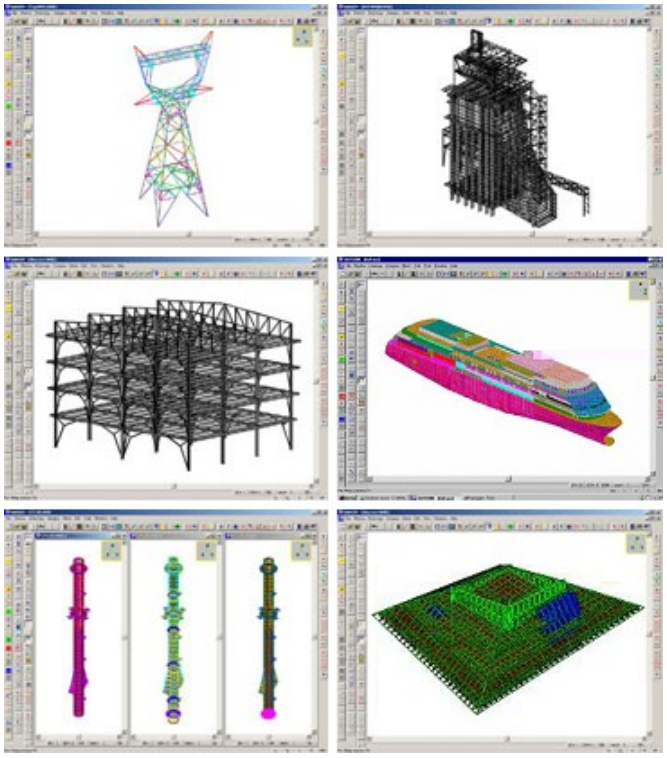
TUTORIAL DI SARGON

Conoscere il programma in modo guidato



Tutorial 1

Struttura di sole travi

Gennaio 2014 - Rev. 1

www.castaliaweb.com
info@castaliaweb.com
tel. +39 (0)2 266 81 083
fax +39 (0)2 26681876
Via Pinturicchio, 24
20133 Milano, Italy

© 2013 – Castalia s.r.l. – All rights reserved

PARTE 1: INTRODUZIONE AL TUTORIAL 4

1.1 SCOPO DEI TUTORIAL DI SARGON 4

1.2 LIMITAZIONI 4

1.3 IL CONTENUTO DI QUESTO TUTORIAL 4

1.4 I PRINCIPALI COMANDI UTILIZZATI IN QUESTO TUTORIAL 5

PARTE 2: MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA 7

2.1 APERTURA DI UN NUOVO MODELLO SARGON 7

2.2 AGGIUNTA DEGLI ELEMENTI FINITI 8

2.3 MATERIALI E FORME SEZIONALI 15

2.4 VINCOLI E SVINCOLI 21

2.5 CENNI SU ULTERIORI COMANDI PER LA CREAZIONE DEI MODELLI 23

PARTE 3: CASI DI CARICO E COMBINAZIONI 25

3.1 I CASI DI CARICO 25

3.2 LE AZIONI 26

3.3 LE COMBINAZIONI 32

PARTE 4: ANALISI STATICA LINEARE 35

4.1 PANORAMICA SUI SOLUTORI DI SARGON 35

4.2 IMPOSTAZIONE ED ESECUZIONE DELL'ANALISI STATICA LINEARE 35

4.3 ANALISI DEI RISULTATI 37

PARTE 5: VERIFICHE AUTOMATICHE 44

PARTE 1: INTRODUZIONE AL TUTORIAL

1.1 Scopo dei tutorial di Sargon

Lo scopo dei tutorial di Sargon è di **aiutare l'utente a familiarizzare con il programma** attraverso un **percorso guidato**.

La sequenza delle operazioni segue un filo logico chiaro e lineare, che l'utente è invitato a seguire passo per passo. **Suggeriamo quindi di eseguire in tempo reale** ciò che viene spiegato, in modo da prendere dimestichezza con i comandi principali e con le operazioni più frequenti. In questo modo, sarà poi più facile approfondire gli aspetti ritenuti più rilevanti sulla base delle proprie esigenze progettuali, grazie alle informazioni dettagliate presenti nella **guida** del programma e nelle **videolezioni** gratuite presenti sul nostro sito web (www.castaliaweb.com, nell'area dedicata alla *Validazione*).

> **Nota:** nel testo sono presenti note e suggerimenti, evidenziati in riquadri come questo. Si tratta di piccoli approfondimenti che il lettore può anche tralasciare in una prima lettura, oppure leggere senza eseguire le operazioni eventualmente indicate.

1.2 Limitazioni

Poiché l'obiettivo è fornire una **panoramica generale** delle operazioni necessarie alla creazione, all'analisi e alla verifica dei modelli, in questo contesto non si affrontano nel dettaglio aspetti legati a funzionalità o comandi specifici, per i quali si rimanda alle **videolezioni** o alla **guida** del programma. Nei tutorial sono comunque presenti note di approfondimento e suggerimenti, quando necessario.

