D1} - par. 11.4.4. (g) - accelerazione per T=1sec in g

4 TL (par. 11.4.5.)

1 I (fattore di importanza par. 11.5.2) ☐ Attiva

5 R (fattore di struttura, par. 12.9.2)

Spettro Utente

files: spettrox.pts, spettroy.pts, spettroz.pts ☐ Attiva

Spettro ordinanza 3274 del 20/3/2003 suppl. G.U. n°105 del 8/5/2003

3 Zona sismica (1, 2, 3, o 4)

1 Categoria profilo stratigrafico (A=1, B=2, C=3, D=4, E=5)

4 Fattore di struttura q ☒ Attiva

1 Fattore di importanza

Spettro Decreto Ministeriale 16-1-1996

9 S (Grado di sismicità)

1 I (Fattore di protezione sismica) ☐ Attiva

1 E (Coefficiente di fondazione)

1 B (Coefficiente di struttura)

OK Annulla Applica ?

Per ognuna delle tre possibili direzioni principali, X, Y e Z è necessario stabilire lo spettro di risposta. Lo spettro può essere quello previsto dal DM 24-1-1986, dall'Ordinanza 3274 del 20/3/2003, dal DM 14-1-2008 o quello previsto dall'Eurocodice 8, o dalle norma ASCE-7 2005 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 \square ed il coefficiente di struttura \square . Per il significato dei parametri ed il campo di validità si rimanda alla norma.

Per quanto riguarda le Norme Tecniche per le Costruzioni DM 14-1-2008, occorre preventivamente determinare per mezzo del programma NTCSISMA.EXE, presente nella cartella di installazione, i valori di A_g , F_o e T_c^* relativi al sito in esame ed allo stato limite considerato. Poi, oltre a questi tre numeri, occorre fornire il coefficiente di amplificazione topografica S_T , la categoria del suolo C , e il fattore di struttura q .

Si rimanda all'articolo www.castaliaweb.com/ita/discussioni/zonegriglieostanze.pdf per una estesa discussione sulla modalità di determinazione della azione sismica in accordo alla nuova norma e sui commenti che si è ritenuto di dover fare alla determinazione della azione sismica.

Nel caso in cui si debba fornire lo spettro 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 . Nello spettro verticale (z) la A_g deve comunque essere quella orizzontale: sarà poi il programma a calcolare quella verticale.

Nel caso in cui si debba fornire lo spettro secondo l'EC8 occorre fornire il tipo di spettro, la classe del suolo S ($A=1$, $B=2$, $C=3$), l'accelerazione del suolo in g , A_g ed il "behaviour factor" q . Anche in questo caso la A_g deve essere quella orizzontale anche per lo spettro verticale. Sarà poi il programma a determinare il valore di A_g verticale in base alle regole di normativa.

Nel caso in cui si debba fornire lo spettro secondo le norme ASCE-7 occorre fornire il valore di SDS e di $SD1$ in unità g , il periodo T_L in secondi, il fattore di importanza ed il fattore di struttura. In questo caso la accelerazione verticale è eguale a quella specificata nel dialogo.

Se invece si sceglie di fornire lo spettro per punti, in modo diverso da quanto previsto dalle due norme precedenti, occorre modificare il file \SPETTROX.PTS, per lo spettro X , il file \SPETTROY.PTS, per lo spettro Y , il file \SPETTROZ.PTS, per lo spettro Z . Questi sono file ASCII di significato immediatamente comprensibile (formato SAPIV: l'ascissa è in secondi, l'ordinata è in unità g . Lo spettro ha un certo numero di punti 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.

2.15.4.1.3. Come combinare i modi e fissare il fattore di errore

L'analisi a spettro di risposta serve a ottenere risultati fruibili in termini di verifiche a partire dai risultati di un analisi modale. SPECTRUM fa questo in tre modi: con il metodo NRC Guide 1.92, o anche SRSS method (square root of the sum of the square); con la Complete Quadratic Combination (CQC); e con il metodo dell'amplificazione modale.

Per scegliere il metodo NRC Guide è necessario fornire un insieme di parametri (dialogo Tipo di spettro).

Il numero "cluster" (Guida pratica alla analisi modale) 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 $(\Omega_{i+1} - \Omega_i) / \Omega_i < \text{cluster}$ l'effetto dei due modi verrà sommato prima di eseguirne il quadrato.

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, mt, m2 ed m3 devono essere tutti 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" serve a decidere il segno del momento torcente.

Il numero "m2" ha una doppia funzione. Se è diverso da zero i tagli T3 al primo ed al secondo estremo verranno ricalcolati in modo da far equilibrio ai momenti agenti. In particolare, se "m2" è positivo il diagramma di momento sull'asta sarà tutto dello stesso segno. Se invece "m2" è negativo il diagramma di momento sull'asta sarà a farfalla. In ogni caso se "m2" è diverso da zero i tagli T3 saranno ricalcolati. La scelta sulla distribuzione influenza il calcolo del momento equivalente a stabilità. Pertanto deve essere compiuta con cura.

Il numero "m3" ha una doppia funzione. Se è diverso da zero i tagli T2 al primo ed al secondo estremo verranno ricalcolati in modo da far equilibrio ai momenti agenti. In particolare, se "m3" è positivo il diagramma di momento sull'asta sarà tutto dello stesso segno. Se invece "m3" è negativo il diagramma di momento sull'asta sarà a farfalla. In ogni caso se "m3" è diverso da zero i tagli T2 saranno ricalcolati. La scelta sulla distribuzione influenza il calcolo del momento equivalente a stabilità. Pertanto deve essere compiuta con cura.

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 alla 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 o Z (non può essere usato un sisma diretto come la bisettrice del piano xy).

A partire dalle versione 7.1 la soluzione mediante il metodo dello spettro di risposta viene eseguita – a richiesta – anche secondo il metodo dello spettro di risposta con fattore di errore. Per una estesa trattazione del tema, si rimanda all’articolo allegato: Spettro di risposta con fattore di errore.

Il fattore di errore è un numero che è considerato in genere maggiore di 1 e dà conto del fatto che una certa grandezza al valore nominale, d^* , possa invece assumere un valore da questo diverso. Pertanto il programma indaga cosa succede se il valore “reale” d è più basso (d^*/f) oppure più alto ($d*f$) di quello nominale d^* .

Il fattore di errore non è né potrebbe essere un numero “rigoroso”, probabilistico o “esatto”, ma solo una (peraltro fondamentale) stima ingegneristica, motivata da considerazioni che dipendono dal singolo problema in esame. Il fattore di errore è un grado di libertà che il progettista mantiene per sé e che serve ad indagare situazioni prossime, ma non simili, a quelle allo studio.

Vengono definiti i seguenti fattori di errore:

Sul fattore di struttura (f_{eq}). Ovviamente il fattore di struttura “di calcolo” risulterà pari a q^*/f , essendo a favore di sicurezza il numero minore. Porre $f_q=1$ significa non variare il coefficiente di struttura nominale.

Sulla intensità di massa a parità di distribuzione (f_{eM}). In genere spostamenti e sollecitazioni aumentano con la massa, e quindi generalmente il programma finirà con l’adottare una risposta con un livello di massa pari a $M*f_{eM}$. Porre $f_{eM}=1$ significa non variare la intensità di massa. Questo fattore di errore è a parità di distribuzione, e quindi non c’entra nulla con l’eccentricità accidentale, che dovrà essere studiata a parte.

Sulla intensità del modulo elastico (f_{eE}). In pratica la rigidezza viene variata in modo omogeneo a parità di distribuzione. Ciò viene fatto anche quando nel modello compare più di un materiale. Non esiste un caso valido in generale. Gli spostamenti tendono a diminuire all’aumentare di E , ma le azioni interne restano invariate o aumentano. Porre $f_{eE}=1$ significa non variare il modulo di elasticità e quindi non variare la rigidezza.

Sul periodo (f_{eT}) a causa di errori non dipendenti dalla intensità di massa o di rigidezza. Tale fattore di errore tiene in conto le incertezze sul periodo di calcolo dovute alla discretizzazione alle dimensioni geometriche, ecc..

In generale, detto T il periodo di un modo, C il suo coefficiente di risposta, X lo spostamento ad esso associato, e F la azione interna ad esso associata, valgono le seguenti espressioni per i fattori di errori derivati:

$$f_{eT} = f_{eaT} \sqrt{\frac{f_{eM}}{f_{eE}}} \quad (*)$$

$f_{eC} = f_{eC}(T, f_{eaT}, f_{eM}, f_{eE}, f_{eq})$ una funzione che dipende dallo spettro adottato

$$f_{eX} = f_{eC} f_{eT}^2$$

$$f_{eF} = f_{eM} f_{eC}$$

Il programma calcola dapprima dei periodi « lower bound » ed « upper bound » grazie alla (*). Da questi può valutare dei coefficienti di risposta “lower bound” e “upper bound” e quindi dei fattori di errore su C , f_{eC} . Fatto ciò, il programma indaga sugli spostamenti e sulle azioni interne mediante le due formule indicate, e quindi perviene ai massimi valori (>1) per f_{eX} ed f_{eF} . A questo punto i valori “nominali” degli spostamenti saranno amplificati da f_{eX} , mentre i valori nominali degli sforzi saranno amplificati da f_{eF} . Il risultato è una sovrastima a favore di sicurezza, tenendo in conto possibili variazioni di fattore di struttura, della intensità di massa a parità di distribuzione, della intensità di rigidezza a parità di distribuzione, del periodo a causa di errori diversi da quelli indicati.

Poiché in generale f_{eX} ed f_{eF} saranno diversi, è normale che gli spostamenti in uscita non siano “coerenti” con le azioni interne calcolate sul modo. Il programma prende le variazioni che comportano, separatamente, il caso peggiore (spostamenti maggiori, azioni interne maggiori).

Un volta calcolati gli effetti modali in questo modo, questi vengono poi combinati per le vie normali.

2.15.4.2. Come usare NTCSISMA

Interfaccia di NTCSISMA

Appena eseguito il programma questo si presenta con la interfaccia della figura precedente. Scopo del programma è fornire i risultati elencati nel riquadro **Risultati**, vale a dire:

- Il periodo di riferimento della costruzione (in anni).
- Il periodo di ritorno dell'evento sismico (in anni).
- La accelerazione di riferimento del terreno (a_g , in unità g).
- Il fattore di amplificazione spettrale massima (F_o , numero puro).
- Il periodo di inizio del tratto dello spettro a velocità costante (T_c^* , secondi).

I dati di ingresso da fornire al programma sono:

- La classe d'uso della costruzione (par. 2.4.2.).
- La vita nominale della costruzione (par. 2.4.1.).
- La probabilità di superamento nel periodo di riferimento, in pratica la probabilità che nel corso della vita di riferimento avvenga un sisma. La severità del sisma aumenta al diminuire della *probabilità di superamento*. In pratica la norma fornisce i valori delle

probabilità di superamento alla tabella 3.2.I, per ogni possibile stato limite. La pressione dei bottoni contrassegnanti un certo stato limite (SLO, SLD, SLV, SLC) comporta l'automatico aggiornamento della probabilità. Questa può tuttavia anche essere specificata liberamente (con un numero compreso tra 0,00001 e 1).

- La latitudine e la longitudine del sito ove è collocata la costruzione. Queste vanno date in gradi utilizzando la notazione decimale (un numero seguito *da un punto* e da una serie di cifre decimali, ad esempio 44.23487). Nello specificare la latitudine e la longitudine può essere di grande aiuto premere il tasto **Lista località**, in modo da poter scegliere la località di interesse da una lista di 33600 nomi. Se si digitano manualmente tali coordinate, premendo il tasto **Aggiorna** si ha un immediato ricalcolo coi dati appena introdotti.

Il programma calcola come prima cosa il periodo di riferimento mediante la formula (par. 2.4.3.):

$$V_R = V_N C_U$$

Essendo C_U il coefficiente d'uso, definito in funzione della classe d'uso (cfr. Tab. 2.4.II). Poi viene calcolato il periodo di ritorno T_R mediante la formula seguente (allegato A):

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

essendo P_{VR} la probabilità di superamento. Se tale periodo di ritorno rientra tra quelli tabellati nell'allegato B (30 anni, 50 anni, 72 anni, 101, 140, 201, 475, 975, 2475) non è necessaria una interpolazione nel dominio del tempo, altrimenti sì, impiegando la formula 2 dell'allegato A:

$$\log(p) = \log(p_1) + \frac{\log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right)}{\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)}$$

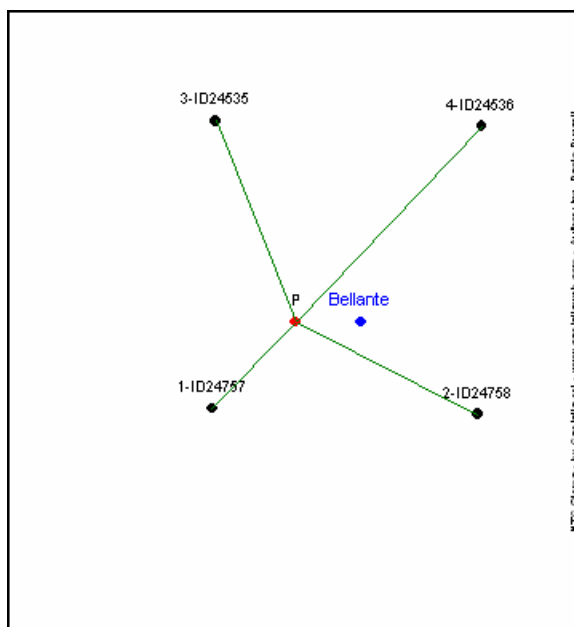
In tale formula p è la grandezza da calcolare, p_1 e p_2 sono le grandezze note ai due periodi di ritorno T_{R1} e T_{R2} , mentre T_R è il periodo di ritorno relativo alla grandezza p (compreso tra T_{R1} e T_{R2}). La formula si applica a a_g , F_o e T_c^* .

Se il periodo di ritorno è inferiore a 30 anni il programma lo pone comunque eguale a 30 anni. Se il periodo di ritorno è superiore a 2475 anni il programma lo pone comunque eguale a 2475 anni. Ciò in accordo a quanto specificato nella Norma nella nota a piè di pagina di allegato A.

Nota la latitudine e la longitudine del punto indicato il programma cerca nel reticolo di riferimento la maglia elementare entro la quale si trova il punto indicato. Quindi vengono determinate le grandezze nei nodi della maglia al periodo di ritorno desiderato (con una

interpolazione nel dominio del tempo come spiegato, se questa è necessaria), ed infine si esegue una interpolazione nello spazio mediante le seguente formula di interpolazione (allegato A, formula [3]):

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$



Esempio di interpolazione su maglia elementare

Nella precedente formula p è il numero cercato (a_g , F_o o T_c^*) nel punto di cui si è indicata la latitudine e la longitudine, p_i sono i numeri noti sui quattro punti del reticolo di riferimento e d_i sono le distanze dai punti del reticolo di riferimento. Le distanze sono calcolate dal programma in chilometri.

Se il punto non appartiene ad alcuna maglia del reticolo di riferimento (punti fuori confine) o se il programma non è riuscito a trovare la maglia di riferimento il programma segnala il problema ed usa i quattro punti più vicini al punto specificato.

Nel riquadro grafico il programma disegna:

- Il punto prescelto in colore rosso, sempre al centro del quadrato;
- I quattro punti della maglia impiegata del reticolo di riferimento con i loro identificatori (2-ID24757 vuol dire secondo punto più vicino al punto dato, il punto della griglia di riferimento di identificatore 24757).

- La località più vicina al punto indicato (punto e scritta in colore azzurro).

Una volta eseguito il calcolo si possono produrre i seguenti output:

- Immagine a stampa del riquadro grafico con il comando **Stampa**
- Copia negli appunti della immagine del riquadro grafico con il comando **Copia** (tale immagine potrà poi essere incollata in qualsiasi documento come qui fatto per la immagine di figura precedente).
- Listato in formato TXT con il comando **Crea Listato**.

Di seguito si dà un esempio di tale listato:

NTC SISMA	
Copyright (c) 2008-2008 Castalia srl - All rights reserved - www.castaliaweb.com	
Dati sul sito	
Latitudine: 42.750000 Longitudine: 13.783333	
Dati sulla costruzione	
Classe d'uso: 2	
Vita Nominale: 50 anni	
Coefficiente d'uso: 1.000000	
Vita di riferimento: 50.000000 anni	
Probabilità di superamento nella vita di riferimento: 0.100000 (SLV) Periodo di ritorno: 474.561079 (anni)	
Punti impiegati sulla maglia di riferimento	
Primo punto: ID=24757 Lat.=42.735000 Long.=13.762000 Distanza=2.411831 Km	

Secondo punto: ID=24758 Lat.=42.734000 Long.=13.830000 Distanza=4.205818 Km
 Terzo punto: ID=24535 Lat.=42.785000 Long.=13.763000 Distanza=4.230975 Km
 Quarto punto: ID=24536 Lat.=42.784000 Long.=13.831000 Distanza=5.425280 Km

Valori finali calcolati

ag = 0.1766 g
 Fo = 2.4482
 Tc*= 0.3456 sec

Nell'impiegare il programma si tengano presenti i seguenti importanti aspetti.

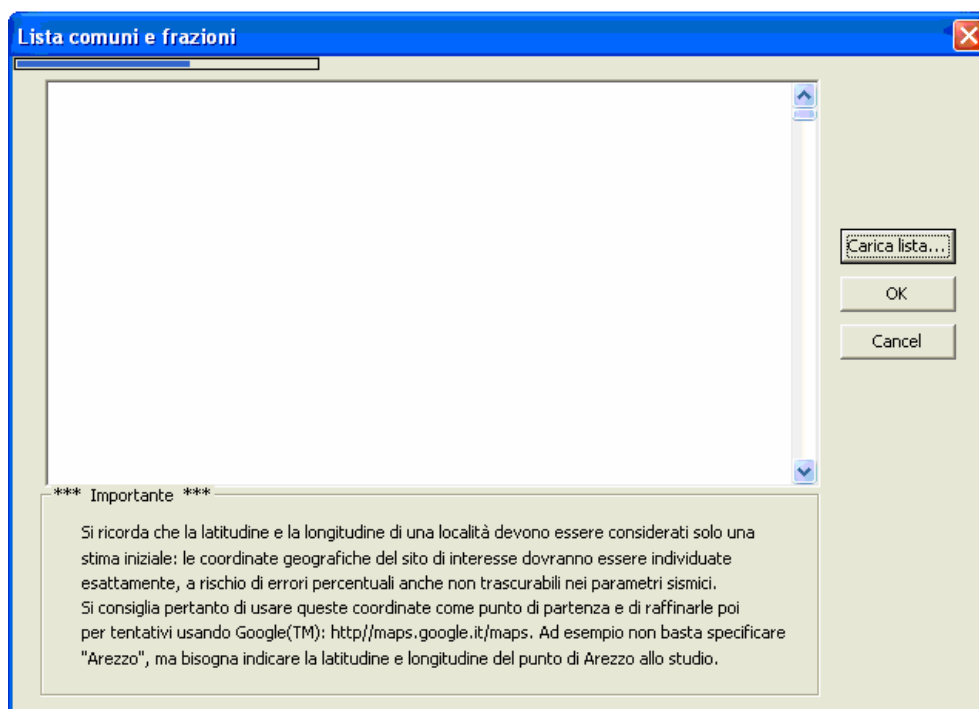
Quando si preme il bottone **Lista Località** si ha accesso al dialogo della figura seguente.



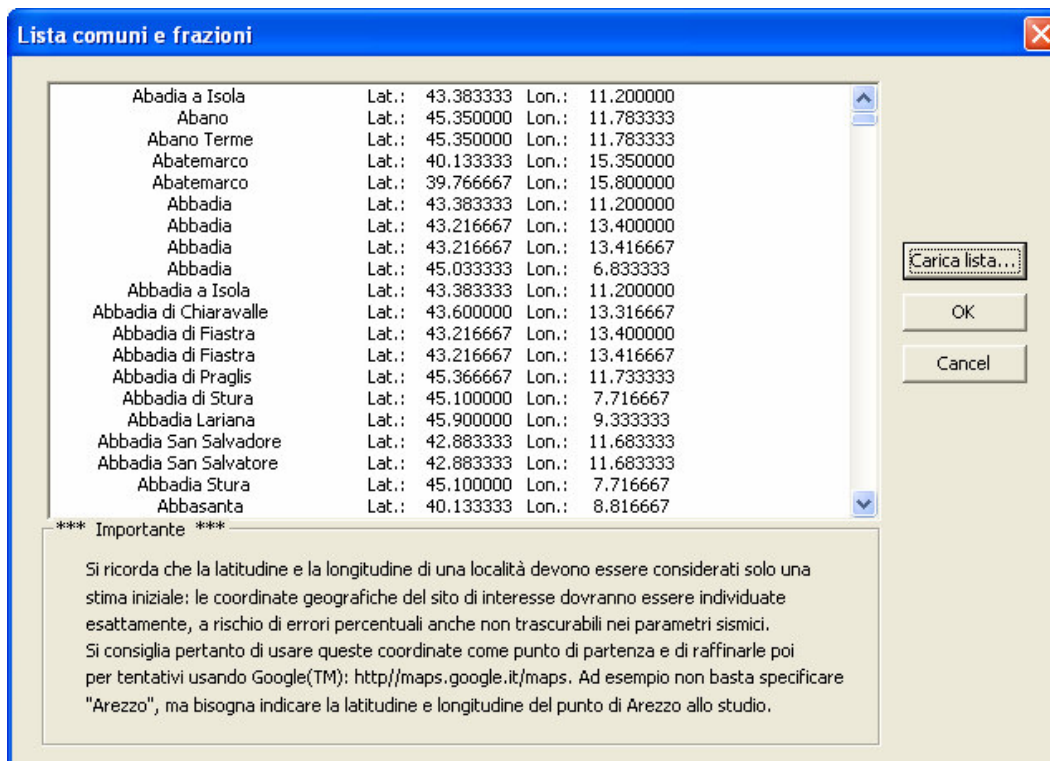
Dialogo caricamento lista località

La successiva pressione del bottone **Carica Lista** dà avvio al caricamento dei dati nella lista. Durante il caricamento un contatore dà una idea del progressivo riempirsi della lista e consente di stimare il tempo residuo. Dato che si devono caricare ben 33600 località questa operazione può

richiedere qualche cinquina di secondi. Nella figura successiva si vede la finestra nel corso del caricamento.



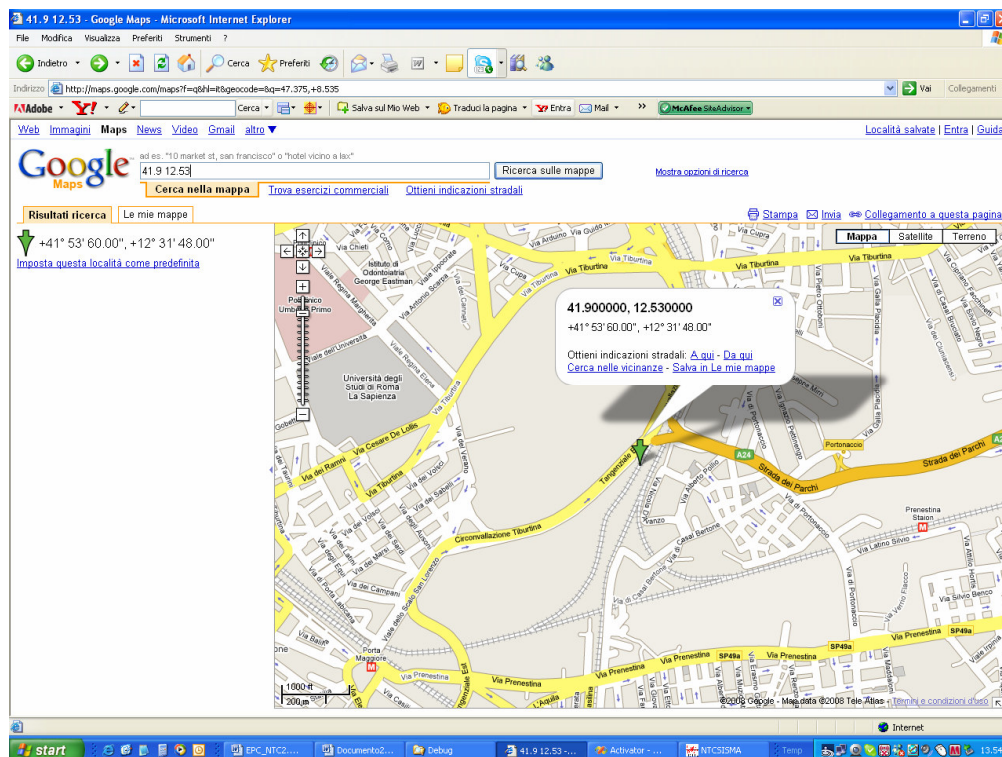
Lista delle località nel corso del caricamento



Lista delle località al termine del caricamento

Al termine del caricamento la lista si presenta come nella figura precedente. Scorrendo la lista è possibile scegliere la località di interesse selezionando la riga corrispondente. Si fa presente che all'interno della lista delle 33600 località ci sono anche le località corrispondenti alle isole descritte nell'allegato B, tabella 2 (Arcipelago Toscano, Isole Egadi, Pantelleria, Sardegna, Lampedusa, Linosa, Ponza, Palmarola, Zannone, Ventotene, Santo Stefano, Ustica, Tremiti, Alicudi, Filicudi, Panarea, Stromboli, Lipari, Vulcano, Salina), che sono fuori dal reticolo di riferimento e per le quali il programma non può quindi essere applicato. Per tali isole i valori vengono dati in chiaro, senza bisogno della interpolazione nel dominio delle distanze, nel citato Allegato B, tabella 2. Al termine, se si esce con **OK**, i dati di latitudine e di longitudine della località selezionata compariranno al posto di quelli precedenti nella finestra principale del programma. Inoltre, il calcolo verrà automaticamente aggiornato.

Si consiglia di controllare sempre usando GoogleTM (come spiegato precedentemente) che la latitudine e la longitudine suggerite dal programma siano esattamente quelle di interesse. Ciò perché sebbene la lista sia stata presa da una fonte assolutamente autorevole errori possono sempre essercene. Il primo controllo da fare, quindi, è che usando GoogleTM con la latitudine e la longitudine indicate dal programma (e coerenti con la lista utilizzata dallo stesso) si ritrovi la località desiderata. L'uso di GoogleTM può anche servire a raffinare le coordinate geografiche in modo da meglio determinare l'esatto punto di interesse, nello spirito di quanto richiesto dalla Norma. Si noti infatti che la maglia di riferimento ha una dimensione di circa 5Km e che quindi è con tale precisione che si deve stabilire la latitudine e la longitudine.

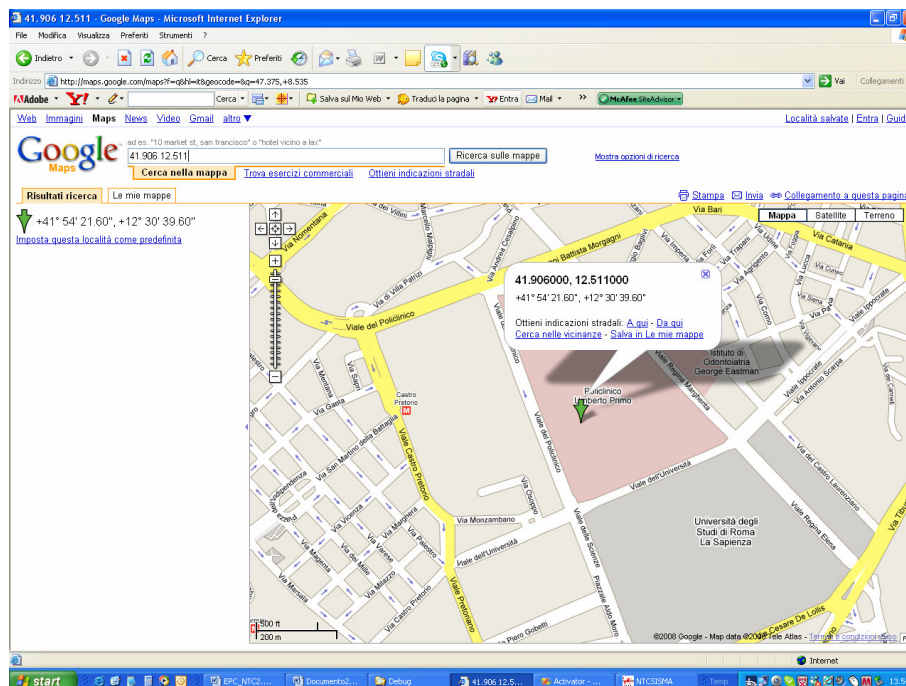


Roma Prenestina

Si debba fare un lavoro al Policlinico Umberto I, a Roma. Si consideri dapprima la coppia di coordinate di Roma Prenestina, così come fornite dal programma NTCSISMA:

(41.9, 12.53).

Con GoogleTM ritroviamo Roma e precisamente la zona in prossimità della Via Prenestina. Correggendo manualmente la latitudine e la longitudine, troviamo le coordinate del Policlinico Umberto Primo:



Policlinico Umberto I, Roma

Ciò ci porta a correggere le coordinate geografiche arrivando alla coppia:

(41.906, 12.511)

I risultati che si ottengono nei due casi ***non sono identici***. Infatti nel primo caso troviamo questi risultati:

The screenshot shows the NTC SISMA software interface. On the left, a map displays four points connected to a central point labeled 'Roma Prenestina'. The points are labeled: 4-ID28290, 2-ID28291, 3-ID28512, and 1-ID28513. Below the map is a zoom slider and buttons for 'Stampa...', 'Copia', 'OK', and 'Annulla'. On the right, there are several input fields and buttons for configuring the analysis.

Classe d'uso

- ☐ Classe d'uso I - presenza occasionale di persone
- ☒ Classe d'uso II - normali affollamenti
- ☐ Classe d'uso III - affollamenti significativi
- ☐ Classe d'uso IV - edifici con funzioni pubbliche o strategiche importanti

Vita Nominale

50 Anni

10 opere provvisorie; 50 opere ordinarie; 100 grandi opere

Probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR

0,1 Probabilità

Posizione del sito

41.9 Latitudine (ad esempio: 45.325)

12.533333 Longitudine (ad esempio: 11.896)

Risultati

50 Periodo di riferimento

474.56107 Periodo di ritorno (anni)

0.1266833 Ag (in unità g)

2.6114325 Fo

0.2940450 Tc*

Roma Prenestina: (41.9, 12.533333)

Mentre nel secondo caso troviamo questi altri:

The screenshot shows the NTC SISMA software interface. On the left, a map displays four reference points around a central point labeled 'Roma-Tiburtina'. The points are labeled: 1-ID28290, 2-ID28512, 3-ID28291, and 4-ID28513. On the right, there are several input fields and buttons. The 'Classe d'uso' section has four radio buttons, with 'Classe d'uso II - normali affollamenti' selected. The 'Vita Nominale' section has a text box for '50 Anni'. The 'Probabilità di superamento nel periodo di riferimento VR' section has a text box for '0.1 Probabilità' and four buttons: SLO, SLD, SLV, and SLC. The 'Posizione del sito' section has text boxes for '41.906 Latitudine (ad esempio: 45.325)' and '12.511 Longitudine (ad esempio: 11.896)', with buttons for 'Aggiorna!' and 'Lista località...'. The 'Risultati' section has text boxes for '50 Periodo di riferimento', '474.56107 Periodo di ritorno (anni)', '0.1216582 Ag (in unità g)', '2.6160229 Fo', and '0.2982177 Tc*', with a button for 'Crea listino...'. At the bottom left, there is a zoom slider and buttons for 'Stampa...', 'Copia', 'OK', and 'Annulla'.

Roma, Policlinico Umberto I: risultati con (41.906, 12.511)

Le differenze in questo caso di esempio, scelto in una locazione assolutamente casuale, sono legate alla a_g .

Roma Prenestina $a_g=0.1266$

Roma Policlinico $a_g=0.1216$

Differenza percentuale: 4%

Peraltro se si esaminano i quattro punti di riferimento si trovano queste accelerazioni nel raggio di 5 Km (per $T_R=475$ anni):

Primo punto: ID=28290 Lat.=41.930000 Long.=12.482000 Distanza=3.588774 Km

Secondo punto: ID=28512 Lat.=41.880000 Long.=12.483000 Distanza=3.705363 Km

Terzo punto: ID=28291 Lat.=41.931000 Long.=12.549000 Distanza=4.196798 Km

Quarto punto: ID=28513 Lat.=41.881000 Long.=12.550000 Distanza=4.260094 Km

ID 28290 $a_g=0.1044g$

ID 28512 $a_g=0.1201g$

ID	28291	$a_g=0.1213g$
ID	28513	$a_g=0.1443g$

con differenze fino al 40% !

Tale differenza percentuale (del 4%) non sembra peraltro trascurabile: ci si chiede solo se tale errore sia inferiore o superiore all'ordine di grandezza degli errori commessi nella messa a punto del reticolo stesso, e si propende per considerare questi di gran lunga maggiori. Prescindendo da ogni giudizio di merito circa la attendibilità di una simile valutazione, tale da distinguere tra due Vie del medesimo comune, pare evidente – data la specifica richiesta della Norma di interpolare sulla maglia elementare- che un passaggio da GoogleTM per raffinare la collocazione geografica debba sempre e comunque essere fatto, pena il rischio di vedersi contestare, da qualche solerte controllore, variazioni non trascurabili della a_g di riferimento.

2.15.5. AREE DI TAGLIO

Per tener conto della energia di deformazione connessa con il taglio è possibile aggiungere le aree di taglio degli elementi trave all'interno del file di input per i solutori.

Se si esegue il solving con uno dei solutori interni di Sargon la scelta verrà fatta al momento del lancio dei solutori stessi (Analizza).

Se invece si esegue il solving con uno dei solutori esterni occorre prima aver fatto la scelta mediante il dialogo usato per lanciare i solutori interni, uscendo con "OK" (Analizza).

La definizione delle aree di taglio fa capo ad una teoria semplificata che non trova applicazione per tutte le possibili forme sezionali. Normalmente trascurare le aree di taglio porta a modestissime variazioni nella soluzione. La soluzione senza le aree di taglio sarà tanto più precisa quanto più snelli sono gli elementi. Per elementi molto tozzi (rapporto luce altezza minore di 4) l'effetto delle aree di taglio può invece essere sensibile.

Se si è in dubbio si provi ad eseguire una analisi di sensibilità della soluzione al variare della scelta fatta.

2.15.6. TENSION STIFFENING

Sotto il nome di tension stiffening va quel fenomeno fisico in base al quale la rigidità di un

elemento dipende dal suo stato di trazione o di compressione. Il classico esempio è quello della corda vibrante: lo stato di tensione della corda influenza direttamente la frequenza di vibrazione. Un altro esempio è quello dei cavi pretesi, i quali offrono una rigidità ben diversa da quella dei cavi laschi.

Sargon consente di definire, per ogni elemento trave e biella, lo stato di tensione iniziale. Tale tensione verrà usata dai solutori per assemblare la matrice di rigidità geometrica. I solutori che fanno uso della tensione iniziale sono: LEDA (analisi modali) e SOCLEVER (analisi statiche nonlineari). Il comando per assegnare la pretensione (o precompressione) è N Iniziale.

2.15.7. MEMORIA

I sistemi operativi Microsoft a 32 bit non consentono la piena gestione della memoria fisica (RAM) da parte dei processi in atto sul computer. Invece, il sistema operativo riserva a ciascuno una parte di memoria RAM che dipende da molti fattori: la memoria fisica totale disponibile; il numero ed il tipo dei processi in atto al momento della esecuzione del nuovo processo; le richieste in termini di memoria RAM del nuovo processo; il sistema operativo (W95, W98, WNT, W2000); il tipo e la natura delle operazioni richieste, la priorità assegnata al processo, eccetera, eccetera.

Non è possibile fornire una descrizione esatta di come il s.o. si comporti nelle varie situazioni, mentre è possibile indicare delle linee guida.

In generale, i solutori hanno tutti bisogno di molta memoria RAM fresca e disponibile. Scopo del solutore è quello di tenere in memoria la maggior parte possibile della matrice di rigidità (o più in generale delle matrici di lavoro), senza dover ricorrere al disco rigido (disk swap). Per prima cosa, si può valutare lo spazio in byte occupato dalla intera matrice di rigidità, mediante la seguente operazione:

$$S = \text{ndof} * \text{avb} * 8$$

Dove ndof è il numero di gradi di libertà, avb è la banda media (average bandwidth), 8 è il numero di byte per ogni numero reale (doppia precisione).

L'ideale sarebbe che ci fosse uno spazio di RAM M pari o superiore a S. In tal caso la matrice può non essere divisa in blocchi, e la sua triangolarizzazione può essere eseguita senza swap su disco.

Se il problema è molto grande, è facile che la matrice non stia nella memoria disponibile. In questo caso i solutori la dividono in pezzi, ciascuno dei quali occupa un numero di byte pari a quelli disponibili.

Finché il numero di blocchi è pari a qualche unità, o una o due decine, il problema è ancora risolto in modo relativamente efficiente (ma 20 blocchi non sono 3), se il numero di blocchi è molto alto (da 20 in su), si è in presenza di un problema di dimensioni molto superiori a quelle normalmente affrontabili con quell'hardware: i tempi di risoluzione crescono a dismisura, e si è di fronte ad una soluzione non ottimale.

Poichè in genere la banda media è al di sotto (spesso molto al di sotto) del 10% dell'ordine del problema, si hanno qui alcuni esempi, che mediamente sovrastimano l'occupazione:

NUMERO DI DOF	MB NECESSARI PER K (avb=5%)	MB NECESSARI PER K (avb=10%)
1000	0.4	0.8
5000	10	20
10000	40	80
50000	1000	2000

E' dunque della fondamentale importanza capire come si può intervenire su S e su M, la quantità di memoria RAM effettivamente allocata e disponibile dal programma.

Per ridurre S è opportuno rinumerare in modo da ridurre al minimo la banda media (average bandwidth).

Per aumentare M si hanno a disposizione varie possibilità.

In primo luogo si tenga presente che, a parità di ogni altra considerazione, W95 e W98 lasciano libera meno memoria di WNT. Si danno casi in cui W98 su computer con 64Mb di RAM e nessun processo apparentemente attivo lasci come memoria libera poche centinaia di KB: assurdo, ma sperimentalmente verificato.

La memoria libera (in specie sotto W95 e W98) è influenzata dalla presenza nella esecuzione automatica di applicazioni tipo Office o la barra di Office. In generale, l'esecuzione automatica dovrebbe includere il solo antivirus. Si consiglia pertanto di rimuovere ogni altra cosa, non strettamente necessaria.

Se si deve eseguire un solving su un modello molto grande converrà chiudere le applicazioni non strettamente indispensabili: garantire il multitasking priva di memoria utile per il solving.

Infine, si potrà agire sul programma in modo da decidere esattamente quanta memoria allocare (ciò si fa con il dialogo Memoria da allocare): prima di eseguire un solving è possibile decidere quanta memoria far allocare al solutore.

2.15.8. RINUMERAZIONE

Se un modello ha dimensioni medio grandi rispetto alla RAM disponibile è opportuno rinumerare i nodi in modo da ridurre la banda massima e la banda media.

A partire dalla versione 4.44 Sargon consente di scegliere, prima della esecuzione, quale

rinumeratore impiegare tra 4 disponibili. I rinumeratori disponibili sono: RCM, CM, PFM, PRM.

Per RCM si intende il metodo denominato Reverse Cuthill McKee: è un metodo solido e ampiamente usato. Di fatto è ottenuto dal CM invertendo l'ordine della numerazione. Questo metodo è proposto come default.

Per CM si intende il metodo di Cuthill e Mc Kee. Partendo da un ordinamento dei nodi che fa capo alla teoria dei grafi, i nodi vengono rinumerati in modo da trovare una configurazione migliore di quella originaria. Il metodo ha risultati che non dipendono dalla numerazione di partenza. La soluzione non è necessariamente quella ottima, perchè dipende dal nodo di partenza che, in generale, non è unico (se ne può scegliere più d'uno: la soluzione dipende dal nodo di partenza).

Per PFM si intende il metodo Profile Front Minimization, metodo preso da un lavoro del Prof. Wilson. Scopo del metodo è minimizzare il profilo, piuttosto che la banda. Il metodo ha tempi di esecuzione più lunghi e generalmente non comporta miglioramenti rispetto al RCM.

Il metodo PRM deriva dal PFM per una maggior insistenza nella valutazione del grado da assegnare a ciascun nodo. Si possono dire per esso le stesse cose già dette per PFM.

Inoltre, se si ritiene che la numerazione di partenza sia già ottima, si può chiedere di non rinumerare, salvando così il corrispondente tempo nella soluzione.

2.15.9. PSEUDOLABILITA'

Si definisce pseudolabilità la situazione tale per cui, nella matrice di rigidezza, una certa riga è identicamente nulla. Ciò avviene perchè gli elementi finiti "prendono" in generale solo alcune delle sei rigidezze teoricamente associate a ciascun nodo. Ad esempio in una struttura piana di bielle, tutte le rotazioni sono pseudolabili, e tutte le traslazioni fuori piano sono, anche, pseudolabili.

In campo statico se si ha

$$0=0$$

la pseudolabilità non è attivata. Se invece

$$0=P$$

la pseudolabilità è attivata dando luogo ad un sistema impossibile (nell'esempio precedente, coppie applicate ai nodi o forze normali al piano delle bielle).

Dalla versione 4.44 Sargon pone - a richiesta - $K_{ii} \neq 0$ per la pseudolabilità non attivata, mentre non fa nulla in caso di pseudolabilità attivata. Questa scelta compare nel dialogo Analizza. Così facendo se tutte le pseudolabilità non sono attivate, allora l'inversione della matrice è possibile e così il solving. Se invece c'è anche solo una pseudolabilità attivata, allora il programma solutore si fermerà perchè non riuscirà a triangolarizzare la matrice ($K_{ii}=0$).

Naturalmente, in campo statico, la pseudolabilità non è attivata se essa non lo è in alcuno dei

casi di carico base.

In campo dinamico (analisi modale), se esistono pseudolabilità esse si dicono attivate se in loro corrispondenza è presente una massa. Inattivate se la massa è nulla. In assenza di correzioni succede quanto segue.

Se $K_{ii}=0$ e $M_i=0$, il programma si blocca in quanto non riesce ad invertire K . Analogamente se $K_{ii}=0$ ed $M_i \neq 0$. Se $k_{ii} \neq 0$ il problema non si pone in quanto non esiste pseudolabilità.

Se si ha $K_{ii}=0$ (pseudolabilità) sono possibili tre approcci.

- 1) Shift. Se $K_{ii}=0$ ed $M_i \neq 0$ la presenza di uno shift negativo consente la soluzione ($\omega = \sqrt{k/m} = 0$, $T = \text{infinito}$). Se $K_{ii}=0$ ed $M_i=0$ la presenza di uno shift s non risolve il problema in quanto $k^* = k_{ii} - sM_i = 0 - s \cdot 0 = 0$ e la matrice con lo shift non è invertibile.
- 2) Correzione su K . La correzione su K_{ii} è applicata se e solo se la pseudolabilità non è attivata, ovvero solo se $K_{ii}=0$ ed $M_i=0$. In questo caso lo shift (come abbiamo visto) è irrilevante, mentre forzando $K_{ii} \neq 0$ si ha la soluzione $\omega = \sqrt{k/m} = \text{infinito}$, $T=0$.
- 3) Contemporanea correzione e shift. In questo caso, per i gradi di libertà dove $K=0$ ed $M=0$ (pseudolabilità non attivate) entra in gioco la correzione, mentre per quelli dove $K=0$ $M \neq 0$ (pseudolabilità attivate) è in azione lo shift. Pertanto l'uso contemporaneo di correzione e di shift risolve il problema delle pseudolabilità in campo dinamico.

Si noti che spesso in campo dinamico le masse rotazionali sono nulle, pertanto se esiste almeno un dof rotazionale pseudolabile con $M=0$ è necessario applicare la correzione.

===

Le tecniche qui descritte consentono di risolvere una certa classe di problemi senza introdurre errori nella soluzione. Naturalmente si consiglia di usare queste opzioni avendo chiara la origine e la collocazione di ogni pseudolabilità: queste vengono segnalate, quando rimosse, nel file .inf o .dog.

Nel generare pseudolabilità si è visto che è importante vedere quali elementi finiti siano attaccati al dof in questione e che giacitura abbiano. Un classico esempio di pseudolabilità è il cosiddetto drilling mode negli elementi piastra. Per fissare le idee, si immagini una piastra definita nel piano xy. Tutti gli elementi piastra non hanno rigidezze associate alla rotazione Z, e pertanto tutte le rotazioni Z sono pseudolabili (si immagina che non vi siano altri elementi connessi). Per evitare questo problema, si usa la tecnica del drilling factor. In pratica ad ogni nodo di un elemento piastra, viene aggiunta una piccola rigidezza associata alla rotazione del nodo nel piano della piastra stessa: nel nostro esempio la rotazione Z. Queste piccole rigidezze evitano che $K_{ii}=0$ e quindi eliminano la pseudolabilità. Tuttavia la presenza di termini molto piccoli (prossimi a zero) sulla diagonale della matrice di rigidezza può causare, in certi

casi, problemi di instabilità numerica. Ciò avviene quando il rapporto tra la massima e la minima rigidità diagonale supera i dieci-dodici ordini di grandezza. In questo caso il drilling factor fa più danno che altro. Siccome le pseudolabilità possono essere eliminate direttamente, sarà conveniente, in questi casi, porre il drilling factor a zero ed attivare la rimozione delle pseudolabilità.

Il drilling factor può essere fissato direttamente nella finestra di dialogo Analizza.

2.15.10. SCELTA DEGLI ELEMENTI FINITI

A partire dalla versione 6.50 di Sargon è stata aggiunta la possibilità di scegliere tra diversi tipi di elementi finiti per eseguire un'analisi. Questa scelta – senza nulla levare alla possibilità di scegliere gli elementi proposti, e quindi senza obbligare a decidere – consente all'analista di fare una serie di studi e di validazioni altrimenti impossibili.

Grazie a questa nuova funzionalità lo stesso problema può essere fatto calcolare con le diverse formulazioni senza alcuna difficoltà. Lo studio delle differenti risposte, tenute in conto le differenti proprietà degli elementi finiti (alcuni dei quali approssimano “dal basso”, ovvero sovraastimando le rigidità, mentre altri no), può consentire di capire meglio dove possa trovarsi la soluzione “esatta”. Inoltre l'esecuzione di calcoli con differenti elementi finiti consente di avere un maggior grado di controllo sulla attendibilità della risposta. In quanto segue si darà una guida all'uso dei vari elementi finiti presenti in Sargon.

ELEMENTI FINITI ATTI A DISCRETIZZARE LA PARTE MEMBRANALE

Si intendono non solo gli elementi membrana ma anche gli elementi plate-shell nella loro parte membranale. La scelta riguarda sia gli uni che gli altri e non può essere fatta disgiuntamente.

Al momento è possibile scegliere, per gli elementi a 4 nodi, tre diverse possibili formulazioni:

- Elemento isoparametrico bilineare ad integrazione piena (QUAD4).
- Elemento isoparametrico bilineare ad integrazione selettiva (QUAD4SRI)
- Elemento incompatibile con correzione di Wilson-Ibrahimbegovic (QM6WI).

QUAD4

Si tratta di un elemento classico che possiede la importante proprietà di essere conforme.