Per ragioni di semplicità e chiarezza, i modelli utilizzati in questi tutorial non hanno lo scopo di essere realistici da un punto di vista progettuale, bensì quello di esemplificare le procedure e le modalità di lavoro con il programma.

1.3 Il contenuto di questo tutorial

In questo tutorial vengono affrontati i seguenti temi:

- creazione di una struttura elementare in acciaio fatta di elementi beam (travi);
- definizione dei casi di carico, delle azioni e delle combinazioni di verifica;
- impostazione ed esecuzione di un'analisi statica lineare, panoramica sui risultati;
- panoramica sulle verifiche automatiche di resistenza e stabilità degli elementi beam in accordo alla normativa.

Nel secondo tutorial verranno introdotti gli elementi biella (oltre ad altre funzionalità), nel tutorial 3 verranno aggiunte le piastre.

1.4 I principali comandi utilizzati in questo tutorial

Nel presente testo, quando si fa riferimento a un comando del programma, lo si indica nel seguente formato: **[menu] – [eventuale sottomenu] – [comando]**. Inoltre, se il comando ha un bottone, viene riportata la sua immagine. I principali comandi illustrati in questo tutorial sono i seguenti.

Costruzione del modello

Mesh – Travi e bielle – Aggiungi

Edit – Seleziona – Tutti , Nessuno , Click , Box

Edit – Proprietà – Materiali

Edit – Proprietà - Sezioni

Edit – Vincoli – Vincoli sui nodi

Casi e combinazioni

Edit – Casi – Aggiungi

Edit – Azioni – Gravità

Edit – Azioni – Aggiungi

Edit – Combinazioni – Aggiungi

Analisi e post-processing

File – Analizza

Post – [panoramica comandi post-processing, sottomenu *Deformata* e *Travi e bielle*]

Di seguito vengono fornite alcune linee guida generali (ma non esaustive) sulla posizione dei bottoni nell'interfaccia di Sargon.

Nella parte **sinistra** dell'interfaccia ci sono i bottoni dei comandi per la creazione del modello, per la gestione di casi, azioni e combinazioni e per la visualizzazione dei risultati.

In **alto**, subito sotto ai menu, ci sono i comandi per la gestione dei modelli (apertura, salvataggio, ecc.) per la gestione delle viste (zoom, pan, opzioni di visualizzazione, ecc.) e per la selezione degli elementi.

A **destra** ci sono i bottoni relativi ai comandi di interrogazione.

Essendo il primo tutorial, non ci sono comandi già spiegati in precedenza. Nei tutorial successivi, i comandi già spiegati qui saranno spiegati più sinteticamente, per lasciare spazio a nuovi comandi e nuove operazioni. Per questo motivo si consiglia di seguire i tutorial in sequenza.

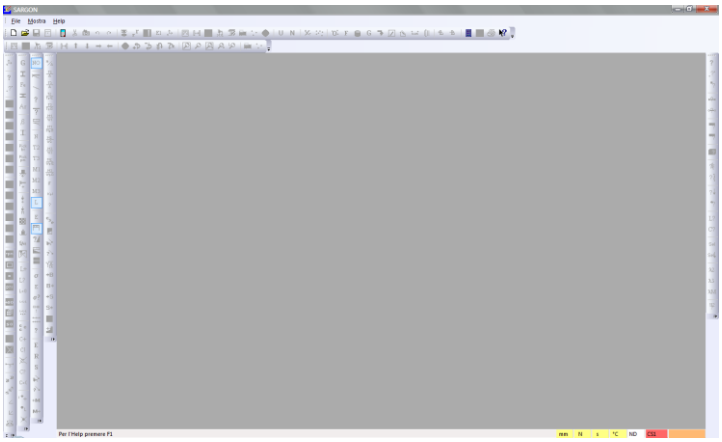
Buon lavoro!

Importante! Si ribadisce che in questo contesto l'obiettivo NON è creare modelli progettualmente significativi, bensì di spiegare in modo chiaro le procedure che si possono utilizzare e le problematiche correlate che si possono riscontrare. **Per questa ragione, la modellazione può risultare incompleta o non ottimale da un punto di vista ingegneristico, al fine di evitare la ripetizione di cose già spiegate e concentrarsi su determinati temi.**

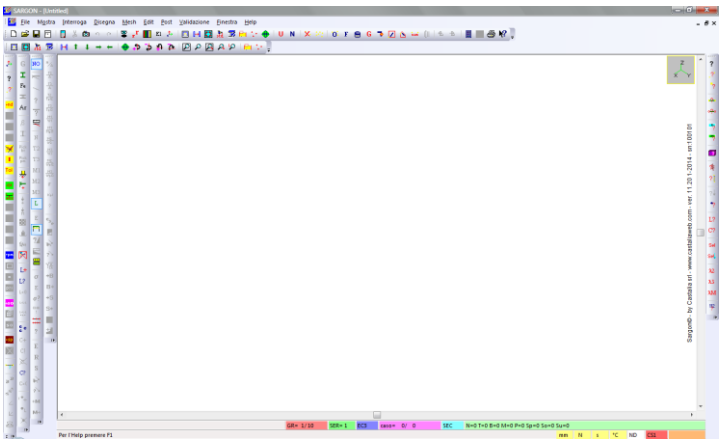
PARTE 2: MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA

2.1 Apertura di un nuovo modello Sargon

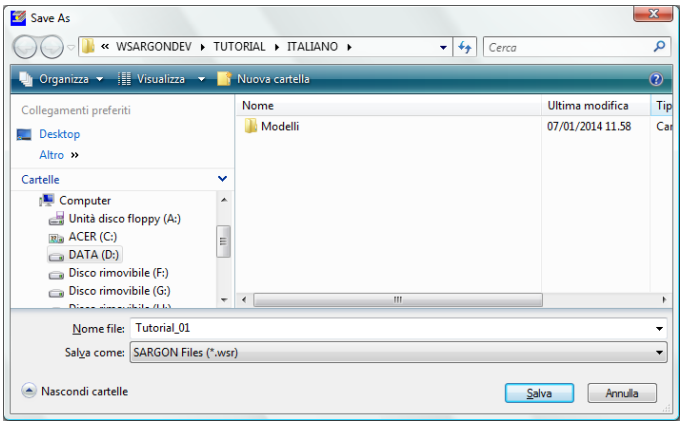
Avviamo Sargon.



Eseguiamo il comando **File – Nuovo** per aprire un nuovo modello vuoto.



Eseguiamo il comando **File – Salva** per salvare il modello su disco fisso. Specifichiamo la cartella (ad esempio C:\Analisi\Modelli) e il nome del file (ad esempio, Tutorial_01.wsr).

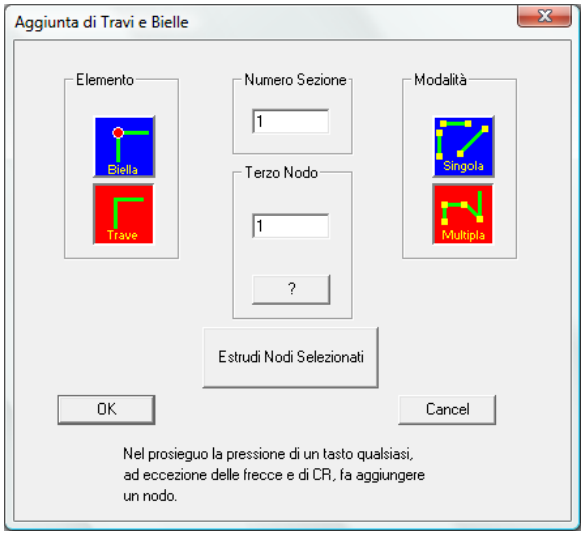


2.2 Aggiunta degli elementi finiti

In Sargon è possibile aggiungere prima i nodi e poi gli elementi finiti, ma è generalmente più comodo e veloce aggiungere direttamente gli elementi finiti. Utilizzeremo ora questo secondo approccio; non ci serve quindi definire alcun nodo.

Eseguiamo il comando **Mesh – Travi e bielle – Aggiungi** .

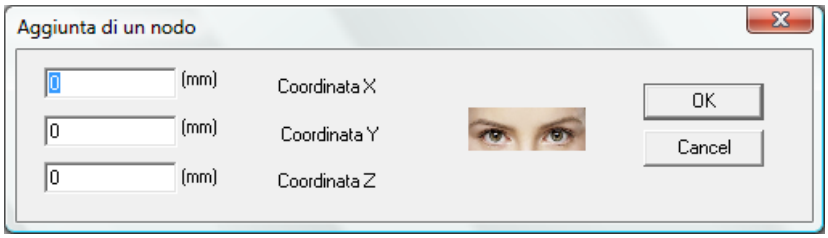
Nel dialogo che viene proposto possiamo definire il **tipo** di elemento finito (trave o biella), la **modalità** di aggiunta (elementi distinti, modalità "singola" o concatenati, modalità "multipla") e **l'orientazione** degli elementi (terzo nodo).



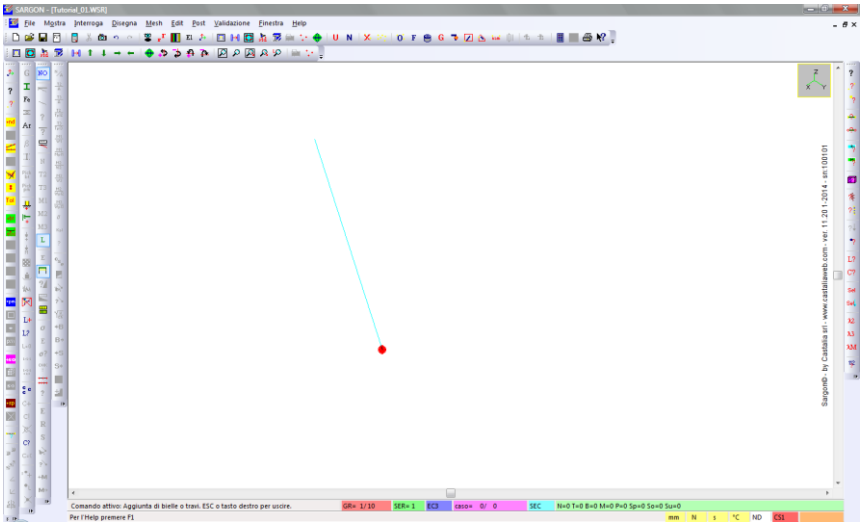
Clicchiamo *Trave* e *Multipla*, in quanto vogliamo aggiungere elementi di tipo trave concatenati. Lasciamo "1" come terzo nodo: ciò significa che l'asse 2 degli elementi beam (generalmente coincidente con l'asse forte della sezione) sarà orientato come l'asse Y globale del modello. Aggiungeremo un portale nel piano X-Z.