Questo vuol dire che esso ha la proprietà di essere sempre più rigido del vero, in modo che gli spostamenti ottenuti con questo elemento sono sempre inferiori a quelli esatti. Una serie di mesh via via più fitte, e fatte in modo tale da contenere sempre i nodi delle mesh precedenti, porta a convergere alla soluzione esatta in modo monotono. Questa importante proprietà consente di studiare la convergenza con una certa confidenza.

Il principale difetto di questo elemento è che tende ad essere eccessivamente rigido quando inflesso (*locking*), con mesh non molto fitte. Se ad esempio si modella un nucleo scale con elementi di questo genere in numero insufficiente (piastre o membrane che siano) le pareti soggette a flessione a mò di mensola tenderanno a spostarsi troppo poco, sottostimando la risposta dell'edificio (per un esempio vedi [1]).

Quando si usa questo tipo di elementi occorre quindi eseguire mesh con una discretizzazione molto fitta, o, per lo meno, studiare il cambiamento della risposta al variare della mesh in modo da quantificare la variazione della risposta. In compenso si ha una chiara informazione circa il posizionamento della risposta rispetto a quella esatta.

QUAD4SRI

Per ovviare ai fenomeni di locking connessi con l'elemento bilineare sono stati proposti vari sistemi atti a diminuire la rigidità dell'elemento. Il primo metodo fa uso di un'integrazione ridotta, ma esso genera rilevanti problemi in quanto vi sono dei movimenti che possono avvenire a prezzo di un'energia di deformazione nulla (modi spurii). In seguito è stato proposto il metodo della integrazione selettiva (SRI, selective reduced integration), che comporta un differente modo di integrare la parte della matrice di rigidità collegata alla energia di deformazione "estensionale" (2x2 punti di Gauss), rispetto alla parte della matrice di rigidità collegata alla energia di deformazione tagliante (1x1 punto di Gauss). L'elemento QUAD4SRI usa questo tipo di integrazione e quindi migliora sensibilmente le prestazioni dell'elemento QUAD4. In compenso vengono perse le proprietà legate alla convergenza, ragion per cui per questo elemento non si può dire se lo spostamento calcolato sia minore o maggiore di quello esatto. Per una approfondita discussione sulle tecniche di integrazione selettiva si rimanda ad esempio a [3] ed a [4], esponenti a riguardo di correnti di pensiero piuttosto diverse.

QM6WI

Sempre al fine di migliorare l'elemento a 4 nodi sono stati proposti elementi non compatibili (e quindi privi delle proprietà di convergenza dell'elemento QUAD4) i quali presentano, rispetto al normale QUAD4, 4 ulteriori parametri di interpolazione (2 per u e 2 per v). Questi elementi (elementi Q6) mostravano di comportarsi bene finchè rettangolari, ma non passavano il patch test se distorti. Per risolvere il problema del patch test sono state proposte delle correzioni (da Q6 a QM6) delle quali la migliore e più convincente è quella proposta da Wilson e Ibrahimbegovic [2], qui denominata QM6WI. L'elemento a quattro nodi in questione ha un eccellente comportamento già con mesh non molto fitte, e si pone quindi, nonostante la non-compatibilità, come uno degli elementi di elezione per l'analisi degli stati di sforzo membranali.

A titolo di esempio riportiamo da [1] una serie di risultati comparativi ottenuti su una mensola caricata all'estremo (un classico benchmark reperibile identico in letteratura), rispettivamente con i vari elementi finiti presenti in Sargon ed anche con l'elemento di Taylor-Simo presente in Sap90 ed in Sap2000 (TAYL4, il calcolo è stato fatto usando Sap90). Sono riportati i rapporti tra la soluzione calcolata e quella esatta per la freccia all'estremo e per la tensione normale all'estradosso a distanza H dall'incastro, essendo H l'altezza della mensola. I dati sono i seguenti: L=48cm, H=12cm, t=1cm, E=200kN/mm², $\nu=0.25$, P=40kN applicato a mezza altezza.

Mesh	Elementi	Dof	v_A	σ_{xB}
2x8	16QUAD4	48	0.890	0.928
4x16	32QUAD4	160	0.970	0.987
2x8	16QUAD4SRI	48	0.974	1.022
4x16	32QUAD4SRI	160	0.995	1.013
2x8	16QM6WI	48	0.990	1.001
4x16	32QM6WI	160	0.999	1.000
2x8	16TAYL4	72	0.984	1.034
4x16	32TAYL4	240	0.997	1.016

BIBLIOGRAFIA

- [1] P.Rugarli "Calcolo Strutturale con gli Elementi Finiti", EPC Libri, Roma, Settembre 2003 (in uscita in autunno 2003).
- [2] E.L.Wilson, A. Ibrahimbegovic, "Use of incompatible displacement modes for the calculation of

element stiffnesses and stresses”, *Finite Elements in Analysis and Design*, 7, 1990, 229-241

[3] R.H. MacNeal, “Finite Elements: Their Design and Performance”, Marcel Dekker Inc., 1994

[4] K.J. Bathe, “Finite Element Procedures”, Prentice Hall, 1996

2.15.11. ANALISI DI FREQUENCY RESPONSE CON FREQUENCY

Per eseguire l'analisi di risposta in frequenza con FREQUENCY è necessario usare il comando Analizza e attivare l'opzione relativa alla analisi corrispondente. La analisi di frequency response deve essere eseguita da sola, non può essere eseguita in cascata con altre.

Per poter eseguire una analisi di frequency response è necessario:

1. che sia preventivamente stata eseguita una analisi modale con LEDA;
2. che sia disponibile almeno un caso di carico con delle forze nodali applicate; se il numero di casi di carico è pari ad n (con $n > 2$) l'ultima condizione di carico deve essere vuota. Non si possono avere due soli casi di carico, si va da 1 a 3, 4, 5, ...
3. che le azioni applicate nei casi di carico non vuoti siano tutte o forze o coppie nodali.

GENERALITA'

Quando un insieme di forze armoniche sollecita una struttura la risposta dinamica a regime della struttura, passata la fase iniziale di transitorio- è anch'essa di tipo armonico, e con la stessa frequenza della forzante.

Le ampiezze degli spostamenti e l'intensità degli sforzi a regime dipendono dalla intensità e dalla frequenza della forzante, oltre che dal valore dello smorzamento viscoso equivalente attribuito a ciascuno degli oscillatori semplici associati ai modi.

Se la forzante ha una frequenza prossima ad uno dei modi principali di vibrare della struttura, la risposta della stessa struttura può essere amplificata anche notevolmente, in tal caso come è noto si parla di risonanza.

Con la versione 6.60 Sargon aggiunge alla lista dei propri solutori anche il solutore per la analisi di risposta in frequenza (frequency response). Fanno parte dei dati di input da fornire, oltre alla parte statica delle forze (intensità e direzione, fornite nel solito modo al programma) anche la

frequenza della forzante (ogni caso di carico ha una sua frequenza e si suppone che tutte le forze in esso presenti agiscano in fase), la distribuzione dello smorzamento in funzione della frequenza dei modi, l'insieme dei modi da tenere in conto.

Se la struttura è sollecitata da due o più insiemi di forze agenti a frequenze differenti, nell'ultimo caso di carico (vuoto) vengono posizionate le stime degli spostamenti e degli sforzi risultanti dalla contemporanea presenza di tutte le forze con le loro frequenze differenti. In questo ultimo caso, dopo aver calcolato la risposta per ciascuna forzante e collocato tale risposta nel caso di carico corrispondente, il programma valuta l'effetto combinato e lo colloca nell'ultimo caso di carico, vuoto di azioni applicate. Se vi è un solo caso di carico tale operazione non viene compiuta. Il metodo usato per combinare gli effetti delle diverse forzanti è di tipo statistico, poiché una analisi deterministica richiederebbe di conoscere esattamente tutte le varie fasi. Sono disponibili i seguenti metodi di combinazione degli effetti:

- SRSS radice quadrata della somma dei quadrati delle ampiezze;
- Valore efficace (in pratica il precedente diviso per la radice di 2);
- Somma dei valori assoluti.

Vediamo ora nel dettaglio in che modo fornire le varie informazioni, ed il loro esatto significato.

AZIONI APPLICATE

Le azioni vengono applicate essendo raggruppate in casi di carico così come si fa per le azioni agenti staticamente. Ad ogni caso di carico viene poi associata una certa frequenza (questo si fa quando si impostano i dati per la analisi). Se **F** è una forza applicata nel generico caso di carico avente frequenza **f** (in hertz), si suppone che sulla struttura agisca la forza agente dinamicamente pari a $F\sin(2\pi fT)$, dove "T" è il tempo. Le forze possono essere applicate solo sui nodi. Possono essere applicate sia forze che coppie (si parla di fatto di forze in senso generalizzato).

Se in un caso di carico avente frequenza **f** sono presenti due (o più) forze **S** e **T**, si fa l'ipotesi che le forze agiscano contemporaneamente ed in fase: $S\sin(2\pi fT) + T\sin(2\pi fT)$.

FREQUENZA DELLE AZIONI APPLICATE

La frequenza viene indicata per ciascun caso di carico. Se c'è un unico caso di carico la

frequenza è indicata dall'utente per quel caso di carico. Se ci sono tre o più casi di carico la frequenza viene indicata per tutti i casi ad eccezione dell'ultimo, usato per combinare i vari casi tra loro.

La frequenza viene indicata (in hertz) nel dialogo che consente di impostare i dati dell'analisi, in analogia a quanto già previsto per le altre tipologie di analisi possibili.

SMORZAMENTO

In assenza di una qualche forma di smorzamento il moto non assumerebbe le caratteristiche di stabilità nel tempo che invece assume. Ovviamente, all'aumentare dello smorzamento il moto e gli sforzi tendono a diminuire di intensità. Lo smorzamento è definito per ogni modo di vibrare per mezzo di una curva, definita per punti, che correla la frequenza dei vari modi allo smorzamento ad essi associato. Per smorzamento si intende “smorzamento relativo al critico”, e pertanto numeri ragionevoli vanno dal 3 al 10% (0.03-0.10) per le strutture ordinarie. La possibilità di definire la curva in modo che lo smorzamento vari con la frequenza dei singoli modi consente di associare a modi con frequenza via via crescente smorzamenti via via superiori (o inferiori). In pratica, nota per punti la curva $\xi = \xi(f) \Rightarrow \xi(1/T)$, e nota la frequenza ($1/T$) di un certo modo, si determina lo smorzamento ξ ad esso associato.

Dato che il numero di modi può anche essere molto elevato si è preferito definire lo smorzamento come una curva piuttosto che come una tabella di numeri. Lo smorzamento viene definito nel dialogo usato per impostare l'analisi.

MODI DA TENERE IN CONTO

Sebbene in linea di principio tutti i modi debbano entrare nella analisi, la presenza di modi spurii o locali può richiedere che parte dei modi non sia tenuta in conto nell'analisi, onde scartare questi effetti locali o parassiti. Il programma, sempre per mezzo dello stesso dialogo, consente, se necessario, di scegliere quali modi devono essere tenuti in conto nella analisi. Il metodo consente anche di valutare indirettamente l'incidenza che ciascun modo o gruppo di modi ha sulla risposta finale, consentendo quindi di affinare gli interventi di progetto volti a modificare la forma o la frequenza del modo o del gruppo di modi rilevante.

METODO DI COMBINAZIONE DELLE AZIONI

Quando agiscono contemporaneamente più insiemi di azioni a frequenza differenti, la risposta complessiva finale dipende strettamente dalle fasi che, in genere, sono variabili aleatorie. In questo caso è possibile arrivare ad una stima di tipo probabilistico delle ampiezze

finali del moto e degli sforzi combinando tra loro le ampiezze delle sinusoidi associate alla risposta a ciascuna forzante presa separatamente. Il ragionamento è simile a quello che si fa combinando gli effetti in una analisi a spettro di risposta (anche se qui le sinusoidi hanno le frequenze delle forzanti e non quelle dei modi).

Il solutore dispone al momento di tre possibili criteri di combinazione: la radice quadrata della somma dei quadrati (SRSS), il valore efficace (ottenibile dividendo il precedente per radice di 2), la somma dei moduli. Ovviamente il più cautelativo dei metodi è l'ultimo, anche se esso porta, in genere, ad una eccessiva sopravvalutazione degli effetti. Se le frequenze delle forzanti, pur non essendo identiche, sono tuttavia vicine, allora è lecito attendersi la somma delle ampiezze e non la SRSS.

COMBINAZIONE CON CASI STATICI

Se si intende combinare un caso di frequency response con uno o più casi di carico statici occorre seguire questa procedura. Il file "padre" è il file che contiene i casi di carico statici. Uno di questi casi di carico (o più: tanti quanti sono i casi di carico presi dalla analisi di frequency response) viene lasciato vuoto. Il modello viene poi salvato con un altro nome. Questo nuovo modello subisce l'analisi modale e l'analisi di frequency response con il numero di casi di carico dinamici desiderati. A questo punto l'applicazione "mergedbase.exe" eseguibile dalla riga di comando, prende gli spostamenti e le sollecitazioni dei casi di carico dinamici desiderati del modello "figlio" e li pone nelle desiderate posizione dei casi di carico del modello "padre" (quei casi di carico lasciati preventivamente vuoti).

E' da notare che tutti gli sforzi e tutti gli spostamenti di una analisi di risposta in frequenza sono positivi (la risposta è sinusoidale ed oscilla tra il valore positivo indicato ed un identico valore negativo).

IL DIALOGO PER L'IMPOSTAZIONE DEI DATI

Frequency Response

Frequenze delle forzanti caso per caso (hz)

Caso	Freq. (hz)
1	1.000
2	1.000
3	1.000
4	1.000
5	1.000
6	1.000
7	1.000
8	1.000

esempio:
1 5.3
2 1.2

Combinazione casi

☒ SRSS

☐ Valore efficace

☐ Somma dei moduli

Smorzamento modale

2 Numero punti

Aggiorna

Freq. (hz)	Smorz. (nu)
0.000e+000	0.000e+000
1.000e+002	5.000e-002

esempio:
2.5 0.05
10.0 0.10

Modi da tenere in conto

Tutti

<input checked="" type="checkbox"/> # 1
<input checked="" type="checkbox"/> # 2
<input checked="" type="checkbox"/> # 3
<input checked="" type="checkbox"/> # 4
<input checked="" type="checkbox"/> # 5
<input checked="" type="checkbox"/> # 6
<input checked="" type="checkbox"/> # 7
<input checked="" type="checkbox"/> # 8

OK

Cancel

Questo dialogo consente di impostare il funzionamento del solutore per l'analisi di risposta in frequenza.

Nel riquadro in alto a sinistra "**Frequenza delle forzanti caso per caso (hz)**" vengono stabiliti i valori di frequenza delle forzanti caso per caso a partire dal primo. Se il numero di casi di carico è maggiore di 1 l'ultimo caso di carico non compare, essendo riservato alla combinazione degli effetti.

Nel riquadro in basso a sinistra (**Smorzamento modale**) vengono definiti i punti che individuano la curva che dà lo smorzamento in funzione della frequenza. Se il numero di punti cambia occorre specificare il nuovo valore e poi premere il tasto **Aggiorna**. Per ogni punto occorre fornire prima la frequenza (in hertz) e poi lo smorzamento relativo al critico.

Nel riquadro in basso a sinistra (**Modi da tenere in conto**) si selezionano o deselectano i modi a seconda che si desideri o meno tenerne conto nei calcoli. Il pulsante **Tutti** consente di specificare che si vogliono tenere in conto tutti i modi, nessuno escluso.

Il riquadro in alto a destra (**Combinazione Casi**) consente di specificare il metodo da impiegare per combinare gli effetti di diversi insieme di forze agenti a frequenze differenti. Sono possibili tre sistemi: SRSS (radice quadrata della somma dei quadrati), valore efficace e somma dei moduli.

I FILE DI INPUT E DI OUTPUT DI FREQUENCY

Il solutore ha un file di input formattato, creato automaticamente da Sargon che ha estensione .fin. Il file di output ha estensione .fou, mentre il file di diagnostica ha estensione .fog. L'output è scritto direttamente sui file binari .sdb e .ddb, ed è quindi necessario che una analisi statica “dummy” venga eseguita preliminarmente alla analisi di frequency response. Per il calcolo il solutore si avvale dei dati scritti dai file binari di output di LEDA, vale a dire il file .msb e .mdb: pertanto l'analisi modale deve essere eseguita prima della frequency.

2.16. COME PREPARARE ED ESEGUIRE LE VERIFICHE

Prima di eseguire le verifiche è in generale necessario fissare il valore di un certo insieme di parametri che influenzano l'esito delle verifiche stesse. Un particolare rilievo per le verifiche a stabilità hanno i coefficienti di libera inflessione, che decide il progettista sulla base del funzionamento strutturale.

La riduzione dell'area per tener conto dei fori va definita sulla base del tipo di collegamento che si intende impiegare: essa influenza le verifiche a trazione.

Molte volte è necessario introdurre un certo numero di superelementi: tutte le volte che esiste una membratura da verificare a stabilità suddivisa in più elementi finiti. E' compito dell'analista aggiungere i superelementi, quando è necessario usarli, e definire i coefficienti di libera inflessione dei superelementi aggiunti.

Le verifiche vengono eseguite solo sulle combinazioni. Le combinazioni devono essere aggiunte dall'utente, tenendo conto del tipo di norma (tensioni ammissibili, stati limite). Nel caso di norme agli stati limite, le combinazioni vengono normalmente generate automaticamente dal verificatore, e, in un secondo tempo, possono essere eventualmente modificate.

2.16.1. COEFFICIENTI DI LIBERA INFLESSIONE

Le verifiche a stabilità vengono eseguite sugli elementi trave, sugli elementi biella e sui superelementi. Esse in generale sono verifiche a pressoflessione, a compressione, a svergolamento. Queste verifiche dipendono dalla lunghezza di libera inflessione dell'elemento, la quale è definita come bL , ove L è la lunghezza dell'elemento e b il coefficiente di libera inflessione. In Sargon i coefficienti di libera inflessione sono tre: b_1 , b_2 , b_3 . Il primo governa lo svergolamento, il secondo ed il terzo governano la pressoflessione e la compressione. Per default se l'utente non fa nulla i coefficienti di libera inflessione sono eguali ad 1, tuttavia è responsabilità dell'analista decidere il corretto valore di tali coefficienti che, come è noto, possono differire anche significativamente da 1.

I coefficienti di libera inflessione delle aste selezionate vengono modificati con il comando Beta.

Un'importante decisione che va in genere presa quando si abbiano a stabilire i coefficienti di libera inflessione è la seguente: la struttura è a nodi fissi o a nodi mobili? Di fatto dire che la struttura è a nodi fissi significa dire che gli spostamenti trasversali sono così piccoli che si può ritenere la struttura come se fosse a “nodi fissi”, e pertanto trascurare l'effetto $P\Delta$. In tal caso i coefficienti di libera inflessione sono inferiori o eguali ad 1. Dire che la struttura è invece a nodi mobili significa dire che gli spostamenti trasversali (e quindi l'effetto $P\Delta$) non sono trascurabili. In tal caso i coefficienti di libera inflessione sono sicuramente maggiori di 1 (e possono essere anche molto elevati).

Sia le alignment charts che gli abachi di Wood cambiano considerevolmente a seconda che la struttura sia a nodi fissi o a nodi mobili. Le normative inoltre, in generale, evidenziano formule diverse a seconda che la struttura sia a nodi fissi o a nodi mobili.

Nel caso importante di strutture multiplano, alcune norme forniscono dei criteri quantitativi per valutare se una struttura sia a nodi fissi oppure no. Si definisce interstorey drift Id lo spostamento relativo tra il nodo superiore ed il nodo inferiore di una colonna di interpiano diviso per la altezza della colonna. Ovvero, se la colonna va dal nodo i al nodo j , ed h è l'altezza della colonna

$$Id_x = |s_{xi} - s_{xj}| / h$$

$$Id_y = |s_{yi} - s_{yj}| / h$$

dove s_{xi} è la traslazione del nodo i in direzione x , s_{xj} è la traslazione del nodo j in direzione x , e così via.

Secondo British Standard (BS5950-1990-5.1.3) l'interstorey drift deve essere inferiore a 1/2000 in un'opportuna condizione di carico (carichi orizzontali pari a una frazione di quelli verticali, ad ogni piano), perchè la struttura sia considerabile a nodi fissi.

Secondo EC3 (5.2.5.2), uno dei criteri da seguire per dimostrare che una struttura è a nodi fissi è dimostrare valida la relazione seguente:

$$Id < 0.1 H / V$$

dove V è la risultante dei carichi verticali applicati ed H la risultante dei carichi orizzontali applicati ad un certo livello della costruzione. Anche in questo caso l'interstorey drift gioca un ruolo essenziale per determinare se la struttura sia a nodi fissi oppure no.

Sargon consente di valutare per ogni colonna che soddisfi certi requisiti e per ogni combinazione di carico il valore di I_{dx} e di I_{dy} , il comando è Idrift. Prima di usare questo comando è necessario aver eseguito il solving, definire le quote dei vari piani mediante il comando Multipiano, ed aver definito almeno una combinazione.

Usando il comando Idrift l'utente può stabilire se la propria struttura è a nodi fissi oppure no: è sufficiente dimostrare che il massimo interstorey drift soddisfa le condizioni richieste da BS o da EC3 (si rimanda al testo delle norme in questione per approfondimenti).

Il criterio dell'interstorey drift è assai più stringente del criterio che limita il massimo spostamento, perchè l'interstorey drift viene valutato per ogni livello della costruzione, e quindi in modo assai più capillare.

2.16.2. RIDUZIONE DELL'AREA PER I FORI

Quasi tutte le norme prevedono, per le verifiche a trazione, l'impiego dell'area netta e non dell'area lorda. Sargon consente di tenere in conto la riduzione dell'area dovuta ai fori attribuendo agli elementi un coefficiente di riduzione dell'area, da usare per valutare l'area netta. Il comando, che agisce su travi e bielle selezionate, è Ared.

2.16.3. SUPERELEMENTI

I superelementi (Superelemento) sono degli oggetti assai importanti nell'ambito della esecuzione delle verifiche automatiche. Sargon è stato il primo programma dotato di interfaccia grafica ad aggiungere i superelementi agli elementi trave e biella, ed a dotarsi di una serie di strumenti atti a trattarli in modo efficiente.

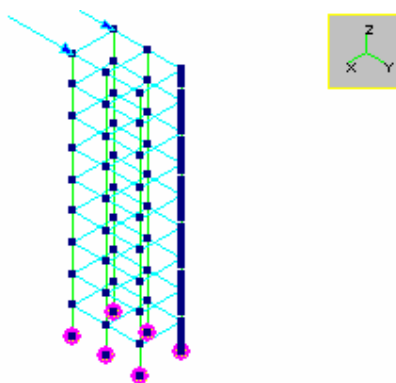
I superelementi possono essere selezionati (Oggetti), e cancellati (Cancella) come gli altri elementi finiti. Esiste un comando di interrogazione a loro dedicato (Superelementi). E' possibile (e in generale necessario) attribuire loro i corretti coefficienti di libera inflessione (Beta).

Un discorso a sè stante merita il modo in cui i superelementi vengono aggiunti. In linea di principio, i superelementi potrebbero essere aggiunti uno per uno, specificando gli elementi che compongono il superelemento. Gli elementi trave che compongono il superelemento devono essere allineati ed equiorientati. Controlli automatici vengono eseguiti sul fatto che gli elementi siano allineati, non sul fatto che siano equiorientati.

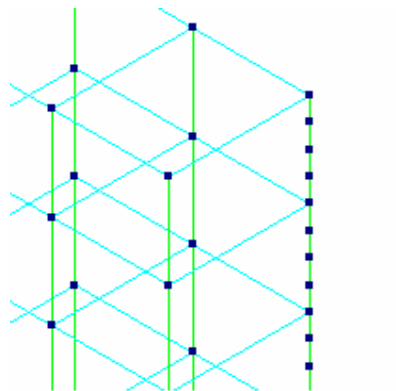
L'aggiunta dei superelementi in questo modo sarebbe però molto lunga e noiosa, soprattutto se questi fossero numerosi. Pertanto Sargon implementa un metodo drasticamente più potente per aggiungere i superelementi, metodo che verrà ora spiegato (il comando è Cerca). Sargon cerca tutti i gruppi di elementi che soddisfano questi requisiti:

- sono composti da travi selezionate;
- sono allineati o quasi (un angolo superiore a $\arccos(0.98)$ comporta l'interruzione del superelemento);
- lungo la fila di elementi allineati, ovvero nei nodi interni, non interviene alcun altro elemento trave o biella selezionato (piastre e membrane o molle non contano), se non quelli della fila stessa

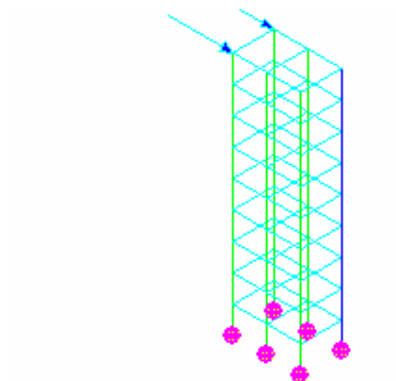
Ogni gruppo di elementi che soddisfa questi requisiti diventa un superelemento e viene aggiunto ai superelementi esistenti. Gli esempi che seguono chiariscono come far funzionare questo comando, che è molto potente.



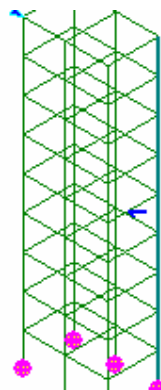
Un telaio a cui si vogliono aggiungere dei superelementi (le colonne spezzettate)



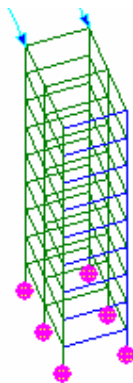
Dettaglio



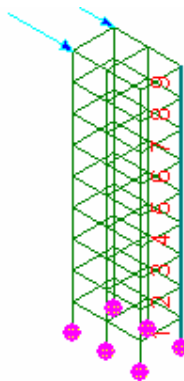
Primo esempio: si selezionano tutti e soli gli elementi da terra in su



Il risultato (errato) è che viene trovato un solo superelemento: infatti tra gli elementi selezionati non ve ne è alcuno che rompitratte la colonna



Secondo esempio: si selezionano gli elementi che compongono i nove superelementi e degli elementi ad essi ortogonali, che li rompittranno in corrispondenza ad ogni piano



Il risultato (corretto) è che vengono trovati i nove superelementi che interessavano.

Da quanto visto sopra è chiaro che la potente routine di ricerca automatica dà un risultato che dipende dagli elementi selezionati prima di eseguire il comando stesso.

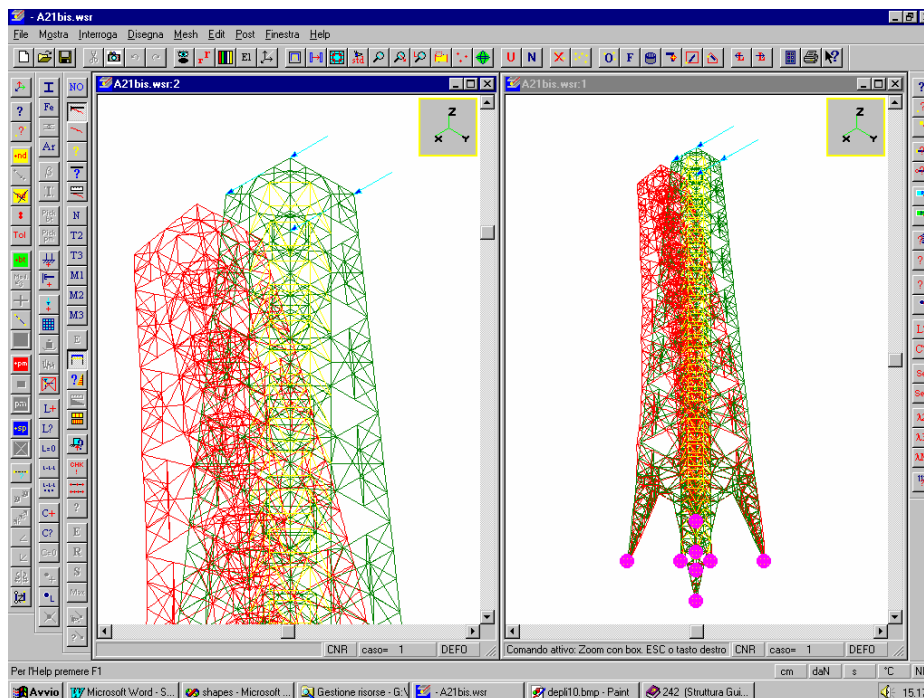
2.16.4. ESECUZIONE DELLE VERIFICHE

La esecuzione delle verifiche avviene molto semplicemente: occorre selezionare gli elementi che si intende sottoporre a verifica, aver definito almeno una combinazione (usando norme CNR o AISC), eppoi aver scelto il verificatore d'interesse. Ciò fatto è sufficiente eseguire il comando Verifica.

Prima di eseguire le verifiche è però bene accertarsi che i coefficienti di libera inflessione ed i superelementi siano correttamente definiti. In caso contrario i risultati ottenuti possono non essere punto significativi per la struttura reale.

2.17. COME ESAMINARE E TRATTARE I RISULTATI

2.17.1. DEFORMATA



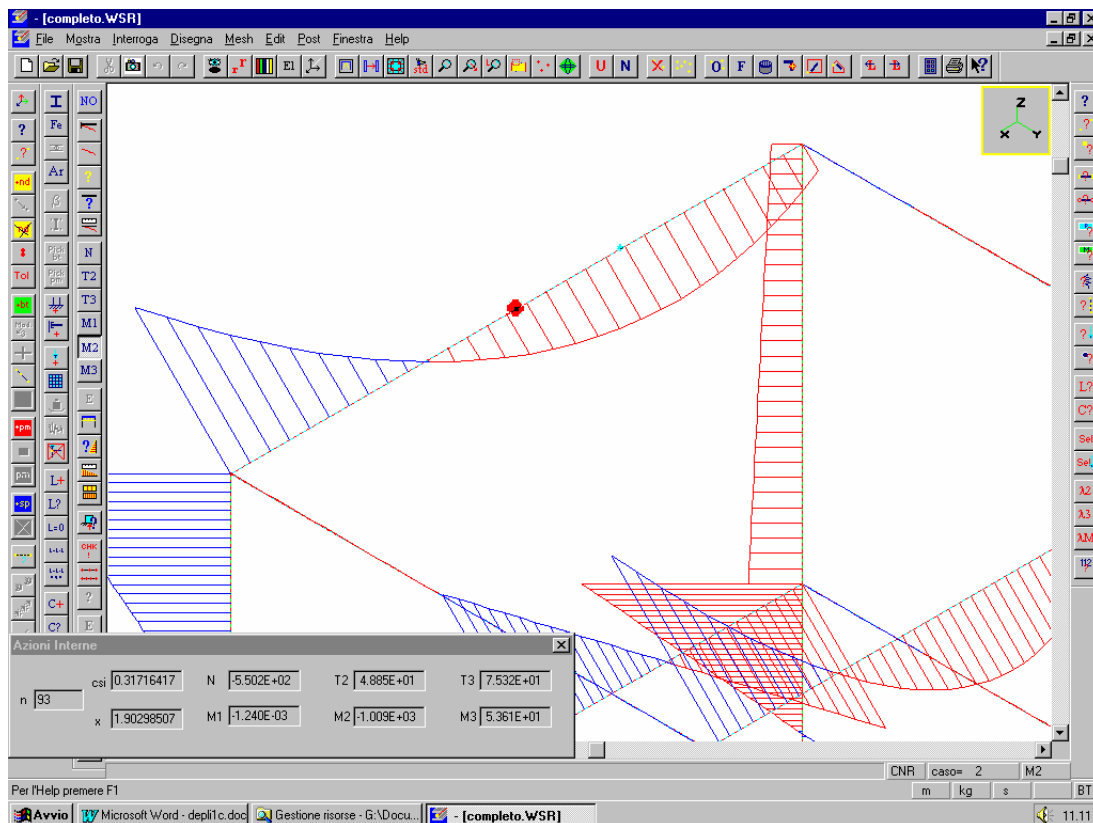
Lo studio della spostata (menu Deformata) fa parte del postprocessing classico. Di ogni caso di carico base o combinazione è possibile studiare la deformata. Lo studio della deformata consiste da un lato nell'osservare la sua forma, paragonandola a quella della struttura indeformata, dall'altro nell'ottenere i valori numerici delle traslazioni e delle rotazioni di uno o più nodi (Interroga). Sargon consente anche di ottenere il valore delle traslazioni dei punti interni agli elementi trave, là dove non esistono nodi (Interno). Il valore dato dal programma è quello stesso che consente di tracciare una deformata nonlineare su ogni elemento finito: deriva dalle funzioni di forma tipiche dell'elemento trave, che sono cubiche per lo spostamento trasversale all'asse. Lo spostamento è esatto solo nei limiti in cui è esatta la analisi numerica svolta. Tuttavia l'approssimazione fornita è il più delle volte sufficiente.

Lo studio della deformata è essenziale per validare il modello: la forma e l'intensità della deformata non devono dare sorprese, in particolar modo per ciò che attiene alla congruenza.

La deformata può essere vista con una scala automatica o con il fattore di scala deciso dall'utente (Scala).

La rappresentazione della deformata è una modalità di disegno paragonabile a quella che fa vedere gli elementi per tipo o per sezione. Una volta attivata questa modalità, essa resta attiva fino al successivo comando No post o fino alla scelta di una modalità diversa.

2.17.2. DIAGRAMMI



Lo studio dei diagrammi delle azioni interne (menu Diagrammi) fa parte del postprocessing classico. E' possibile ottenere i diagrammi di ciascuna delle sei possibili azioni interne in ogni caso di carico o combinazione. Allo stesso modo è possibile ottenere questi diagrammi anche per l'involuppo delle combinazioni.

La rappresentazione dei diagrammi è una modalità di disegno paragonabile a quella che fa vedere gli elementi per tipo o per sezione. Una volta attivata questa modalità, essa resta attiva fino al successivo comando No post o fino alla scelta di una modalità diversa.

I diagrammi delle azioni interne possono essere ottenuti immaginando queste nel sistema di riferimento locale (come di solito) o nel sistema di riferimento globale.

Scelto uno dei diagrammi con uno dei sei comandi disponibili (da Azione Assiale, a Momento 3 nel menu Diagrammi), i diagrammi verranno mostrati su tutte le aste o solo su quelle selezionate, a seconda dello stato del flag Selezionati. Per vedere il diagramma di involuppo della azione prescelta occorre attivare la opzione Involuppo. Questa opzione è disponibile solo se esistono combinazioni nel modello.

I diagrammi si riferiscono al riferimento locale o a quello globale in dipendenza dallo stato del flag attivabile con il comando Locale, che ha effetto anche sui comandi di interrogazione e sugli involuppi.

Il comando Numero Sezioni consente di decidere il grado di raffinatezza della campionatura dei diagrammi.

Il comando Scala consente di variare la scala se quella automatica non soddisfa.

Il comando Interroga consente invece di avere informazioni sui valori dei diagrammi (tutte e sei le componenti) non solo all'estremo degli elementi, ma anche all'interno degli elementi stessi. Se è attiva l'opzione Inviluppo l'interrogazione avverrà sui valori di inviluppo. In caso contrario avverrà sul caso o sulla combinazione attiva nella vista attiva al momento della esecuzione del comando.

2.17.3. REAZIONI VINCOLARI

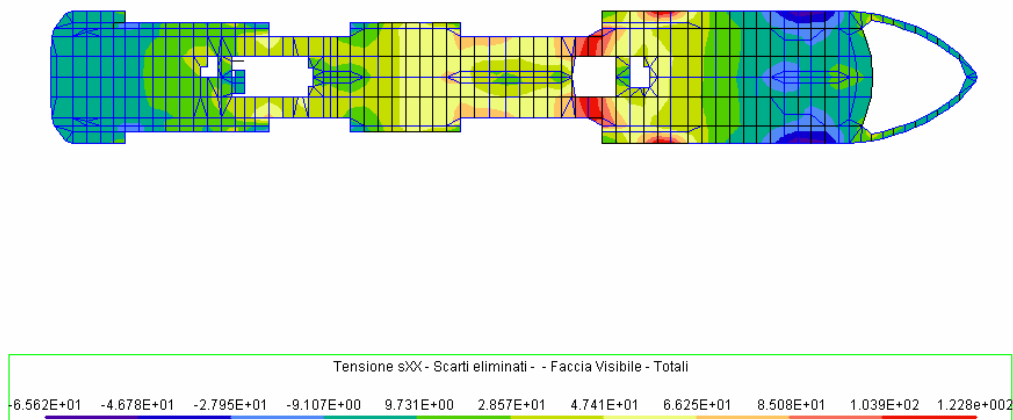
Per studiare le reazioni vincolari è disponibile il comando Interroga, che consente di avere informazioni, nel caso o combinazione attivo, sulle reazioni vincolari di un nodo scelto dall'utente. Il programma mostra i valori numerici delle sei componenti di reazione sul nodo usando le unità di misura attive. Se il nodo non è vincolato o se alcuni gradi di libertà del nodo non sono vincolati, il programma dà una misura della precisione del calcolo fornendo i valori numerici delle forze squilibrate agenti sul nodo.

2.17.4. SFORZI IN PIASTRE E MEMBRANE

I comandi da usare per lo studio degli sforzi negli elementi piastra e membrana sono tre: il comando Sforzi consente di scegliere una componente di sforzo o un invariante ed il modo di rappresentarlo; il comando Interroga consente di interrogare il programma sul valore ai quattro nodi della quantità visualizzata (con le regole precedentemente scelte con il comando Sforzi); il comando Legenda consente di impostare la legenda per la resa grafica degli sforzi.

Nell'esaminare lo stato di sforzo negli elementi bidimensionali è bene tenere presente tutto quanto segue.

2.17.4.1. GENERALITA'



Il calcolo degli sforzi all'interno degli elementi piastra e membrana si presenta intrinsecamente più complesso di quello all'interno dei normali elementi trave o biella di tipo hermitiano. La maggior difficoltà è legata al fatto che gli elementi bidimensionali sono meno precisi degli elementi monodimensionali, per i quali le funzioni di forma rappresentano il campo di spostamenti esatto in assenza di carichi distribuiti. Poichè inoltre il campo degli sforzi è in genere ottenuto tramite il legame costitutivo, che richiede una differenziazione per passare dagli spostamenti alle deformazioni, parte della precisione viene ad essere perduta in quella fase.

Per aumentare la precisione sono sostanzialmente possibili tre approcci: il primo è quello di aumentare la discretizzazione. Questo approccio è oggi maggiormente possibile di quanto non fosse quindici o venti anni fa grazie alle caratteristiche degli odierni microprocessori. Il secondo approccio è quello di usare elementi di ordine superiore (a 8 o a 9 nodi). Questo approccio è tipico dei programmi general purpose, dotati di una ampia libreria di elementi finiti. Il terzo approccio, che può coesistere con i primi due, è quello di ottenere una maggior precisione mediante una trattazione numerica degli sforzi effettuata successivamente alla stress recovery o variando opportunamente il modo di eseguire la stress recovery stessa: è questo l'ambito tipico delle tecniche di smoothing, delle interpolazioni, delle stime ai minimi quadrati, della integrazione ridotta o selettiva, e così via.

La bibliografia sull'argomento è sterminata. Qui daremo solo brevi cenni rimandando ai testi in bibliografia per una carrellata sulle problematiche connesse alla valutazione degli sforzi.

L'approccio seguito da Sargon fa capo a tecniche ampiamente consolidate ed elementi finiti di sicura affidabilità, pur non essendo così rapidi nel convergere come quelli di ordine superiore. Non essendo (né

volendo essere) un programma general purpose, la tecnica tipica per ottenere una maggior precisione usando Sargon è l'incremento della discretizzazione. Sargon enfatizza la imprecisione del calcolo mettendola chiaramente in evidenza. A differenza di altri programmi, che tendono a regolarizzare la risposta ed a valutarne la precisione con tecniche ingannevoli (cfr. più oltre), Sargon presenta i risultati in modo tale che sia evidente il loro grado di imprecisione. Questa scelta è voluta ed è fatta apposta per consentire all'analista di conoscere la reale situazione del proprio calcolo. Particolarmente utile a questo riguardo è la visualizzazione degli scarti interelementari nella visualizzazione delle isolinee (cfr. l'ottimo [2]: "We emphasize that the calculation of an error measure and its display is a most important aspect of a finite element solution. The quality of the finite element stress solution should be known").

2.17.4.2. GLI ELEMENTI

Gli elementi finiti usati da Sargon sono tutti classici elementi il cui comportamento, pregi e difetti sono ben noti.

Per la parte membranale Sargon usa elementi CST per i triangoli. L'elemento CST modella linearmente il campo di spostamenti e dà luogo ad una deformazione od uno sforzo costante. Non è un elemento quindi con il quale si possano modellare zone a forte gradiente, a meno di non usarlo con dimensioni sufficientemente piccole rispetto a quelle del gradiente in esame (in tal caso occorrerà aumentare la discretizzazione).

Sempre per la parte membranale, Sargon usa per i quadrangoli l'elemento isoparametrico bilineare QUAD4 o in alternativa l'elemento bilineare con integrazione selettiva QUAD4SRI, o, ancora, l'elemento incompatibile QM6WI (vedi scelta degli elementi finiti).

Il QUAD4 modella il campo di spostamenti con una curva bilineare, mentre il campo di sforzi risultante è lineare sull'elemento. L'integrazione è a quattro punti di Gauss (schema 2x2). Come è noto questo schema può dare un certo aumento di rigidità (shear locking) quando si studino problemi di flessione su travi snelle. La contromisura consiste nella integrazione ridotta o in quella selettiva, anche implementata in Sargon. La integrazione ridotta non è stata implementata in quanto può dare modi spurii (deformazione senza energia di deformazione).

Per quanto riguarda l'integrazione selettiva si tenga anche presente quanto suggerito in [2] ed in [3] ("We recommend that full numerical integration always be used for a displacement-based or mixed finite element formulation[...]. The reason for recommending the numerical integration orders in table 5.9 is that the reliability of the finite element procedures is of utmost concern and if an integration order lower than the 'full' order is used for a displacement-based or a mixed formulation, the analysis is in general unreliable" [2]).

Per gli elementi di piastra (immaginata sottile, e cioè aderente alla teoria di Sophie Germaine-

Kirchhoff) Sargon usa gli elementi DKT (Discrete Kirchhoff Triangle [7]). Nel caso degli elementi a quattro nodi vengono usati quattro elementi DKT sovrapposti, secondo la tecnica usata da ANSYS per il suo elemento SHELL63 [8]. Ciascun elemento DKT è integrato con tre punti di Gauss.

A partire dalla versione 7.0 si possono usare anche gli elementi di piastra spessa formulati da Hughes e Tezduyar. Si tratta di elementi da impiegare quando lo spessore della piastra da modellare non è “sottile” il che vuol dire compreso diciamo tra 1/50 ed 1/5 della dimensione libera. Per spessori ancora maggiori si è probabilmente nell’ambito di modellazioni solide. Gli elementi a tre nodi sono da usare con parsimonia in quanto hanno la tendenza a comportarsi in modo eccessivamente rigido, ben più che i fratelli a 4 nodi.

2.17.4.3. IL CALCOLO DEGLI SFORZI AI NODI

E' ben noto che i punti più affidabili ove calcolare il campo di sforzo sono gli stessi punti ove si è integrata la matrice di rigidezza, i punti di Gauss (ad esempio, "stresses at Gauss points can be interpolated or extrapolated to other points in the element. The result obtained is usually more accurate than the result of evaluating [stresses] directly at the point of interest" [3]). Questi punti sono dunque i primi ove lo sforzo è valutato. Si pone allora il problema di ottenere lo stato di sforzo ai nodi partendo dallo stato di sforzo nei punti di Gauss. Per ottenere questo risultato si possono impiegare varie tecniche ([2], [3], [5]) alcune delle quali però mostrano di essere potenzialmente pericolose (cfr. [6] a proposito dei risultati ottenuti con il solutore ALGOR).

Per gli elementi CST lo sforzo ai nodi coincide con lo sforzo calcolato nel punto di Gauss. Per gli elementi isoparametrici ad interpolazione bilineare lo stato di sforzo nei nodi è ottenuto a partire da quello nei punti di Gauss immaginando che lo sforzo segua la stessa legge bilineare impiegata per lo spostamento: vengono così identificati gli sforzi nodali che, con quella legge di interpolazione, portano ad avere nei punti di Gauss gli sforzi là calcolati. La tecnica è descritta ad esempio in [3]. Per gli elementi QM6WI la tecnica di calcolo degli sforzi fa uso di considerazioni di equilibrio e si presenta diversamente da quanto viene normalmente fatto (si veda [9]). Questa tecnica consente di avere migliori stime degli sforzi anche in presenza di un campo di spostamenti piuttosto impreciso.

Per i DKT gli sforzi di piastra vengono calcolati direttamente nei nodi, e si vede che ciò è equivalente a calcolarli nei punti di Gauss per poi estrapolarli ai nodi con legge di variazione lineare.

Per gli elementi a quattro nodi gli sforzi vengono calcolati nei nodi di ciascun elemento triangolare e poi il valore finale è ottenuto facendo la media dei valori ottenuti con i tre sotto-elementi

che arrivano al nodo in questione. Questa tecnica è diversa da quella adottata da ANSYS che invece esegue una stima ai minimi quadrati con tutti e 12 i punti di Gauss (3 punti x4 triangoli).

2.17.4.4. RESA DEL CAMPO DI SFORZO SULL'ELEMENTO

Una volta noto lo sforzo ai nodi dell'elemento è poi necessario determinare la variazione dello sforzo all'interno del dominio dell'elemento. Sono state descritte varie tecniche per ottenere questo scopo. Sargon adotta una interpolazione lineare ($v=ax + by + c$) sugli elementi a tre nodi, un'interpolazione bilineare sugli elementi a quattro nodi ($v=ax+by+cxy+d$). Naturalmente il campo di sforzi "esatto" non segue queste leggi, tuttavia, se la dimensione dell'elemento è piccola rispetto a quella del gradiente del campo, l'approssimazione è sufficientemente affidabile. Naturalmente una piastra modellata con tre soli elementi esibirà un campo di sforzo inattendibile, mentre una piastra sufficientemente discretizzata esibirà un comportamento attendibile.

Grazie a questa assunzione (o ad ogni altra possibile assunzione ad essa equivalente) è possibile descrivere le isolinee (curve che rappresentano i punti ove lo sforzo è costante) all'interno dell'elemento stesso. A tale riguardo va detto che mentre queste isolinee sono nel caso degli elementi triangolari delle rette, da lato a lato dell'elemento, nel caso degli elementi a quattro nodi esse sono delle iperboli ($v=ax+by+cxy+d= \text{costante}$). Per sposare queste iperboli Sargon usa in genere sette punti da lato a lato. Il tracciamento delle isolinee è però rallentato dalla ricerca di questi punti interni, per cui è possibile scegliere di rappresentare le isolinee in modo "rozzo" mediante un semplice segmento di retta da lato a lato (comando Legenda).