> **Nota:** un elemento finito beam o truss è definito da due nodi coincidenti con gli estremi (a meno di eventuali offset) e da un terzo nodo che ne stabilisce l'orientazione indicando la direzione dell'asse locale 2 dell'elemento (che generalmente coincide con l'asse forte della sezione). Ogni modello Sargon ha 6 nodi all'infinito nelle direzioni X, Y, Z, positive e negative. Se il terzo nodo è uguale a 1 significa che l'asse locale 2 dell'elemento è diretto come l'asse globale +Y. Lo schema delle corrispondenze terzo nodo vs direzione è il seguente: 1=+Y, 2=+Z, 3=+X, 4=-Y, 5=-Z, 6=-X. Se non ci si ricorda questo schema, basta premere il bottone "?" sotto alla casella del terzo nodo e la definizione sarà guidata. È inoltre possibile utilizzare come terzo nodo uno qualsiasi dei nodi precedentemente aggiunti nel modello, indicando il corrispondente numero identificativo.

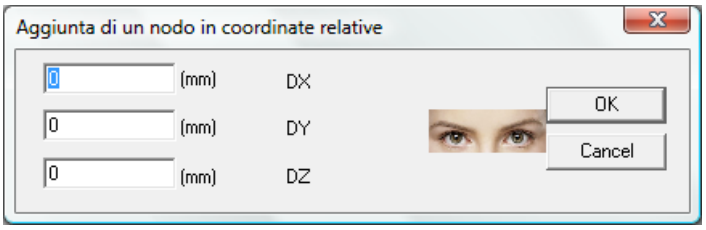
Clicchiamo OK per uscire dal dialogo e aggiungere gli elementi. Il programma ora si aspetta che gli diciamo qual è il primo nodo del primo elemento beam. Poiché non ci sono ancora nodi a cui attaccarci, premiamo la *barra spaziatrice* sulla tastiera per definire le coordinate del primo nodo. Viene proposto un dialogo in cui definiremo le tre coordinate globali (X, Y, Z) del nodo.



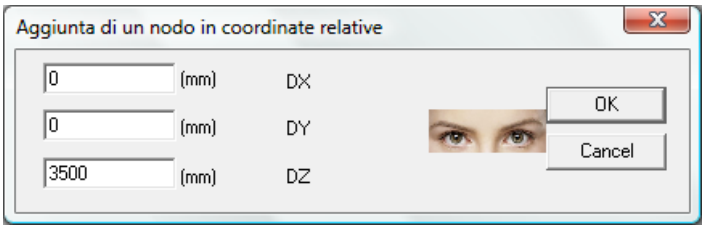
Se vogliamo che questo nodo sia nell'origine degli assi globali del modello, lasciamo tutte le coordinate uguali a zero e premiamo OK.



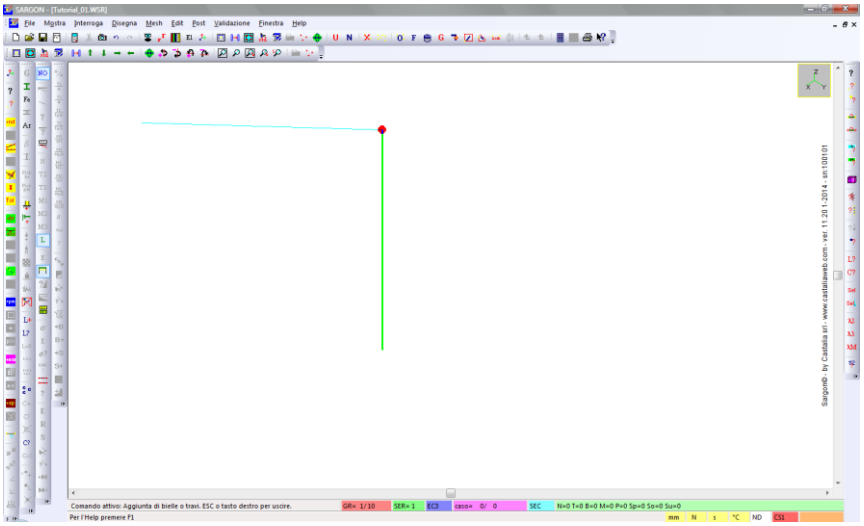
Come vediamo, è stato aggiunto un nodo. Muovendo il mouse, potremmo attaccarci a un secondo nodo per definire l'elemento beam. Non ci sono però altri nodi, al momento. Premiamo quindi nuovamente la *barra spaziatrice*.



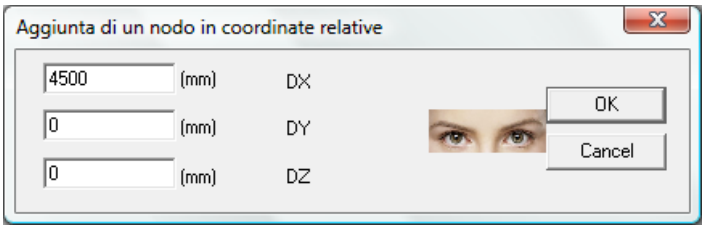
Nell'intestazione del dialogo vediamo che ora non ci vengono richieste le coordinate assolute del nodo, ma quelle **relative**. In altre parole, la **distanza del secondo nodo dal primo**, lungo le tre direzioni X, Y, Z. Se l'elemento che vogliamo aggiungere è una colonna, come in questo caso, ci basterà definire l'altezza della colonna nella casella DZ (ad esempio DZ=3500[mm], valore positivo se vogliamo muoverci verso l'alto).



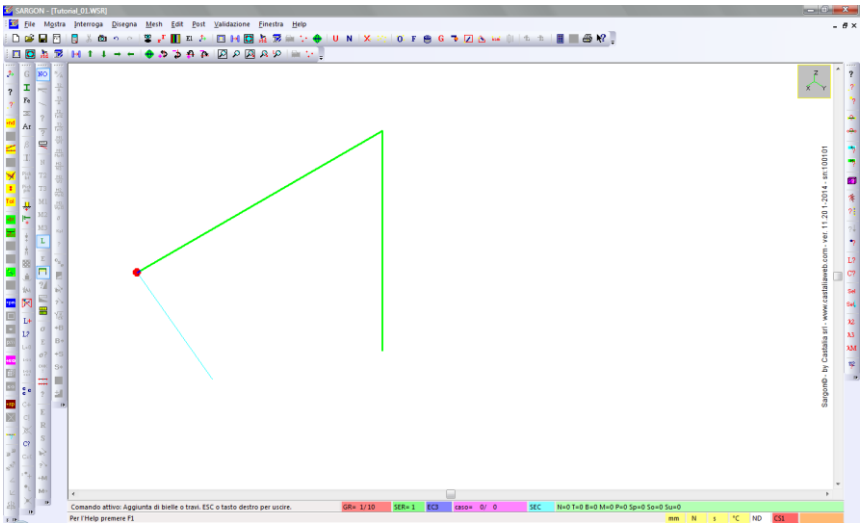
Assieme al secondo nodo viene aggiunto anche l'**elemento** beam. Il secondo nodo dell'elemento è anche il primo nodo dell'elemento successivo.



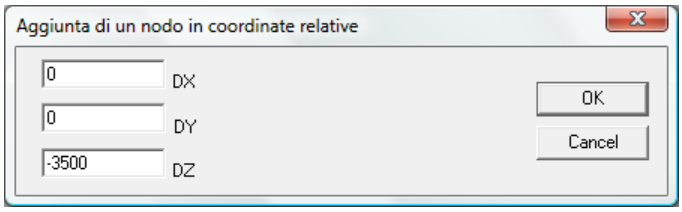
Premiamo nuovamente la *barra spaziatrice* per aggiungere il traverso del portale. Questa volta definiamo una distanza DX pari a 4500[mm] dal primo nodo dell'elemento.

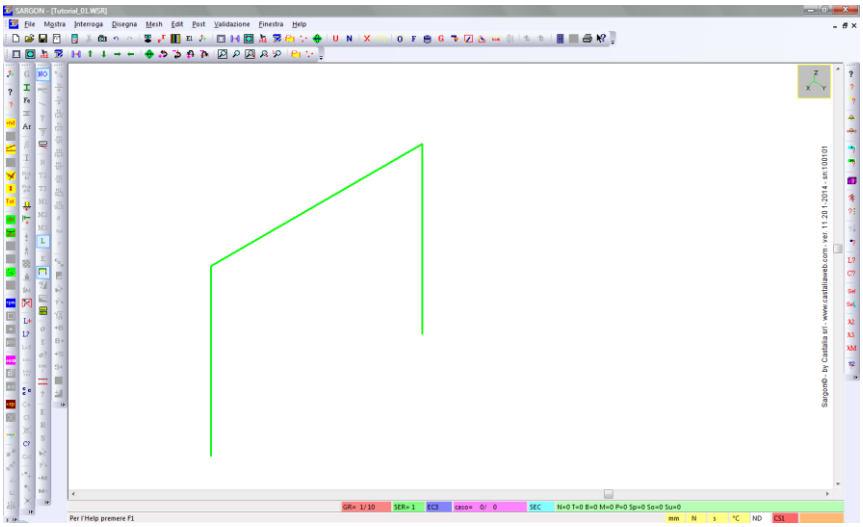


Viene aggiunto anche il secondo elemento, il cui secondo nodo coincide con il primo nodo del prossimo elemento.