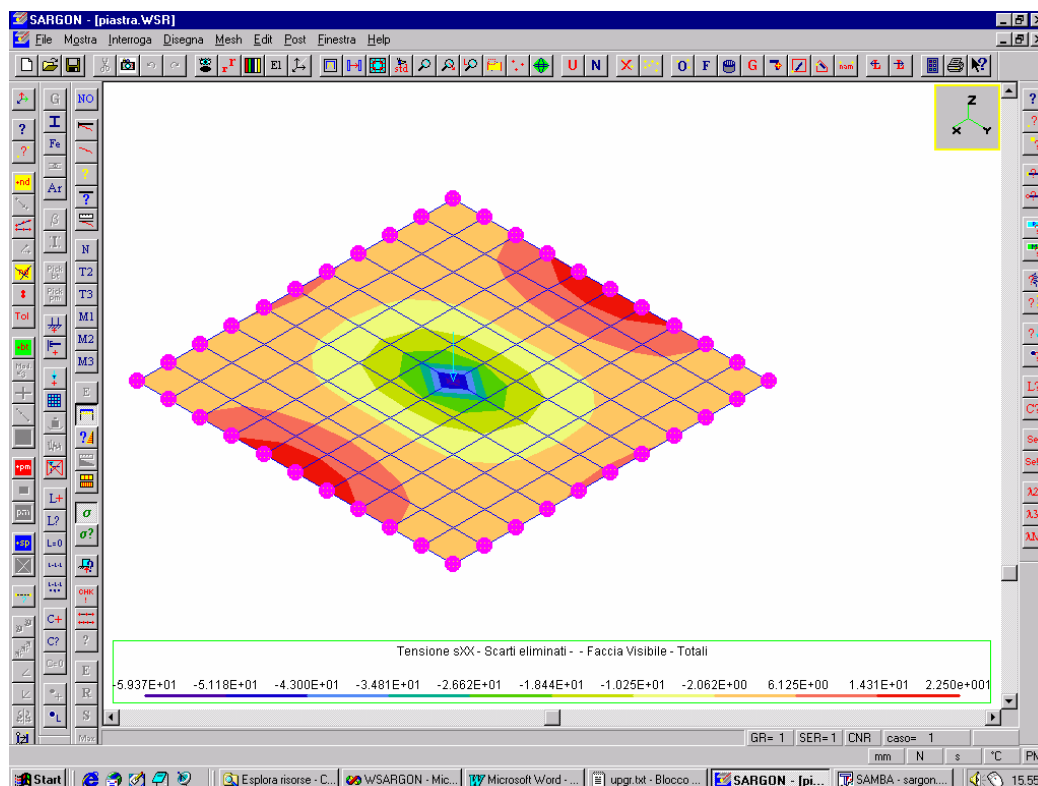
2.17.4.5. VALUTAZIONE DELLA PRECISIONE

Come già anticipato la valutazione della precisione è un aspetto di fondamentale importanza in ogni analisi agli elementi finiti. Se quello che interessa è il campo di sforzo all'interno di un continuo bidimensionale modellato con elementi piastra o membrana, la valutazione della precisione può essere fatta in maniera chiara ed al tempo stesso affidabile nel modo che segue.

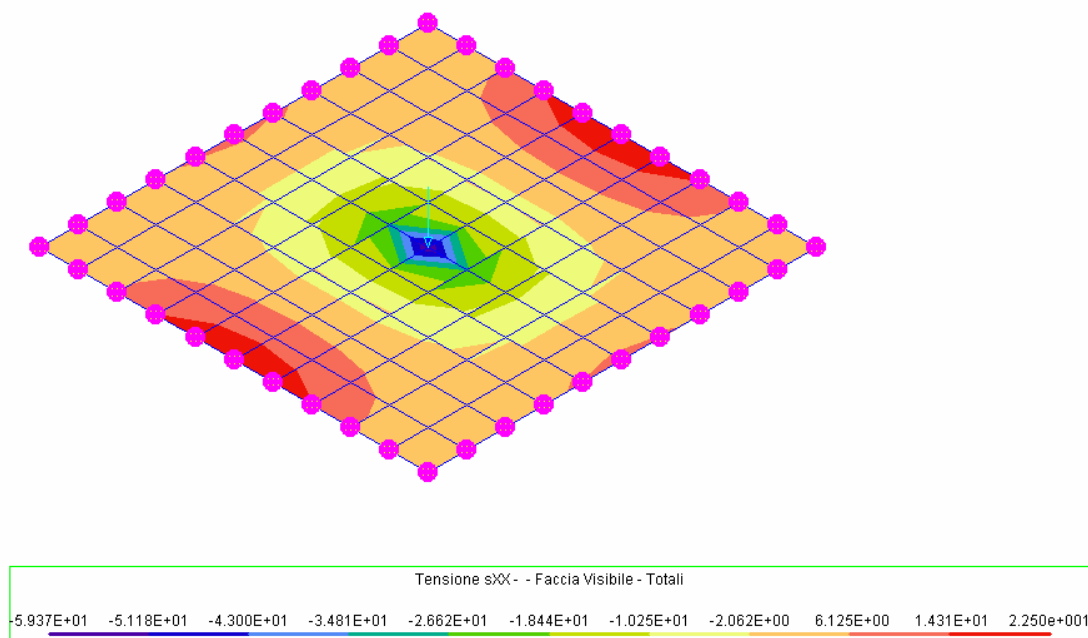
Si è visto che si è in grado di stimare il valore degli sforzi ai nodi di ogni elemento e di disegnare delle mappe che rappresentano regioni aventi sforzo costante. Quando si vanno ad esaminare i risultati osservando due elementi contigui si dovrà sempre constatare che lungo il lato in comune tra i due elementi vi sono delle discontinuità. Tali discontinuità dipendono dal fatto che il valore di sforzo S ottenuto sul nodo I pensato appartenente all'elemento N , SIN , è diverso dal valore di sforzo S ottenuto sullo stesso nodo I pensato appartenente all'elemento M , SIM . Chiamiamo scarto la quantità $(SIN-SIM)$. La immediata rappresentazione grafica dell'esistenza di questi scarti è data dal fatto che le isolinee presentano in generale un andamento interrotto, in quanto non vi è la continuità interelementare. L'entità

delle discontinuità può rendere questo effetto così marcato da rendere pressochè indecifrabili le linee di isolivello. In questo caso, o in tutti i casi in cui a giudizio dell'analista risulti marcato l'effetto di discontinuità delle linee di isolivello, è necessario fare un nuovo calcolo con una mesh infittita.

Tutti gli Autori concordano che il valor medio degli sforzi in un nodo è una stima generalmente più precisa di quanto avviene in quel nodo che quella ottenuta con i valori dei singoli elementi (global smoothing). E' perciò assolutamente naturale sostituire ai valori calcolati con ciascun elemento il valor medio di questi valori, su ogni nodo. Il campo risultante è più affidabile di quello ottenibile con i valori dei singoli elementi, ma non può stravolgere il valore di precisione ottenibile esaminando con cura gli scarti da elemento a elemento. Con il global smoothing ogni discontinuità è sparita: per questo secondo motivo è raro vedere nelle relazioni rappresentazioni che evidenzino gli scarti, sebbene sia assolutamente necessario conoscerne l'entità. Gli scarti (che ci sono sempre) parlano direttamente di precisione, il global smoothing fa apparire precisa ogni analisi. In altre parole il cosiddetto "global smoothing", ovvero l'operazione di media su un nodo da elemento a elemento è una tecnica tanto utile quanto potenzialmente pericolosa, in quanto nasconde gli scarti e rende impossibile una valutazione della bontà della analisi. Inoltre in presenza di discontinuità di materiale o di spessore questa tecnica è totalmente inattendibile (si immagini un filo e una barra connessi in serie e tirati da N, lo sforzo nel filo è effettivamente più grande di quello nella barra!).



Un esempio di rappresentazione con global smoothing (σ_x)



Un esempio di rappresentazione in assenza di global smoothing

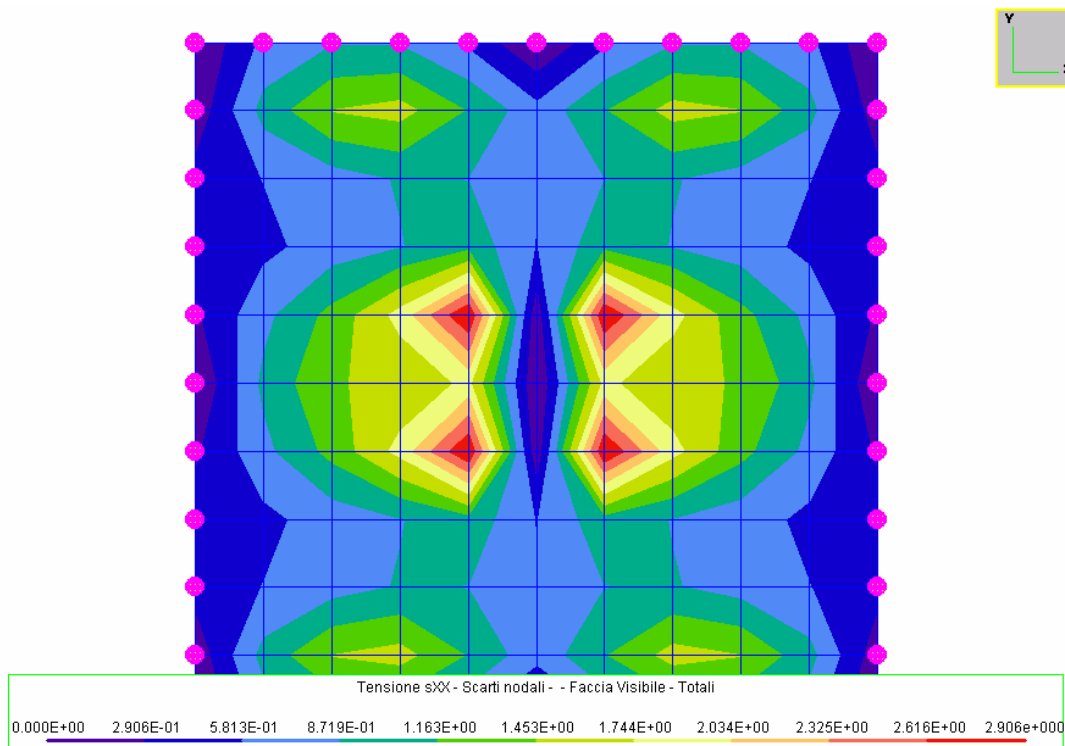
Alcuni programmi presentano "di default" i valori di sforzo con il global smoothing, Sargon invece no: i Sargon il global smoothing deve essere espressamente richiesto ed è comunque segnalato nelle stampe per mezzo della dicitura "scarti eliminati".

Sebbene la misura ad occhio della precisione mediante l'esame della entità dei salti nelle isolinee sia estremamente efficace, pure è evidentemente necessario dare una misura di questa precisione mediante una stima quantitativa.

Alcuni programmi misurano la precisione con un algoritmo che è pericoloso: l'errore in un nodo sarà $0.5(\text{Max}-\text{min})/\text{GMAX}$, dove Max è il massimo valore dello sforzo di Von Mises in quel nodo come risultante dai vari elementi ad esso attaccati, Min è il valore minimo in quel nodo, GMAX è il massimo valore dello sforzo di Von Mises letto sull'intero modello. Questa misura si presta a qualche critica: infatti, se si sta esaminando una zona dove lo sforzo non è quello massimo si ha un brutale abbattimento del valore di errore senza che vi sia alcuna ragione per farlo. Per esempio se il massimo è 1000Mpa magari raggiunto in un solo nodo lontano dove ho una concentrazione di sforzo, ed io ho 120 come massimo nel nodo in esame e 60 come minimo, l'errore misurato sarà $(120-60)/1000=0.06$, ovvero solo il 6%, anche se 120 è il doppio di 60 ed anche se lo scarto è elevato (60Mpa!). Una seconda critica è che

l'errore non può essere mostrato per il solo sforzo di Von Mises, ma andrebbe mostrato per ogni possibile componente di sforzo, giacchè non è detto che tutti gli sforzi siano misurati con identica precisione.

La prima idea è di sostituire alla precedente stima dell'errore la seguente: $0.5(\text{Max}-\text{min})/\text{min}$. Questa stima ha però lo svantaggio di non tenere in conto l'entità dello scarto. Se ad esempio ho in un nodo il massimo pari a 0.0001Mpa ed il minimo stimato pari a 0.00005Mpa l'errore sarà del 100%, ma in realtà ciò impensierisce assai poco data comunque la esiguità dell'entità dello sforzo.

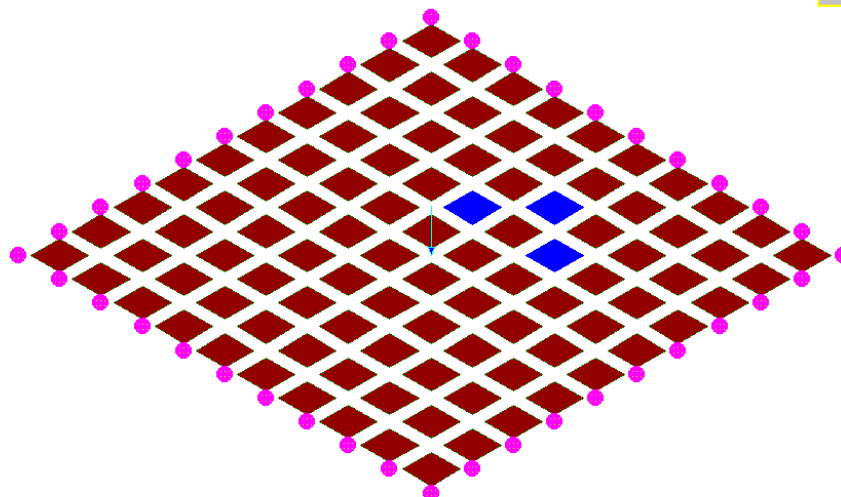


Esempio di rappresentazione dell'entità dello scarto

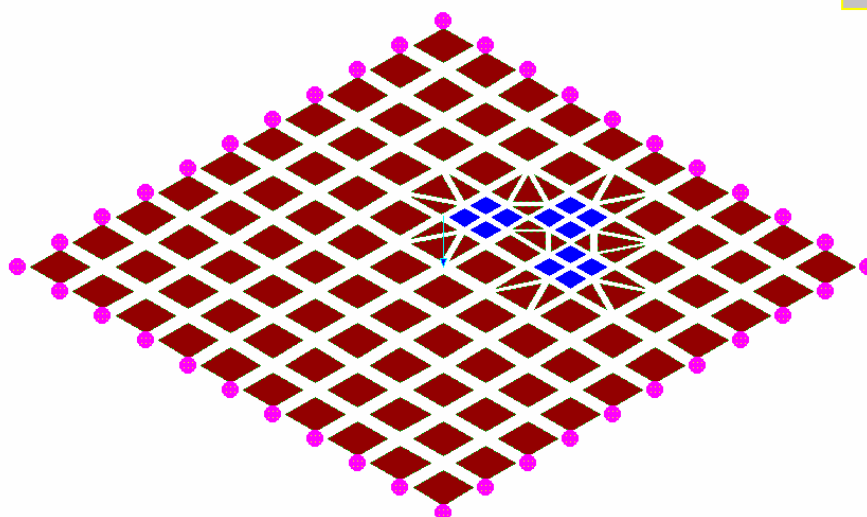
Sargon dà una misura quantitativa della precisione che è una stima dimensionale (non un numero puro). L'errore è dato in termini di scarto quadratico medio sul nodo (cfr. Malerba in [4]), cosicchè si conosce nelle varie zone del modello l'entità degli scarti medi attesi letta direttamente nella unità di misura attiva. Nel caso di prima (60 e 100), si leggerebbe 20Mpa come errore medio atteso ($\sqrt{((60-80)*(60-80)+(100-80)*(100-80))/2}$). La rappresentazione degli scarti può essere chiesta per ogni componente di sforzo, anche se ha senso solo per gli invarianti (tensore nel riferimento globale, sforzo di Von Mises, sforzi principali massimi e minimi, invarianti del tensore, tutti in presenza di continuità strutturale, mentre non ha senso per le componenti del tensore nel riferimento locale, giacchè questo varia da elemento a elemento).

2.17.4.6. ADAPTIVE REFINEMENT

Per adaptive refinement ([5]) si intende la tecnica in base alla quale la mesh viene infittita solo in certe zone, dipendentemente dalla stima dell'errore commesso in quelle zone stesse.



Elementi da remeshare suddividendoli in quattro con il comando Adaptive Refinement



La mesh dopo l'esecuzione del comando Adaptive Refinement

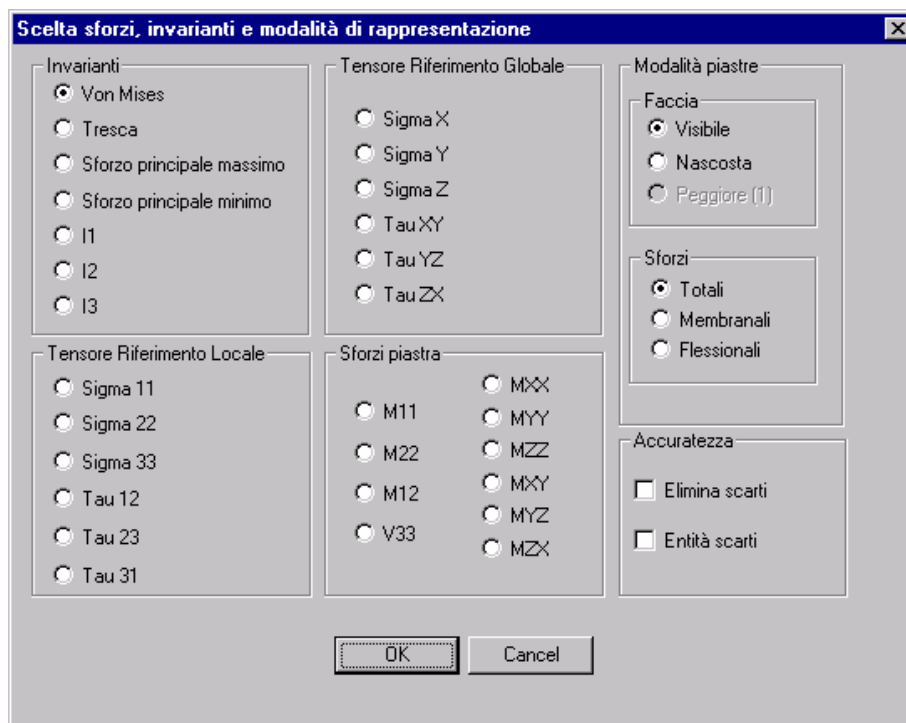
In Sargon l'infittimento è fatto dimezzando il passo della mesh degli elementi da raffinare ed

aggiustando poi gli elementi contigui in modo da sposare, localmente, il nuovo passo di mesh (Adaptive Refinement). Iterando questa tecnica si può rapidamente arrivare a ridurre gli scarti della soluzione a valori ritenuti accettabili dall'analista. Un'importante considerazione è quella legata alla distorsione degli elementi. Nel corso dei raffinamenti gli elementi adiacenti alla zona infittita vengono ridefiniti in modo da non aggiungere nodi ulteriori: ciò può alla lunga portare ad aumentare la distorsione degli elementi e quindi a zone ove la forma degli elementi è inaccettabile. La contromisura consiste nell'ampliare la zona da infittire o nel coinvolgere in successivi remeshing gli elementi distorti.

2.17.4.7. REGOLE GENERALI SUGGERITE

E' molto facile produrre un'analisi agli elementi finiti, più difficile è produrre una analisi realmente affidabile. Se la valutazione dello stato di sforzo negli elementi bidimensionali è importante la prima cosa da fare è esaminare una o più componenti dello stato di sforzo in presenza degli scarti. Se le linee di isolivello sono irriconoscibili o scarsamente riconoscibili occorre rifare l'analisi aumentando la discretizzazione. Se le linee di isolivello appaiono accettabili occorre valutare l'errore mappando gli scarti, e considerare i valori ottenuti con lo smoothing affetti, punto per punto da un errore (positivo o negativo) dell'entità quantificata dal programma. L'errore fornito da programma dovrebbe sempre essere paragonato alla precisione richiesta dal calcolo in esame. Ad esempio un valore massimo di 100Mpa con un errore di 20Mpa può lasciare tranquilli se la soglia è ad esempio 160Mpa. Ma se il valore è 150 e l'errore è 50, allora occorre rifare l'analisi.

2.17.4.8. MODALITA' DI VISUALIZZAZIONE



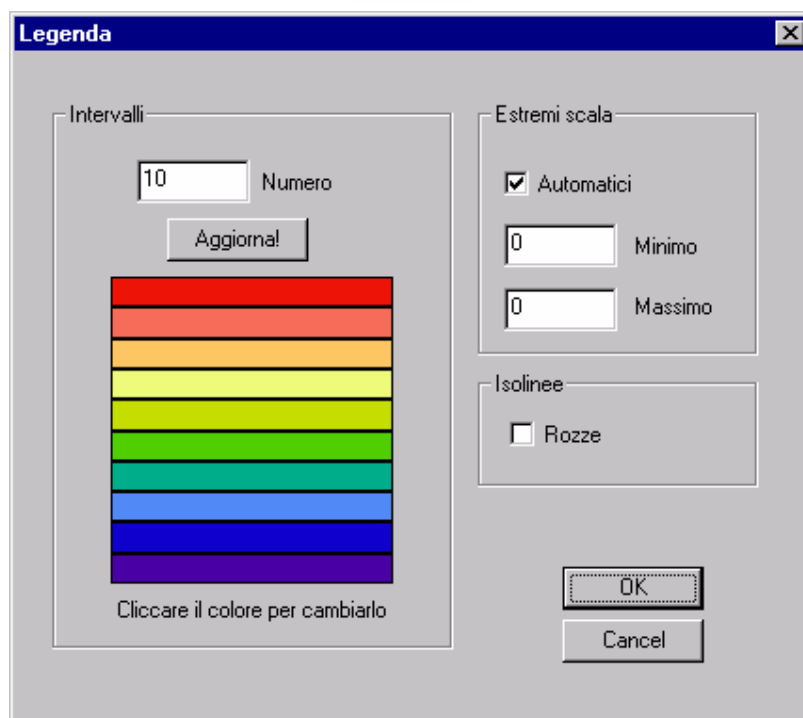
Dialogo impiegato per scegliere la componente di sforzo desiderata.

Sargon consente di vedere sia gli sforzi membranali che quelli flessionali. E' possibile chiedere al programma, cioè, di calcolare lo stato di sforzo usando solo le azioni di membrana trascurando i momenti di piastra. Allo stesso modo è possibile chiedere al programma di vedere solo la componente flessionale e non quella membranale. In questi casi una scritta nella legenda segnala la scelta fatta.

Se si decide di vedere lo stato di sforzo completo o quello solo flessionale, sorge il problema legato al fatto che lo stato di sforzo cambia tra la faccia superiore e quella inferiore della piastra. Sargon consente di scegliere se vedere lo stato di sforzo sulla faccia visibile (sia essa superiore o inferiore) o su quella nascosta. Nel caso di elementi membrana questa opzione è ovviamente inutile.

Se vengono estratti degli elementi Sargon fa vedere i massimi e i minimi assumendo come massimo il massimo valore presente tra gli elementi estratti e non il massimo valore complessivo: ciò consente di studiare più in dettaglio parti della struttura.

2.17.4.9. USO DELLA LEGENDA



La legenda viene personalizzata con il comando Legenda. Personalizzare la legenda vuol dire scegliere il numero di intervalli da usare per le isolinee (il default è 10) e scegliere il colore usato per ciascuna banda di sforzo. E' inoltre possibile chiedere al programma di calcolare le isolinee rettificandole da lato a lato dell'elemento, in modo da sveltire le operazioni.

Spesso molto utile è la possibilità di scegliere dei valori di minimo e massimo arbitrari: grazie a questa possibilità è dato vedere evidenziate le regioni del modello che superano un certo valore di soglia, o che si trovano in un certo range. Questa possibilità è anch'essa contenuta nel comando Legenda.

2.17.4.10. CONVENZIONI E TERMINOLOGIA

Le convenzioni usate da Sargon sia a schermo che nel tabulato ricalcano quelle solite impiegate nei testi sull'argomento. Per il tensore dello sforzo si assumono positive le trazioni. I pedici 1,2,3 indicano il riferimento locale. I pedici x,y,z il riferimento globale. Per i momenti di piastra si deve tenere presente che il momento m11 è il momento che provoca una \square_{11} positiva sulla faccia superiore dell'elemento. Il momento m12 provoca una \square_{12} positiva sulla faccia superiore dell'elemento. I momenti mxx, myy, mzz sono ottenuti per trasformazione e servono a dare quantità indipendenti dal sistema di riferimento locale dell'elemento, che può in generale essere assai diverso da elemento a

elemento.

Nel tabulato di output gli sforzi sono dati con le stesse convenzioni.

Per le piastre vengono dati, per ogni elemento selezionato, i seguenti valori:

Plate	CC	I	S1m	S2m	S12m	m1	m2	m12
		J	S1m	S2m	S12m	m1	m2	m12
		K	S1m	S2m	S12m	m1	m2	m12
		L	S1m	S2m	S12m	m1	m2	m12

Dove:

Plate indica il numero di elemento;

CC la condizione di carico o la combinazione (se $CC > NLCASE$, CC è la combinazione CC-NLCASE);

I,J,K,L sono i quattro nodi ordinatamente presi: ad ogni riga corrisponde l'output di un nodo.

S1m indica la tensione σ_{11} membranale;

S2m indica la tensione σ_{22} membranale;

S12m indica la tensione τ_{12} membranale;

m1 indica il momento per unità di lunghezza (momento che genera una σ_{11} flessionale)

m2 indica il momento per unità di lunghezza (momento che genera una σ_{22} flessionale)

m12 indica il momento per unità di lunghezza (momento che genera una τ_{12} torsionale)

Per le membrane vengono dati, per ogni elemento selezionato, i seguenti valori:

Membr	CC	I	SVm	SI	SII	S1	S2	S12
		J	SVm	SI	SII	S1	S2	S12
		K	SVm	SI	SII	S1	S2	S12
		L	SVm	SI	SII	S1	S2	S12

Membr indica il numero di elemento;

CC la condizione di carico o la combinazione (se $CC > NLCASE$, CC è la combinazione CC-NLCASE);

I,J,K,L sono i quattro nodi ordinatamente presi: ad ogni riga corrisponde l'output di un nodo.

SVm indica lo sforzo di Von Mises;

SI indica lo sforzo principale minimo;

SII indica lo sforzo principale massimo;

S1 indica la tensione σ_{11} membranale;

S2 indica la tensione σ_{22} membranale;

S2m indica la tensione σ_{22} membranale;

S12 indica la tensione τ_{12} membranale;

2.17.4.11. BIBLIOGRAFIA

- [1] Meccanica delle strutture, 2, Le teorie strutturali ed il Metodo degli elementi finiti, L. Corradi Dell'Acqua, Mc Graw Hill, 1992
- [2] Finite Element Procedures, K. J. Bathe, Prentice Hall International Ed., 1996
- [3] Concepts and Applications of Finite Element Analysis, R. D. Cook, D. S. Malkus, M.E.Plesha, Third Ed., John Wiley & Sons, 1989
- [4] Analisi per Elementi Finiti: Modellazione Strutturale e Controllo dei Risultati, a cura di B.A. Schrefler A.A: Cannarozzi, CISM - International Centre for Mechanical Sciences, 1991
- [5] The Finite Element Method vol. 1 and 2, O.C. Zienkiewicz, R.L.Taylor, Fourth Ed. McGraw Hill, 1991
- [6] On the use of finite element programs in structural evaluation and development of design charts, A. Mufti, G.Tadros, A.C. Agarwal, Can. J. Civ.Eng. 21, 797-804 (1994)
- [7] A study of three-node triangular plate bending elements, J.L. Batoz, K.J.Bathe, L.W. Ho, Int. Jou. Num. Met. Eng., 15, 1771-1812 (1980)
- [8] ANSYS User's Manual - Theory - rev. 5.0, 1992
- [9] Use of incompatible displacement modes for the calculation of element stiffnesses and stresses, E.L.Wilson, A. Ibrahimbegovic, , *Finite Elements in Analysis and Design*, 7, 1990, 229-241

2.17.5. CONTROLLO DELLA BONTA' DEL CALCOLO

Sargon dispone di un sofisticato strumento per il controllo della bontà di ciascuna esecuzione e per il controllo della bontà delle successive versioni del programma. Tale strumento è denominato “checksolvers” ed è eseguibile rilasciato insieme con il programma.

Checksolvers è un programma indipendente dai solutori poiché utilizza unicamente i dati di output da essi prodotti (spostamenti, azioni interne, reazioni e residui) oltre che, naturalmente, le informazioni sulla geometria e sulle connessioni.

Checksolvers ha un suo manuale d'uso esterno al manuale di Sargon, si tratta del documento (in inglese) “checksolvers.doc” contenuto nella cartella di installazione del programma.

I controlli eseguiti da checksolvers sono controlli di due tipi.



Vi sono i controlli eseguibili senza alcuna specifica informazione da parte dell'utente, ovvero controlli sulla bontà della soluzione, sulla sua coerenza e precisione (controlli standard).

Vi sono invece controlli che il programma esegue paragonando certi risultati ottenuti dai solutori (“computed values”) con i risultati attesi (“target values”). I risultati attesi possono essere risultati “teorici” (e in tal caso deriveranno da formulazioni descritte in letteratura) oppure risultati di confronto con altri solutori (“cross checks”) o, ancora, risultati reputati accettabili sulla base di altre considerazioni (“accepted values”). Questi controlli sono detti globalmente “controlli incrociati”.

Controlli standard

A partire dalla versione 8.10 del programma, al termine di ogni soluzione statica si viene richiesti di decidere se si vuole ottenere un controllo automatico della bontà della esecuzione. Se si risponde “sì”, Sargon creerà in modo automatico un file di input per checksolvers relativo al modello correntemente in analisi, eppoi lancerà, sempre in modo automatico, lo stesso checksolvers.exe, in modo che questo produca poi un file di output che verrà aperto automaticamente usando blocco note.

In pratica se si sceglie di eseguire i controlli si verrà automaticamente portati a un file di output ASCII che conterrà una serie di importanti dati relativi alla bontà della soluzione, e che potranno essere d'aiuto al fine di certificarne la qualità (almeno per le parti relative alla precisione della soluzione: non è infatti detto che il modello sia appropriato, e ciò per numerosi possibili motivi).

Supponendo che il modello si chiami “paperino.wsr”, viene creato il file di input per checksolvers “paperino.chk.txt”, eppoi il file di output di checksolvers “paperino.chk.txt.out”. Si tratta di file ASCII editabili con un qualsiasi editor di testo.

Per una dettagliata descrizione dei controlli standard eseguiti da checksolvers si rimanda al suo manuale d'uso. Qui diamo un esempio di tale tabulato che fa intendere il tipo ed il numero di controlli standard eseguiti. Il modello qui analizzato aveva due soli casi di carico.

```
*****
*
*
*
*
*
*
*      CHECKSOLVERS    VERS. 2-0
*
*
*      Author:  Paolo Rugarli - Structural Engineer
*
*
```

* Copyright 2005-2006 Castalia srl-All rights reserved - www.castaliaweb.com *

 Legenda:

LC..... The load case number inside the model
 TV..... Target value
 THEORIC.....Theoric target value
 CROSS.....Cross check target value (other solvers)
 ACCEPTED.....Accepted target value (e.g. benchmarks, previous tests)
 CV..... Computed value (what is found into binary output files)
 VA..... A value "A" to be compared to a value "B"
 VB..... A value "B" to be compared to a value "A"
 DELTA..... By definition: (CV - TV) or (VB - VA)
 Err(%)..... By definition 100 (CV - TV) / TV, percentage error.
 if TV = 0 --> conventionally Err(%) = 100 CV
 ND..... The node number in the fem model
 TR..... Truss element number
 BE..... Beam element number
 ME..... Membrane element number
 PL..... Plate element number
 SP..... Spring element number
 SO..... Solid element number

 F:\ANALISI\810\mensola

 GENERAL CHECKS OF CONSISTENCE AND GENERAL INDICATORS

Units: length: mm force: N temperature: °C time: s work: joule
 Load case 1 Sum of Reactions Rx TV= -0.000000e+000 CV = -3.451001e-006 DELTA = -3.451001e-006 Err(%) = -0.0003
 Load case 1 Sum of Reactions Ry TV= -0.000000e+000 CV = 9.362848e-006 DELTA = 9.362848e-006 Err(%) = 0.0009
 Load case 1 Sum of Reactions Rz TV= 2.000000e+007 CV = 2.000000e+007 DELTA = -6.141886e-005 Err(%) = -0.0000
 ----- Reaction X Check passed -----
 ----- Reaction Y Check passed -----
 ----- Reaction Z Check passed -----
 Load case 2 Sum of Reactions Rx TV= -2.000000e+007 CV = -2.000000e+007 DELTA = -2.458692e-006 Err(%) = 0.0000
 Load case 2 Sum of Reactions Ry TV= -0.000000e+000 CV = 3.124927e-007 DELTA = 3.124927e-007 Err(%) = 0.0000
 Load case 2 Sum of Reactions Rz TV= -0.000000e+000 CV = -1.399647e-007 DELTA = -1.399647e-007 Err(%) = -0.0000
 ----- Reaction X Check passed -----
 ----- Reaction Y Check passed -----
 ----- Reaction Z Check passed -----
 Load case 1 Work of residual forces and moments TV= 0.000000e+000 CV = 7.588558e-004 DELTA = 7.588558e-004 Err(%) = 0.0759
 Load case 2 Work of residual forces and moments TV= 0.000000e+000 CV = -6.211972e-008 DELTA = -6.211972e-008 Err(%) = -0.0000
 Total number of degrees of freedom: 2850
 Load case 1 Total Residual Rx = -2.135974e-006 Maximum Residual Rx = 1.162291e-006 on node 862
 Total Residual Ry = -1.520588e-006 Maximum Residual Ry = 5.960464e-007 on node 738
 Total Residual Rz = -2.467728e-005 Maximum Residual Rz = 5.215406e-006 on node 945
 Total Residual Mx = 0.000000e+000 Maximum Residual Mx = 0.000000e+000 on node 0
 Total Residual My = 0.000000e+000 Maximum Residual My = 0.000000e+000 on node 0
 Total Residual Mz = 0.000000e+000 Maximum Residual Mz = 0.000000e+000 on node 0
 Load case 2 Total Residual Rx = 3.376522e-008 Maximum Residual Rx = 9.620999e-008 on node 771
 Total Residual Ry = -3.109257e-008 Maximum Residual Ry = 1.909757e-008 on node 947
 Total Residual Rz = 5.412877e-008 Maximum Residual Rz = 8.949428e-009 on node 872
 Total Residual Mx = 0.000000e+000 Maximum Residual Mx = 0.000000e+000 on node 0
 Total Residual My = 0.000000e+000 Maximum Residual My = 0.000000e+000 on node 0
 Total Residual Mz = 0.000000e+000 Maximum Residual Mz = 0.000000e+000 on node 0
 Load case 1 Point of application of residual + reaction resultant (Or): X= 9.500000e+003 Y= 5.000000e+002
 Z= 1.405154e-009
 Load case 1 Point of application of applied loads (Op): X= 9.500000e+003 Y= 5.000000e+002
 Z= 0.000000e+000
 Load case 1 P x (Op-Or): Mx= -2.424940e-003 My= 1.747321e-001 Mz= 0.000000e+000 M = 1.747489e-001
 |M|/|P|= 8.737447e-009
 Load case 2 Point of application of residual + reaction resultant (Or): X= 8.140836e-013 Y= 5.000000e+002
 Z= 1.000000e+003
 Load case 2 Point of application of applied loads (Op): X= -0.000000e+000 Y= 5.000000e+002
 Z= 1.000000e+003
 Load case 2 P x (Op-Or): Mx= 0.000000e+000 My= -2.501110e-004 Mz= -2.015668e-003 M = 2.031126e-003
 |M|/|P|= 1.015563e-010
 Load cases a #1, b #2.Betti's rule (Lab=Lba) VA= -1.337239e-007 VB= -1.238659e-007 DELTA = 9.858013e-009
 Err(%) = -7.3719
 Load case 1 Average translations: Tx= 4.194072e-015 Ty= -2.462228e-011 Tz= -1.662977e+001 Ttotal= 1.700409e+001
 Load case 2 Average translations: Tx= 2.342640e-001 Ty= -7.355153e-013 Tz= 1.126599e-014 Ttotal= 2.347626e-001

Nella versione 8.10 i controlli riguardano:

- Le risultanti delle reazioni vincolari paragonate alle risultanti dei carichi applicati
- Il lavoro dei residui
- Il residuo totale e le massime componenti dello stesso residuo
- Il punto di applicazione del vettore delle forze reattive + residui, paragonato al punto di applicazione del risultante dei carichi applicati (controllo distribuzione delle reazioni vincolari)
- Il momento esercitato dal vettore dei residui+ reazioni vincolari rispetto al punto di applicazione del risultante dei carichi applicati
- Il controllo di eguaglianza dei lavori misti secondo il teorema di Betti (quando possibile con sole forze nodali)
- Il valore degli spostamenti medi

Si consiglia di eseguire sempre un controllo sui risultati forniti da checksolvers al fine di verificare la bontà della soluzione ottenuta.

Controlli incrociati

Dato un certo insieme di modelli test, è opportuno eseguire test di controllo sui risultati delle elaborazioni su ogni successiva versione del programma, al fine di verificare che nulla di scorretto infici i risultati delle analisi. Normalmente tale genere di controlli viene eseguito dalle software house che producono i programmi, ma si è ritenuto che fosse utile e trasparente consentire a ciascun utente non solo di eseguire gli stessi controlli eseguiti dalla Casa Produttrice, bensì anche altri controlli, eventualmente messi a punto da ciascun utente e rieseguiti ad ogni versione.

Con checksolvers versione 2.0 questo è possibile in modo molto semplice, poiché è possibile automatizzare completamente la esecuzione del solving (il nuovo solving ottenuto con la nuova versione da controllare) e la esecuzione dei test eseguiti da checksolvers.

Al fine di illustrare la procedura si parte dalla descrizione della sottocartella \checksolvers alla cartella di installazione del programma.

Tale cartella contiene alcuni file, che sono (rilascio versione 8.10):

Directory di C:\WSARGON\CHECKSOLVERS

```

18/04/2006  19.56    <DIR>      .
18/04/2006  19.56    <DIR>      ..
24/03/2006  14.17    <DIR>      CHECKSPARSE_STATICS
18/03/2005  13.06                35 go.bat
06/04/2006  17.58                33 gomodal.bat
03/04/2006  12.37            11.174 modal.txt
03/04/2006  12.56            25.609 modal.txt.out
03/04/2006  14.06    <DIR>      MODALE
06/04/2006  17.57            344 readme.txt
03/04/2006  12.42            7.280 runmodal.bat
05/04/2006  19.48            16.909 runstatics.bat
07/04/2006  17.57    <DIR>      STATICS
05/04/2006  19.57            47.379 statics.txt
07/04/2006  18.46            451.965 statics.txt.out
23/03/2006  19.00    <DIR>      VER700

```

- La cartella “statics” contiene file di prova per l’analisi statica.
- La cartella “modale” contiene file di prova per la analisi modale
- La cartella “VER700” contiene i risultati di checksolvers ottenuti con la versione 7.00.
- La cartella “checksparse_statics” contiene modelli fatti girare con il solutore statico sparse matrix e controllano in modo incrociato i risultati ottenuti con il solutore skyline.
- Sono poi contenuti alcuni file:
 - Readme.txt è un piccolo promemoria che spiega cosa fare
 - Runstatics.bat è un file batch che lancia la soluzione con CLEVER di tutti i modelli per le analisi statiche. Naturalmente le analisi vengono eseguite con la versione corrente di sargon.
 - Runmodal.bat è un file batch che lancia la soluzione con LEDA di tutti i modelli per le analisi modali.
 - Statics.txt è il file di input per checksolvers (analisi statiche). Esso dice come eseguire i controlli e cosa controllare.
 - Modal.txt è il file di input per checksolvers (analisi modali). Esso dice come eseguire i controlli e cosa controllare.
 - Statics.txt.out è il file di output di checksolvers rispetto all’input “statics.txt”. Dice cosa checksolvers ha trovato.
 - Modal.txt.out è il file di output di checksolvers rispetto all’input “modal.txt”. Dice cosa checksolvers ha trovato.

- Go.bat è un file batch che lancia checksolvers dicendogli di aprire il file “statics.txt”
- Gomodal.bat è un file batch che lancia checksolvers dicendogli di aprire il file “modal.txt”.

Da un punto di vista pratico occorre dapprima eseguire tutti i solving statici e dinamici con la versione in uso, su tutti i file di interesse. Ciò si fa eseguendo dapprima “runstatics.bat” (facendoci doppio click sopra) e poi “runmodal.bat” (sempre facendoci doppio click sopra: bisogna possedere una licenza d’uso di LEDA, ovviamente).

Poi si eseguono i batch file che chiamano checksolvers dicendogli di aprire e leggere i file di input ad esso riservati: checksolvers si aspetta di trovare i file di output e quindi occorre eseguire questo passo dopo il precedente.

Infine si aprono i file “.out” andando a controllare che i risultati siano identici a quelli delle versioni precedenti o comunque attendibili.

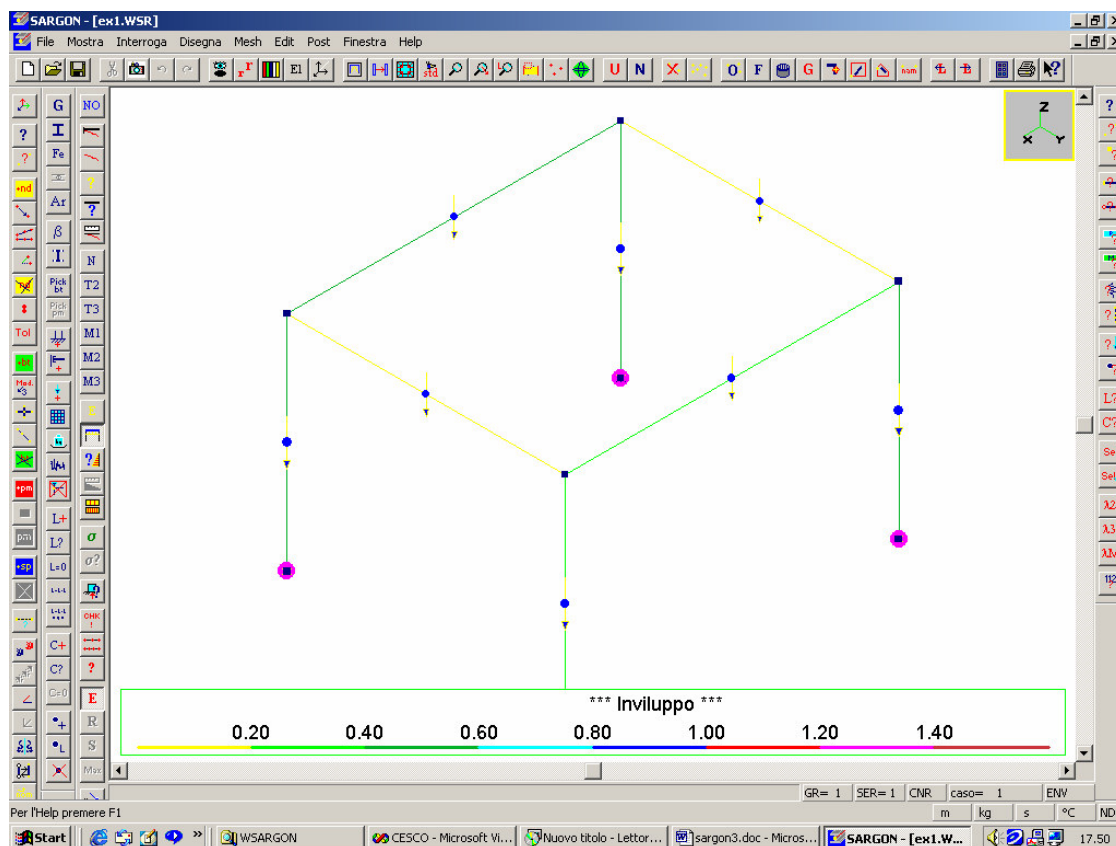
Ricapitolando:

- doppio click su “runstatics.bat”
- doppio click su “runmodal.bat”
- attendere la fine di tutti i solving (alcuni sono onerosi !!)
- doppio click su “go.bat”
- doppio click su “gomodal.bat”
- Aprire e controllare “statics.txt.out”
- Aprire e controllare “modal.txt.out”

La procedura indicata esegue test correntemente in uso da parte del produttore. Nulla vieta all’utente di aggiungere suoi propri casi test in modo da avere un ulteriore controllo, indipendente da quello del produttore.

Il tabulato di output di checksolvers per i casi test consegnati dal produttore rappresenta una importante fonte di descrizione della bontà delle elaborazioni del programma.

2.17.6. VERIFICHE



Lo studio dei risultati delle verifiche avviene grazie ai comandi posti nel menù Verifica. Il comando Interroga consente di avere informazioni sulle verifiche di un'asta (trave o biella) scelta dall'utente. Sono possibili tre modalità di rappresentazione dei coefficienti di sfruttamento:

Involuppo

In questa modalità si vedono i coefficienti di sfruttamento massimi tra resistenza e stabilità, al variare delle combinazioni di verifica. In pratica il peggio del peggio. Se questa modalità è attiva, il comando Interroga darà informazioni sull'involuppo.

Resistenza

In questa modalità si vedono i coefficienti di sfruttamento dovuti alle verifiche di resistenza nella combinazione attiva. Se questa modalità è attiva, il comando Interroga darà informazioni sui

coefficienti di sfruttamento a resistenza nella combinazione attiva. Se nella vista corrente non è attiva una combinazione il comando diventa non eseguibile.

Stabilità

In questa modalità si vedono i coefficienti di sfruttamento dovuti alle verifiche di stabilità nella combinazione attiva. Se questa modalità è attiva, il comando Interroga darà informazioni sui coefficienti di sfruttamento a stabilità nella combinazione attiva. Se nella vista corrente non è attiva una combinazione il comando diventa non eseguibile.

Massimo

In questa modalità si vedono i coefficienti di sfruttamento dovuti al massimo tra le verifiche di resistenza e quella di stabilità nella combinazione attiva. Se questa modalità è attiva, il comando Interroga darà informazioni sui coefficienti di sfruttamento massimi tra resistenza e stabilità nella combinazione attiva. Se nella vista corrente non è attiva una combinazione il comando diventa non eseguibile.

Se nelle verifiche sono stati verificati dei superelementi si tenga conto di quanto segue. Il coefficiente di sfruttamento a stabilità degli elementi trave che compongono il superelemento è quello del superelemento, non quello dell'elemento.

La rappresentazione dei coefficienti di sfruttamento è una modalità di disegno paragonabile a quella che fa vedere gli elementi per tipo o per sezione. Una volta attivata questa modalità, essa resta attiva fino al successivo comando No post o fino alla scelta di una modalità diversa.

Il comando Statistiche viene impiegato per avere informazioni di tipo statistico sul coefficiente di sfruttamento (di inviluppo, di resistenza, di stabilità o massimo a seconda della scelta fatta) dell'insieme delle aste selezionate al momento della esecuzione del comando.