Premiamo nuovamente la barra spaziatrice e definiamo il secondo nodo del terzo elemento, ponendo DZ=–3500[mm] per muoverci verso il basso e tornare alla quota 0 della nostra struttura.





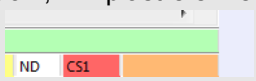
Il terzo elemento del portale è stato aggiunto. Clicchiamo ora il *tasto destro* del mouse o il tasto *ESC* sulla tastiera per interrompere il comando di aggiunta degli elementi.

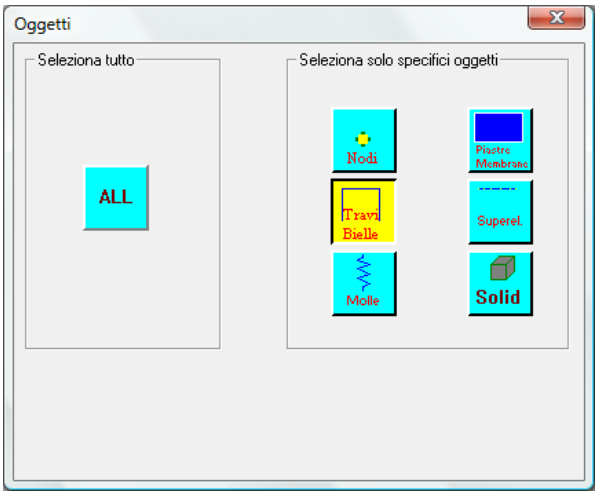
Suggerimento: se durante l'esecuzione del comando compaiono più cerchi rossi che evidenziano il possibile secondo nodo, utilizziamo il comando **Disegna – Ridisegna** per ripulire la vista. Se man mano che aggiungiamo gli elementi alcuni di essi escono dalla vista attuale, utilizziamo il comando **Disegna – Includi** per includere tutti gli elementi nella vista.

Nota: qui stiamo lavorando in **millimetri** (le unità di misura correnti sono riportate in basso a destra nell'interfaccia del programma). Possiamo cambiare le unità di misura in qualsiasi momento, con il comando **Edit – Seleziona – Unità**. Possiamo ad esempio definire la geometria della struttura lavorando con i millimetri, poi passare ai chilogrammi al metro quadro per definire i carichi. Quando si cambiano unità, Sargon converte automaticamente tutte le informazioni precedentemente definite; da quel momento in poi il programma riceverà e fornirà dati nelle nuove unità, fino a successivo cambio.

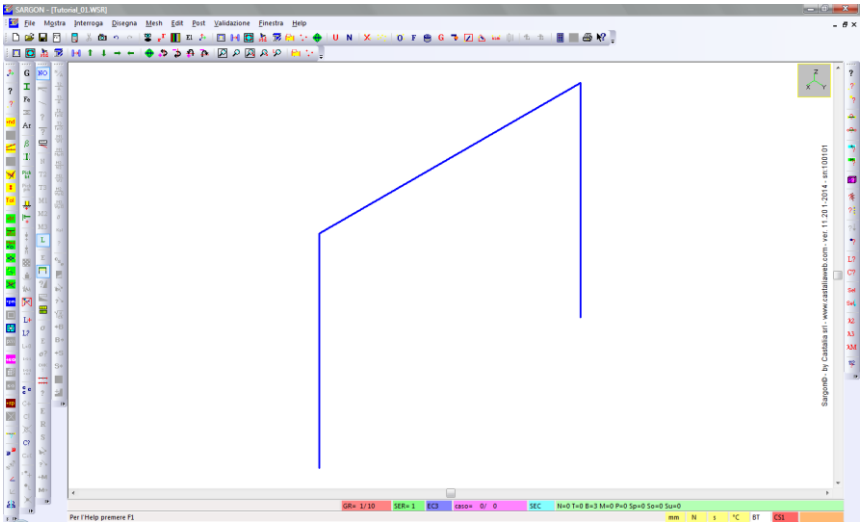
Creiamo ora un secondo portale copiando il primo. Per fare ciò, occorre innanzitutto selezionare i tre elementi da copiare. Eseguiamo il comando **Edit – Seleziona – Oggetti**, quindi clicchiamo *Travi e bielle*.

Suggerimento: è possibile cambiare il tipo di oggetti da selezionare/deselezionare anche cliccando nella penultima casella in basso a destra (tasto sinistro= tipo di oggetto precedente, tasto destro =tipo successivo. ND sono i nodi, BT bielle e travi, PM piastre e membrane, ecc.