2.17.7. TABULATO

```
#####  
#  
#                               S A R G O N                               #  
#                               #  
#                               #  
#                               #  
# Vers. 5.00 - Copyright (c) 1991-00 Castalia srl. Tutti i diritti riservati. #  
#####  
Utente: CASTALIA S.R.L.                                numero di serie: 100011
```

```
-----  
  
Modello ---> C:\ANALISI\cedi  
Data: 27/11/2000 - Ora: 11:15:44  
  
-----
```

UNITA' CORRENTI

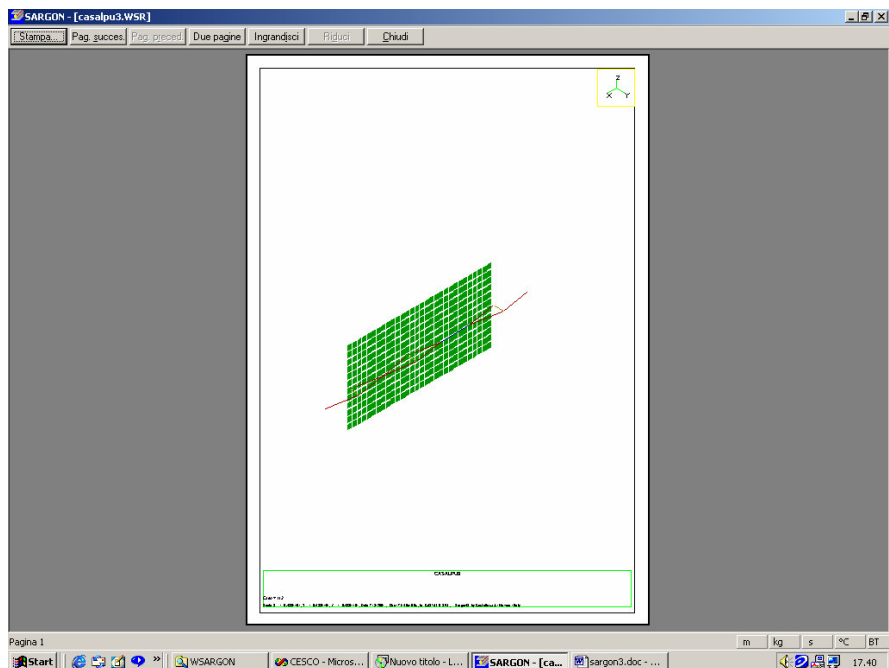
Lunghezza	Forza	Temperatura	Tempo
cm	kg	°C	s

----- TABELLA NOMI NUMERI (OGG: SELEZIONATI) -----		
NUMERO	NOME	OGGETTO
7		NODO
8		NODO
9		NODO

Il tabulato si ottiene con il comando Crea Listato . Si può scegliere la lingua preferita tra un insieme di lingue possibili, e scegliere di mettere o non mettere certe parti del tabulato, che è diviso in sezioni e sottosezioni.

In generale le informazioni riportate nel tabulato si riferiscono soltanto agli elementi selezionati al momento della esecuzione del comando che crea il tabulato. Ciò per consentire di modulare la quantità di carta stampata. Questa regola vale per i nodi e per le travi e le bielle. I risultati delle verifiche, invece, vengono sempre aggiunti nel loro insieme al tabulato, e ciò per evitare che possano essere scartate le aste non verificate.

2.17.8. STAMPA



Sargon consente di stampare il contenuto della vista attiva. Il comando è Stampa . E' anche possibile avere l'anteprima di stampa e impostare la stampante (comandi Anteprima di stampa e Setup Stampante).

Poichè il programma usa pesantemente il colore, e non tutte le stampanti sono a colori, non sempre il risultato della stampa è what you see is what you get. In particolare, le mappe della snellezza ed i coefficienti di sfruttamento sono rappresentati con dei simboli e non con i colori se la stampante è in bianco e nero (tipicamente se la stampante è una stampante laser).

2.17.9. TRASFERIMENTO D'IMMAGINI



Sargon consente di trasferire il contenuto della vista attiva agli appunti (clipboard) al fine di impiegare questa immagine in altri programmi (tipicamente Word per Windows™, Write™, Paintbrush™, e più in generale, tutti i programmi capaci di importare l'oggetto Bitmap via clipboard). Il comando è Copia, accessibile sia da menù che dalla barra principale.

2.17.10. SFORZI IN TRAVI E BIELLE

A partire dalla versione 6.10 Sargon consente di avere un'idea degli sforzi nelle travi e nelle bielle prima di eseguire le verifiche.

I comandi sono tutti raggruppati sotto il menu Post e sono posizionati nella barra dei bottoni POST2.

Scopo di questi comandi non è fornire un dettagliato quadro della situazione puntuale degli sforzi all'interno delle sezioni, bensì fornire una serie di informazioni base utili per la valutazione dello stesso. Sono plottabili come mappa a colori, ed interrogabili, nonché stampabili tutti i seguenti nuovi dati di calcolo, che si affiancano alle azioni interne già calcolate dal programma:

1. N/A sforzo assiale con segno. Questa quantità non ha senso per i profili misti.
2. M2/W2 massimo sforzo flettente elastico sull'asse 2 con segno. Questa quantità non ha senso per i profili misti.
3. M3/W3 massimo sforzo flettente elastico sull'asse 3 con segno. Questa quantità non ha senso per i profili misti.
4. M2/Wpl2 tensione di snervamento del materiale che corrisponderebbe ad un pieno sfruttamento plastico sotto il momento M2 applicato. Questa quantità ha senso per i profili

misti.

5. M_3/W_{pl3} tensione di snervamento del materiale che corrisponderebbe ad un pieno sfruttamento plastico sotto il momento M_2 applicato. Questa quantità ha senso per i profili misti.
6. $|N/A| + |M_2/W_2| + |M_3/W_3|$ stima semplificata del massimo valore di tensione elastica. Nel caso dei tubi e delle sezioni circolari piene – data la loro importanza e frequenza- la formula viene sostituita nei calcoli dalla seguente (esatta): $|N/A| + |M/W|$, essendo M la risultante dei due momenti applicati. Nel caso di profili non doppiamente simmetrici, ad esempio le $[$ o le L , la formula porta in generale ad una sovrastima dello sforzo. Questa quantità non ha senso per i profili misti.
7. $|N/N_{pl}| + |M_2/M_{pl2}| + |M_3/M_{pl3}|$ sfruttamento plastico semplificato (usa la f_y del materiale assegnato senza coefficienti γ). N_{pl} è valutato come Af_y , M_{pl2} come $W_{pl2}f_y$ e M_{pl3} come $M_{pl3}f_y$. Questa quantità ha senso anche per i profili misti.

Le quantità 6) e 7) sono quantità indice del cimento della sezione e sono a favore di sicurezza. Non è il modulo base la sede per calcolare gli sforzi ed i domini limite in modo più aderente al dettato delle varie normative, questa operazione è compiuta dai verificatori. Questi indicatori possono però aiutare ad inquadrare rapidamente i possibili problemi.

In pratica per ognuna di queste quantità è possibile avere:

- una mappa a colori sulla struttura che dà un'idea dei valori in gioco, sia per i casi di carico base che per ciascuna combinazione.
- Un comando di interrogazione sui punti interni dell'asta che dà i valori puntuali nel caso o nella combinazione prescelti.
- Una mappa a colori con l'involuppo al variare delle combinazioni, ed il corrispondente comando di interrogazione.
- Tre sezioni del tabulato corrispondenti ai valori nei casi/combinazioni, agli involuppi ed agli involuppi degli involuppi. Il tabulato è sensibile agli oggetti selezionati. Gli involuppi degli involuppi plottano il massimo delle varie quantità al variare delle combinazioni, e degli elementi selezionati. Pertanto, selezionando prima della creazione del tabulato gruppi di elementi affini, è possibile conoscere il massimo valore degli indicatori al variare degli elementi e delle combinazioni. Analoga informazione è ottenibile a schermo estraendo parte degli elementi dal resto della struttura.

2.18. COME USARE AUTOCAD CON SARGON

2.18.1. Generalità sui moduli ARX

A partire dalla versione 5.50 alcuni comandi e funzionalità di Sargon sono disponibili come comandi Autocad. Nell'intento di migliorare il collegamento tra il calcolo ed il disegno sono stati realizzati alcuni comandi Autocad che consentono di leggere la base dati Sargon e di restituirla in un formato più tipicamente simile a quello del disegno.

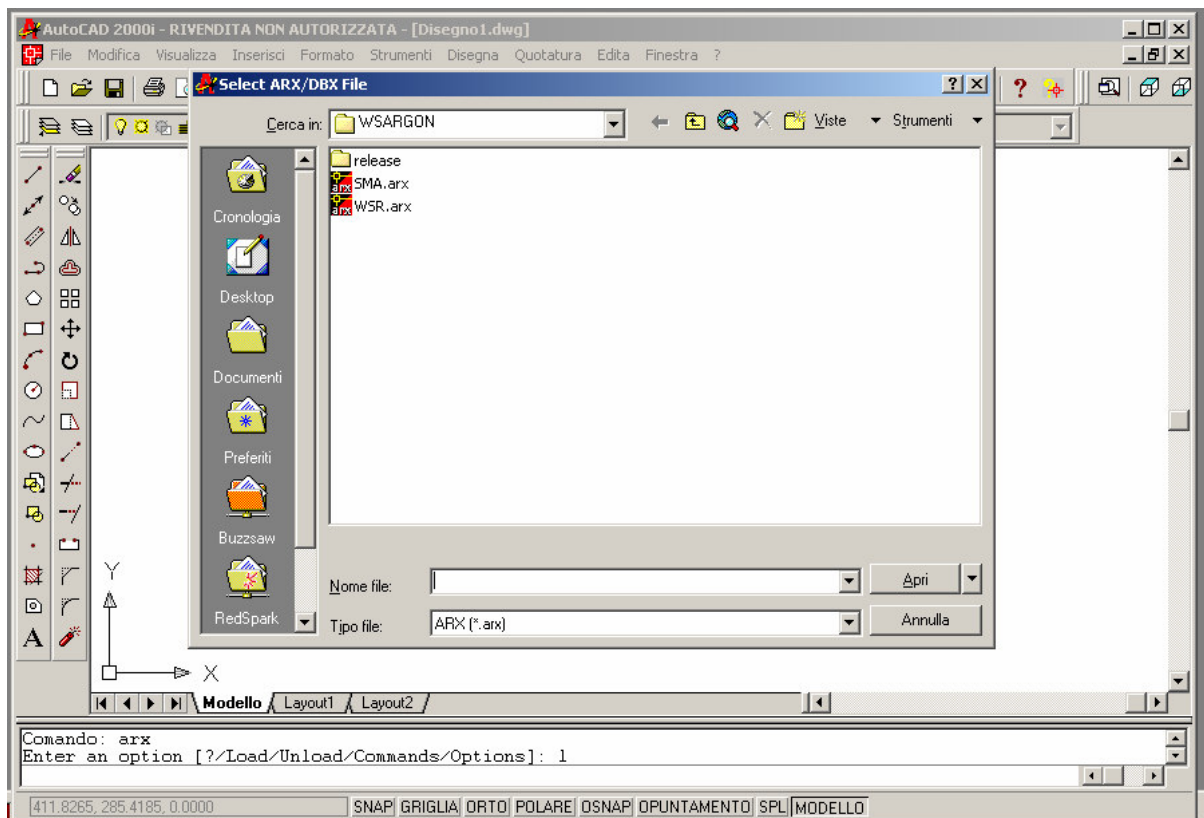
Da un punto di vista informatico il collegamento tra i due programmi è realizzato per mezzo di una serie di moduli ARX (ovvero di file con estensione .ARX) che di fatto rappresentano delle estensioni di Autocad. I file ARX altro non sono che file DLL con l'estensione modificata a sottintendere che si tratta di componenti Autocad.

Perché Autocad possa vedere questi nuovi moduli è necessario:

1. che i moduli ARX siano presenti nella cartella del programma Sargon, insieme a tutte le dll di Sargon;
2. che le due dll "ACBR15.DLL" e "ACGE15X.DLL" siano state copiate dalla cartella di Sargon alla cartella di Autocad.
3. che sia montata e funzionante la protezione di Sargon

Il punto 2) richiede una operazione manuale poiché la copia non viene fatta automaticamente al momento della installazione. Il punto 1) è garantito dal file ARX.ZIP presente sui dischetti di installazione a partire dalla versione 5.50 o scaricabile dal sito internet.

Al momento attuale sono state fatte prove con Autocad 2000i. Si ha ragione di ritenere che i moduli ARX vengano visti correttamente anche sotto Autocad 2000 e sotto Autocad 14.



Ogni modulo ARX è portatore di un certo numero di nuovi comandi Autocad. I moduli ARX devono essere caricati in Autocad al fine di rendere disponibili i comandi in essi contenuti. Per caricare in Autocad un modulo ARX è sufficiente dare il comando “ARX” e specificare l’opzione “Load”. A questo punto occorre indicare il percorso del file ARX al quale si è interessati e selezionarlo.

Una volta che i comandi del modulo ARX non siano più utili è possibile scaricare il modulo ARX (liberando memoria) con il comando “ARX” seguito dalla opzione “Unload”. Si verrà richiesti di specificare un nome, ad esempio “SMA” oppure “WSR”.

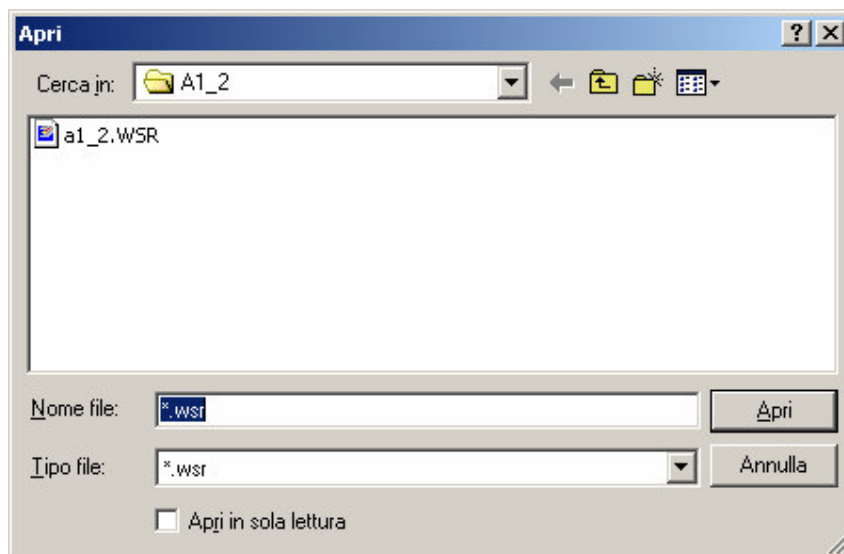
2.18.2. Modulo WSR.ARXX

Questo modulo consente di importare in Autocad la geometria di un modello Sargon. Una volta caricato il modulo (come chiarito in precedenza) il comando da dare è

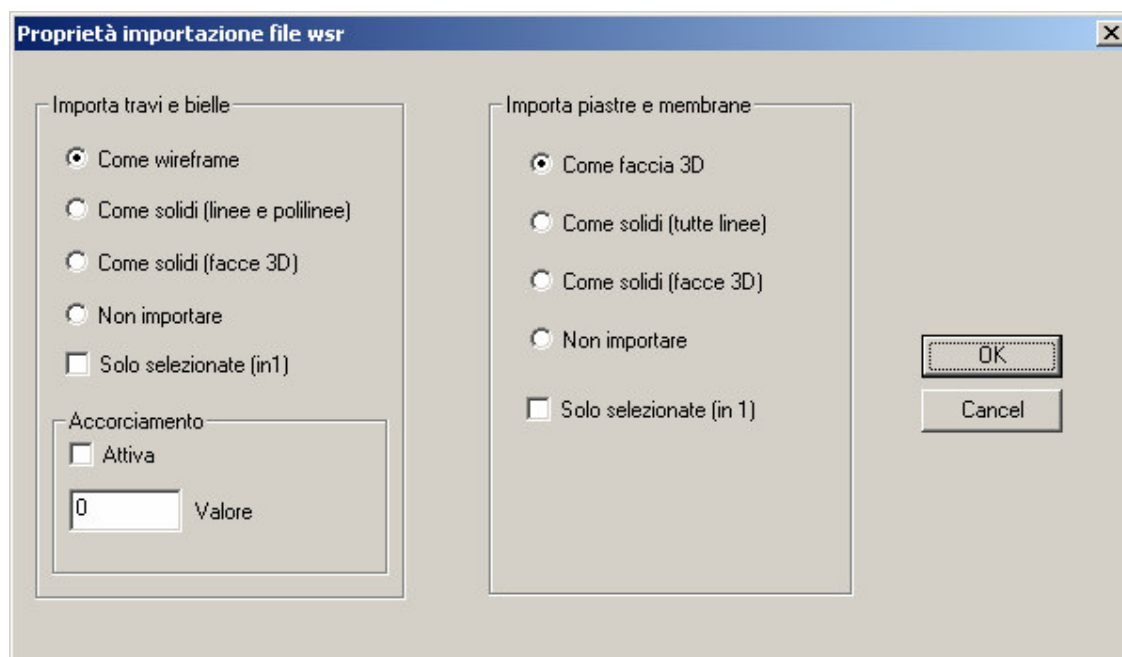
WSRIN

Alla esecuzione del comando compare il dialogo seguente, che consente di scegliere il file

.wsr che si desidera importare



Scelto il file compare il dialogo seguente, che consente di impostare il modo in cui il modello Sargon verrà importato. Vengono importati gli elementi trave, biella, piastra e membrana.



Relativamente alla **importazione di travi e bielle** sono possibili le seguenti opzioni mutuamente esclusive:

come wireframe	in questo caso le travi e le bielle verranno trasformate in linee, aventi un colore associato al numero di sezione.
come solidi (linee e polilinee)	In questo caso gli elementi vengono resi con le loro dimensioni reali (le quote sono in mm) e vengono descritti mediante linee e polilinee, aventi colore associato al numero di sezione
come solidi (facce 3D)	In questo caso gli elementi vengono resi come solidi con le loro dimensioni reali in (le quote sono in mm) e vengono descritti mediante le primitive 3Dface, aventi colore associato al numero di sezione. Questa opzione è particolarmente utile per rendere immagini tridimensionali con il comando Autocad Visualizza-Ombra-Nascosta o altri comandi simili
non importare	In questo caso le travi e le bielle non verranno importate

Il flag “**solo selezionate**” consente di importare in Autocad le sole travi e bielle presenti nel modello .wsr selezionate nel serbatoio 1. Ciò è particolarmente utile per importare parti di struttura (ad esempio solai, telai trasversali, capriate, ecc.). Basta far funzionare Sargon e Autocad in parallelo, selezionare via via ciò che interessa in Sargon, salvare il modello, e applicare il comando WSRIN in Autocad su disegni diversi.

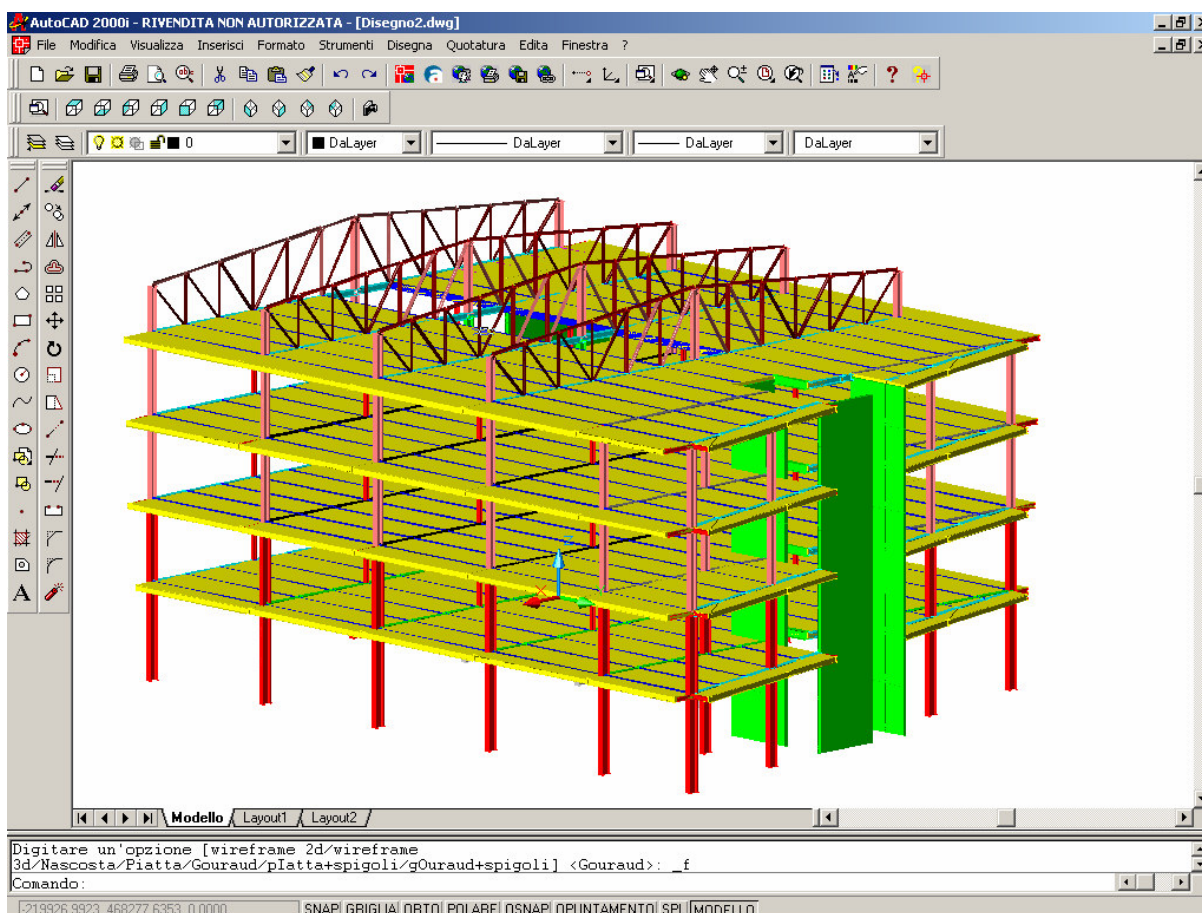
Il comando WSRIN dà anche la possibilità di accorciare automaticamente gli elementi tagliandone via un pezzo agli estremi. Questa funzionalità (che riguarda solo i modelli solidi, non quelli wireframe), può essere o meno attivata. Se si decide di attivarla (flag **Attiva** sotto Accorciamento) occorre specificare di quanto tagliare agli estremi le travi, dando una lunghezza in mm (**Valore**). Questa funzionalità consente di evitare sovrapposizione di elementi nei nodi.

Ogni elemento finito importato come solido viene trasformato in un blocco denominato con il numero ed il tipo dell’elemento finito.

Ogni volta che viene eseguito un comando WSRIN, nel disegno Autocad vengono aggiunti dei blocchi che rappresentano le sezioni impiegate all’interno del modello. Questi blocchi potranno poi convenientemente venir impiegati in Autocad al fine di completare o perfezionare il disegno. I

blocchi hanno per nome il nome della sezione corrispondente, e comunque il loro colore è in corrispondenza con il numero progressivo di sezione attribuito in Sargon.

Le opzioni disponibili per l'importazione di piastre e membrane ricalcano quelle disponibili per le travi e le bielle. Il corrispettivo dell'importazione wireframe è la importazione come faccia 3d, ovvero una faccia giacente sul piano medio dell'elemento. Nella importazione solida invece l'elemento viene descritto con il suo spessore reale.