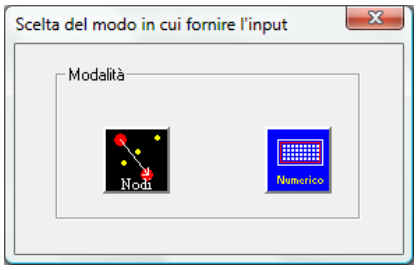




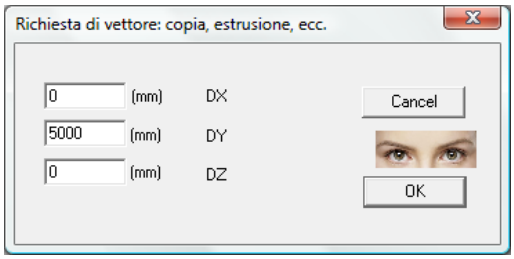
Da questo momento potremo selezionare e deselezionare solo gli elementi del tipo indicato. Possiamo selezionare gli elementi a uno a uno, cliccando in prossimità di essi, ma in questo caso possiamo anche selezionarli tutti assieme, visto che dobbiamo copiare tutti gli elementi: eseguiamo quindi il comando **Edit – Seleziona – Tutti** .



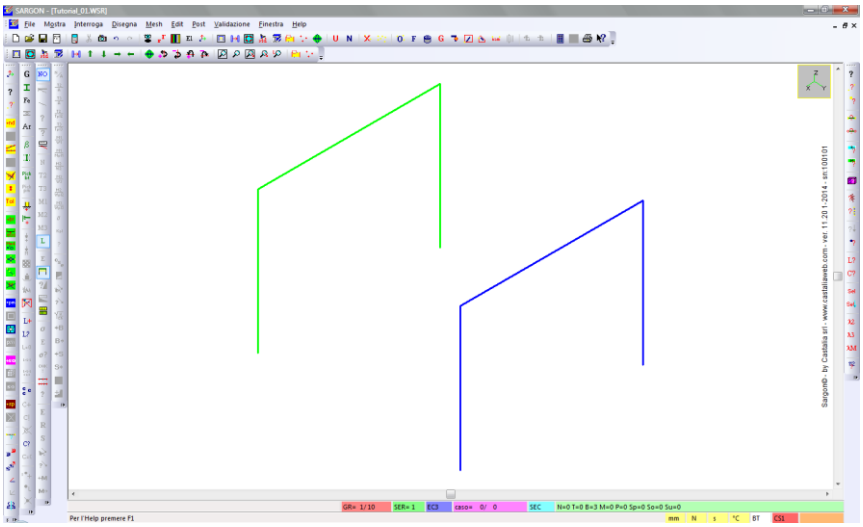
Gli elementi selezionati sono ora evidenziati in blu. Eseguiamo il comando **Mesh – Copia** per crearne una copia. Il successivo dialogo ci chiede se vogliamo definire il vettore di copia cliccando dei nodi nella scena oppure in forma numerica. Scegliamo la seconda.



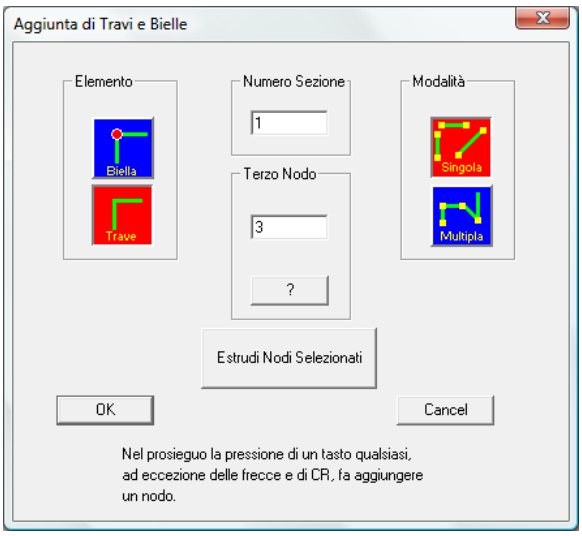
Nel dialogo seguente, definiamo le componenti del vettore di estruzione. Ad esempio, DY=5000[mm].



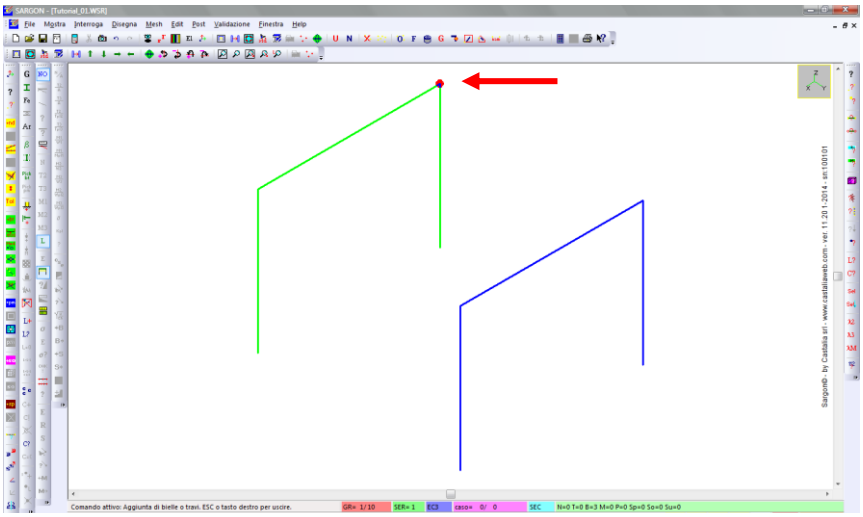
Gli elementi ottenuti per copia risultano ora selezionati.