Esempio di file Sargon importato in Autocad e reso con un comando di rendering

2.18.3. Modulo SMA.ARX

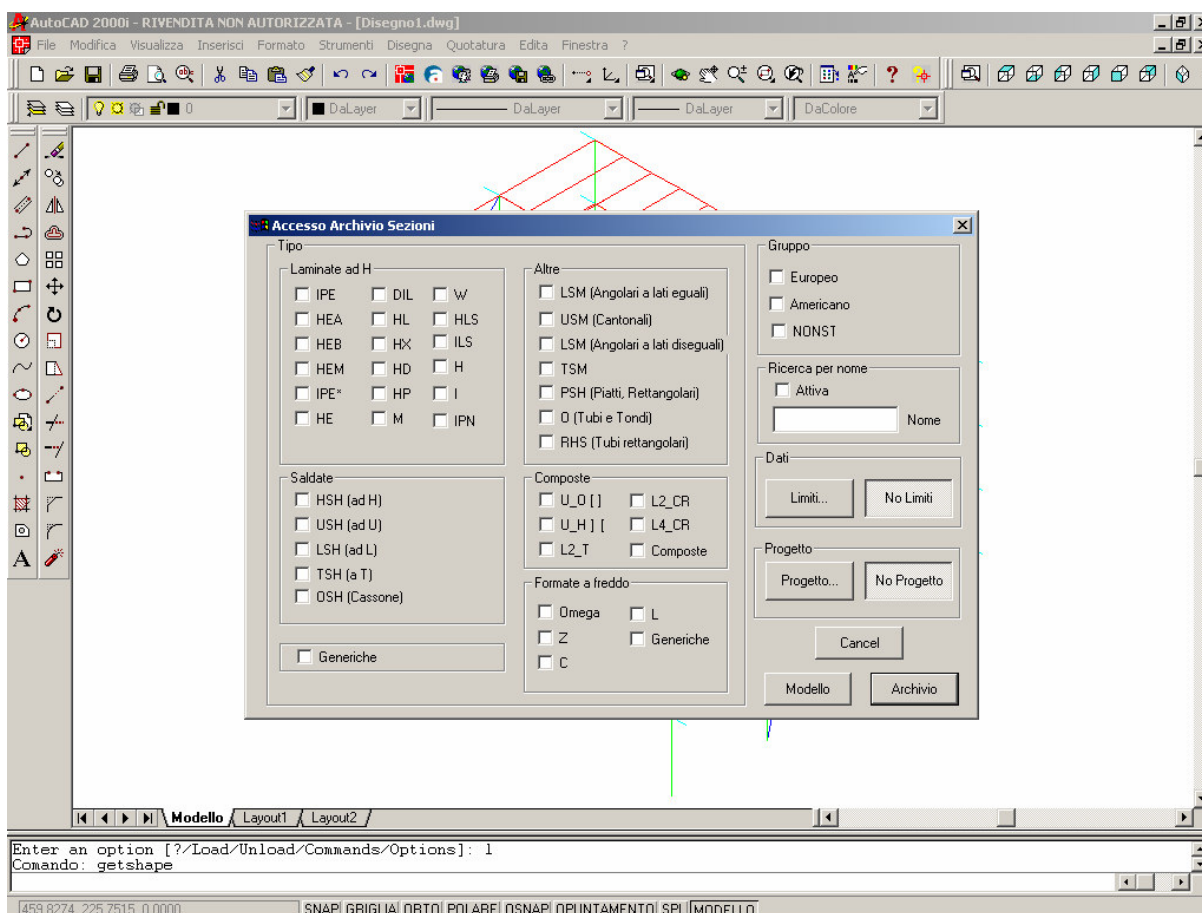
Questo modulo consente di aggiungere due comandi ad Autocad: il comando “GETSHAPE” ed il comando “ADDSHAPE”.

Una volta eseguito uno qualsiasi di questi due comandi per la prima volta nel corso di una sessione di lavoro si viene richiesti di indicare un file SMA (vale a dire un archivio di sezioni e di materiali in formato SAMBA) da usare come riferimento. Ciò si fa con un ordinario dialogo di richiesta di file. Il file da indicare per gli utenti di Sargon è il file “sargon.sma”, ma nulla vieta di indicare qualsiasi altro file gestito da Samba.

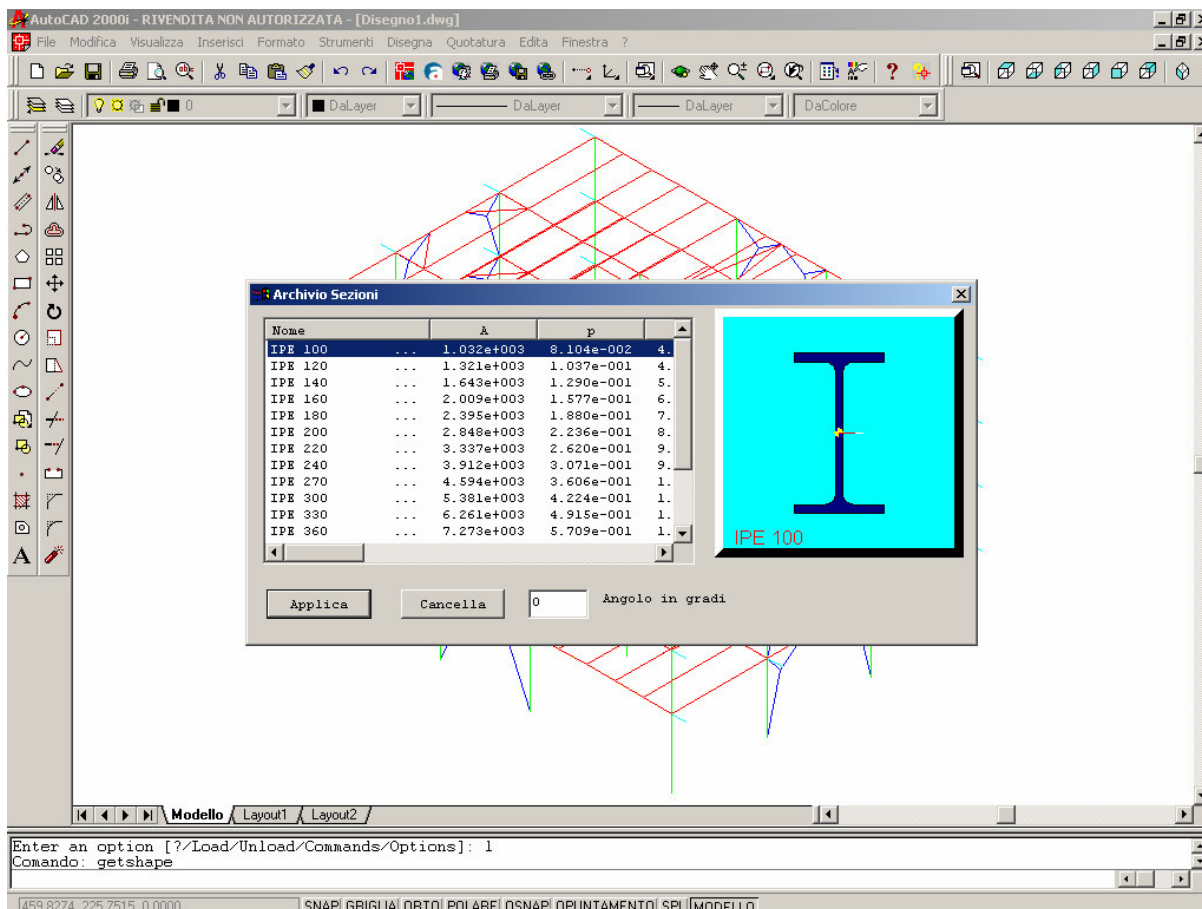
Il primo comando consente di importare in un disegno Autocad il disegno di una qualsiasi delle sezioni presenti nell’archivio specificato. Il comando da fornire è

GETSHAPE

Alla esecuzione del comando ci si trova di fronte al ben noto dialogo che consente di specificare le condizioni di filtro con le quali accedere all’archivio (cfr, figura seguente in cui si vede il dialogo nell’ambiente Autocad).



Stabilite le condizioni di filtro si scorrono le sezioni (i dati sono forniti in mm) e si sceglie quella desiderata (cfr. figura seguente).

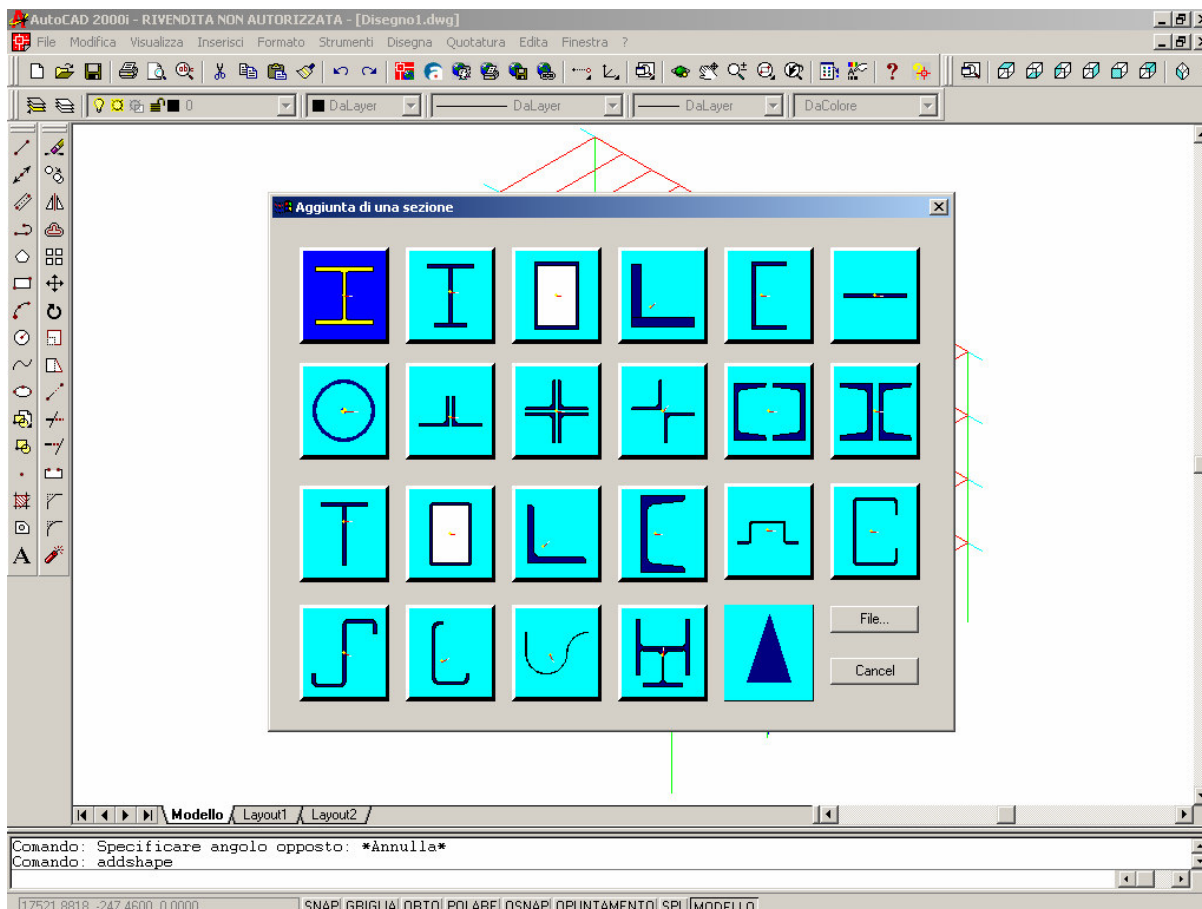


Scelta la sezione si viene richiesti di stabilire il grado di dettaglio con il quale vanno descritti i raccordi curvilinei. Se si sceglie di descriverli con precisione il raccordo verrà descritto come una poligonale molto fitta in grado di seguire il contorno. Se invece si sceglie di schematizzarli questi verranno trasformati in un segmento secante.

Una volta scelta la sezione questa viene aggiunta al disegno sotto forma di blocco che può essere inserito come un qualsiasi altro blocco nel punto desiderato.

La normale dei blocchi così inseriti è sempre l'asse z.

Il secondo comando consente di aggiungere ad un disegno una sezione che non è contenuta all'interno dell'archivio .sma che si è aperto. Appena eseguito il comando ci si trova davanti il dialogo seguente, che consente di specificare il tipo della sezione che si desidera aggiungere.



Questo dialogo è lo stesso di quello usato da Samba ed i comandi funzionano allo stesso modo. L'unica differenza è che non è disponibile il comando per l'aggiunta di sezioni composte generiche (mentre si possono aggiungere sezioni composte da angolari e da cantonali ed anche sezioni formate a freddo), e che *non* è utile il pulsante **"File..."** che in Samba consente di leggere le sezioni da un file.

Le unità di misura adottate sono i mm, pertanto nei vari dialoghi ove vengono chieste le quote occorre fornirle in mm.

Una volta descritta la sezione, questa viene aggiunta sotto forma di blocco avente il nome dato alla sezione stessa. Il blocco è poi referenziabile con i metodi ordinari previsti in Autocad.

2.19. COME GENERARE LE COMBINAZIONI

Le combinazioni di verifica possono essere generate automaticamente, generate manualmente, oppure si può, partendo da combinazioni generate automaticamente aggiungere o

rimuovere manualmente le combinazioni che interessano.

I comandi relativi alle combinazioni si trovano sotto il Menu Edit-Combi.

Per la generazione automatica è disponibile il comando Genera!, per quella manuale il comando Aggiungi. Le combinazioni possono essere stampare con il comando Stampa. E' possibile azzerare una combinazione (Azzera), modificarla (Modifica) o anche rimuoverla (sempre con il comando Modifica). E' possibile rimuovere in un solo comando tutte le combinazioni (Elimina Tutte). Se il numero di combinazioni da aggiungere manualmente è molto alto, è possibile usare una macro che faccia leggere da un file, mediante il comando Comandi.

La generazione delle combinazioni secondo il metodo delle tensioni ammissibili non presenta particolari problemi per il progettista, che è lasciato libero di inventare a proprio piacimento combinazioni che siano in grado di mettere al sicuro contro ogni possibile rischio. In genere in questo caso si generano poche combinazioni anche molto molto improbabili (ad esempio vento+sisma), allo scopo di pervenire a situazioni di sollecitazione sicuramente a favore di sicurezza. In questi casi le combinazioni vengono generate manualmente.

Molto diverso è invece il caso in cui la struttura debba essere verificata secondo il metodo degli stati limite. In questo caso le norme danno regole di combinazione che, se interpretate in modo coerente, portano ad avere facilmente svariate centinaia di combinazioni. Non è infrequente la generazione di migliaia di combinazioni.

Per poter avere una idea chiara del modo in cui il programma ragiona, è necessario leggere l'articolo COMBINAZIONI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE IL NON DETTO DELLE NORMATIVE, che è il frutto del lavoro svolto in Sargon per mettere a punto il comando di generazione automatica.

Da un punto di vista operativo, la generazione automatica delle combinazioni è realizzata da un unico comando, che richiede che non vi siano altre combinazioni nel modello.

Per poter generare automaticamente le combinazioni occorre tenere presente che non è compito della procedura automatica di generazione la creazione di combinazioni di carico in cui la direzione o la collocazione di un carico cambia sulla struttura. L'unica variabilità di un dato carico statisticamente indipendente tenuta automaticamente in conto dal programma è quella relativa al segno. Ad esempio se si è definito un caso "Vento X" ed un caso "Vento Y", il programma potrà generare combinazioni nelle quali i segni varino, ma occorrerà specificare che i due casi di carico non possono verificarsi contemporaneamente, essendo di fatto alternativi. La descrizione di un vento spirante a 45° dovrà dunque essere fatta generando una caso di carico a sé stante, agente in modo non contemporaneo con gli altri due. Analogo discorso vale per le scacchiere dei carichi

variabili o per le diverse posizioni di un carico mobile.

Con queste avvertenze le routine messe a punto in Sargon consentono di generare tutte le combinazioni realmente rilevanti, ed anche di dosare in modo graduale l'effettiva completezza delle combinazioni.

Si fa presente che su strutture normali l'onere computazionale legato alla presenza di un alto numero di combinazioni cresce notevolmente, tanto da avere situazioni di fatto irrealistiche, vuoi al fine di un reale controllo sulla struttura, vuoi al fine di consentire tempi di calcolo e volumi di output ragionevoli.

Al momento il limite superiore del numero di combinazioni fissato nel programma è pari a 65535. Tale numero è ben superiore a quello che è realistico affrontare con l'hardware oggi a disposizione, e con le metodologie oggi in uso. Test eseguiti dal produttore hanno portato a generare e verificare fino a più di 11000 combinazioni (per l'esattezza undicimila quattrocento ventidue). Si fa presente che anche il tempo di generazione può essere rilevante, a causa dei controlli di ridondanza previsti dal programma.

Per poter eliminare combinazioni sicuramente non rilevanti è stato aggiunto il comando Edit-Combinazioni-Elimina Alcune.

1. INTRODUZIONE	2
1.1. Licenza d'uso	2
1.2. SARGON: A COSA SERVE, A CHI E' DIRETTO.....	5
1.3. POLISAR.....	6
1.4. STRUTTURA DEL PROGRAMMA.....	7
1.5. ITINERARIO DI LAVORO TIPICO	9
1.6. L'INTERFACCIA GRAFICA	9
1.7. FUNZIONAMENTO DEI COMANDI.....	12
1.7.1. COMANDI MODALI E NON MODALI	12
1.7.2. DARE UN BOX	13
1.7.3. DARE UNA POLIGONALE	13
2. COME.....	15
2.1. COME AVERE AIUTO.....	16
2.2. COME USCIRE DA SARGON	16
2.3. COME CREARE LA MESH	17
2.3.1. COSA È UNA MESH.....	17
2.3.2. MATTONI FONDAMENTALI.....	19
2.3.2.1. NODO	19
2.3.2.1.1. NODI PREDEFINITI.....	19
2.3.2.2. TRAVE.....	20
2.3.2.3. BIELLA.....	21
2.3.2.4. PIASTRA	22
2.3.2.5. MEMBRANA.....	24
2.3.2.6. MOLLA.....	25
2.3.2.7. SUPERELEMENTO.....	25
2.3.2.8. SOLIDO	25

2.3.3.	CREAZIONE O MODIFICA DELLA MESH IN SARGON.....	26
2.3.4.	IMPORTAZIONE DELLA MESH FATTA ALTROVE.....	29
2.3.4.1.	IMPORTARE .SRG.....	29
2.3.4.2.	IMPORTARE .DXF.....	29
2.3.4.2.1.	COSTRUZIONE DELLA MESH IN FORMATO .DXF	30
2.3.4.2.2.	USO DEI NODI PREDEFINITI NEI FILE DXF.....	30
2.3.4.3.	IMPORTARE .ESD	31
2.3.4.3.1.	COSTRUZIONE DELLA MESH IN FORMATO .ESD.....	31
2.3.4.3.2.	USO DEI NODI PREDEFINITI NEI FILE ESD	33
2.3.4.4.	IMPORTARE .ANF.....	33
2.3.5.	COLLEGAMENTO CON STRUCAD.....	34
2.3.5.1.	EXPORT DEI DATI SEZIONALI (ESPORTARE .ARF).....	35
2.3.6.	USO DEI COMANDI DI MESHING AUTOMATICO	35
2.4.	COME CAMBIARE UNITÁ DI MISURA	41
2.5.	COME CAMBIARE LA VISTA.....	42
2.5.1.	Cambiamento del punto di vista.....	42
2.5.2.	Ingrandimento e rimpicciolimento	43
2.5.3.	Traslazione	43
2.5.4.	Viste Utente.....	43
2.5.5.	Traslazione	43
2.5.6.	Estrazione	43
2.6.	COME SELEZIONARE.....	44
2.6.1.	GENERALITÁ.....	44
2.6.2.	STRUMENTI DI SELEZIONE	45
2.6.3.	FILTRI DI SELEZIONE	46
2.6.4.	MODALITÁ DI SELEZIONE.....	46
2.6.5.	OPERAZIONI DI SELEZIONE	47
2.6.6.	ESEMPI SULLA SELEZIONE	47
2.6.7.	SERBATOI DI SELEZIONE.....	49
2.7.	COME INFLUIRE SUL MODO DI RAPPRESENTARE	49
2.8.	COME GESTIRE VINCOLI SVINCOLI E CEDIMENTI.....	50

2.8.1.	COME ATTRIBUIRE VINCOLI FISSI	50
2.8.2.	COME ATTRIBUIRE SVINCOLI	50
2.8.3.	COME APPLICARE MOLLE	50
2.8.4.	COME APPLICARE CEDIMENTI	51
2.9.	COME GESTIRE LE AZIONI.....	51
2.9.1.	CASI DI CARICO	52
2.9.2.	COMBINAZIONI DI CARICO	52
2.9.3.	AZIONI	53
2.10.	COME GESTIRE GLI ARCHIVI.....	59
2.10.1.	AGGIUNTA E CANCELLAZIONE DI PROFILI E MATERIALI.....	59
2.11.	COME ASSEGNARE MATERIALI SEZIONI E PROPRIETÀ.....	60
2.12.	COME AVERE INFORMAZIONI SUL MODELLO	60
2.13.	COME GESTIRE I NOMI DEGLI OGGETTI	62
2.14.	COME GESTIRE I GRUPPI.....	63
2.15.	COME PREPARARE ED ESEGUIRE IL SOLVING	64
2.15.1.	ANALISI STATICA CON SOLUTORI ESTERNI.....	64
2.15.2.	ANALISI STATICA CON CLEVER.....	65
2.15.3.	ANALISI MODALE CON LEDA	66
2.15.3.1.	COME AGGIUNGERE MASSE AL MODELLO.....	66
2.15.3.2.	COME IMPOSTARE UN'ANALISI MODALE.....	68
2.15.3.3.	COME ESAMINARE I RISULTATI DI UN'ANALISI MODALE.....	70
2.15.4.	ANALISI A SPETTRO DI RISPOSTA CON SPECTRUM.....	70
2.15.4.1.	COME IMPOSTARE UNA ANALISI A SPETTRO DI RISPOSTA	71
2.15.4.1.1.	Generalità.....	71
2.15.4.1.2.	Come fissare gli spettri.....	73
2.15.4.1.3.	Come combinare i modi e fissare il fattore di errore.....	75
2.15.4.2.	Come usare NTCSISMA.....	78
2.15.5.	AREE DI TAGLIO.....	90
2.15.6.	TENSION STIFFENING.....	90
2.15.7.	MEMORIA.....	91

2.15.8.	RINUMERAZIONE	92
2.15.9.	PSEUDOLABILITA'	93
2.15.10.	SCELTA DEGLI ELEMENTI FINITI.....	95
2.15.11.	ANALISI DI FREQUENCY RESPONSE CON FREQUENCY.....	98
2.16.	COME PREPARARE ED ESEGUIRE LE VERIFICHE	103
2.16.1.	COEFFICIENTI DI LIBERA INFLESSIONE	103
2.16.2.	RIDUZIONE DELL'AREA PER I FORI	105
2.16.3.	SUPERELEMENTI.....	105
2.16.4.	ESECUZIONE DELLE VERIFICHE	108
2.17.	COME ESAMINARE E TRATTARE I RISULTATI.....	108
2.17.1.	DEFORMATA	109
2.17.2.	DIAGRAMMI	110
2.17.3.	REAZIONI VINCOLARI.....	111
2.17.4.	SFORZI IN PIASTRE E MEMBRANE.....	111
2.17.4.1.	GENERALITA'	111
2.17.4.2.	GLI ELEMENTI.....	113
2.17.4.3.	IL CALCOLO DEGLI SFORZI AI NODI	114
2.17.4.4.	RESA DEL CAMPO DI SFORZO SULL'ELEMENTO	115
2.17.4.5.	VALUTAZIONE DELLA PRECISIONE	115
2.17.4.6.	ADAPTIVE REFINEMENT	118
2.17.4.7.	REGOLE GENERALI SUGGERITE.....	120
2.17.4.8.	MODALITA' DI VISUALIZZAZIONE.....	120
2.17.4.9.	USO DELLA LEGENDA	121
2.17.4.10.	CONVENZIONI E TERMINOLOGIA	122
2.17.4.11.	BIBLIOGRAFIA	124
2.17.5.	CONTROLLO DELLA BONTA' DEL CALCOLO	124
2.17.6.	VERIFICHE	130
2.17.7.	TABULATO	132
2.17.8.	STAMPA.....	133
2.17.9.	TRASFERIMENTO D'IMMAGINI.....	134
2.17.10.	SFORZI IN TRAVI E BIELLE.....	134
2.18.	COME USARE AUTOCAD CON SARGON.....	137

2.18.1.	Generalità sui moduli ARX.....	137
2.18.2.	Modulo WSR.ARX.....	138
2.18.3.	Modulo SMA.ARX.....	141
2.19.	COME GENERARE LE COMBINAZIONI.....	144