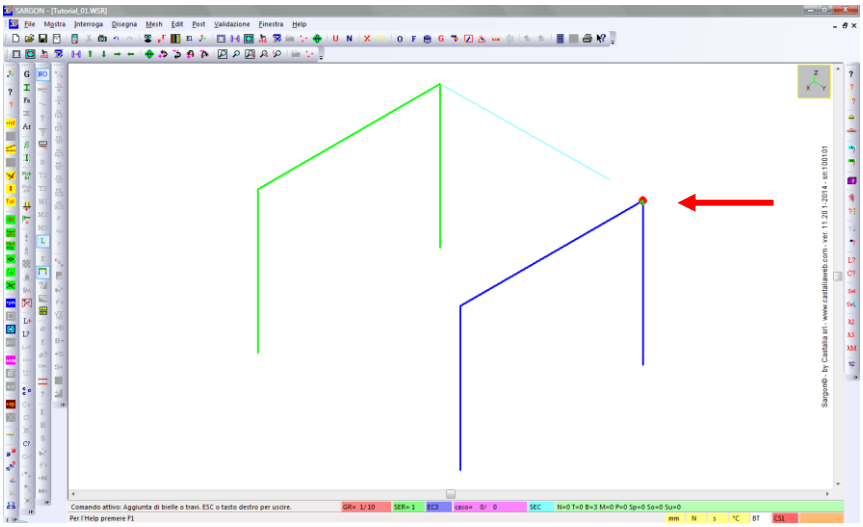
Eseguiamo il comando **Mesh – Travi e bielle – Aggiungi** +bt, e questa volta impostiamo diversamente le opzioni del dialogo. Aggiungeremo ancora elementi di tipo trave, ma ora scegliamo la modalità *singola* e il terzo nodo 3 (direzione +X).



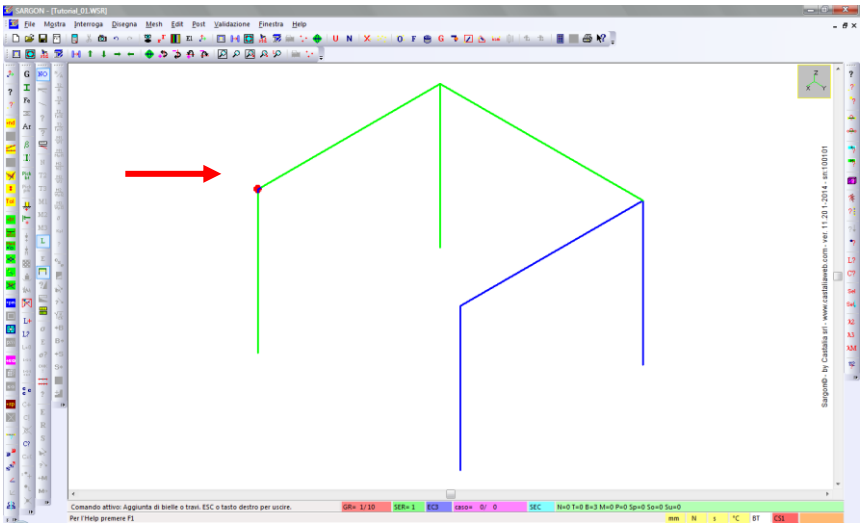
Vogliamo infatti aggiungere i montanti che collegano i due portali lungo l'asse globale Y. Clicchiamo il nodo mostrato nell'immagine seguente per definire il primo nodo del nuovo elemento.

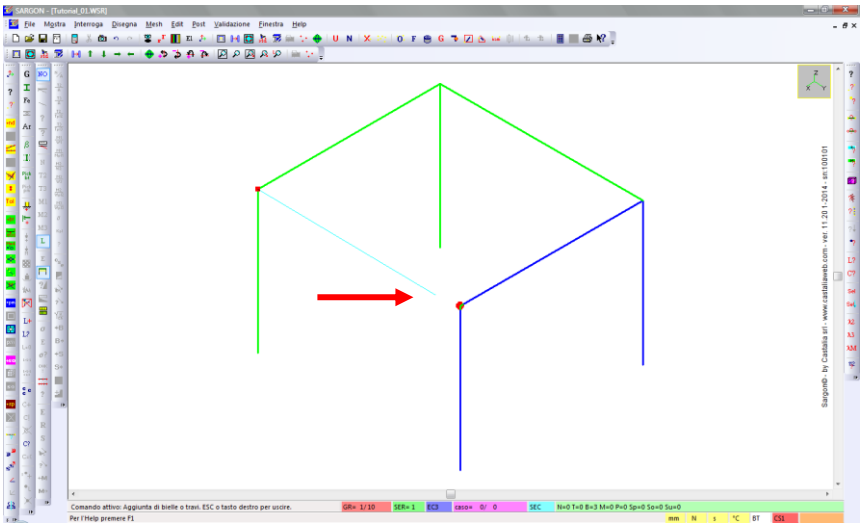


Possiamo ora attaccarci al nodo corrispondente sull'altro portale.

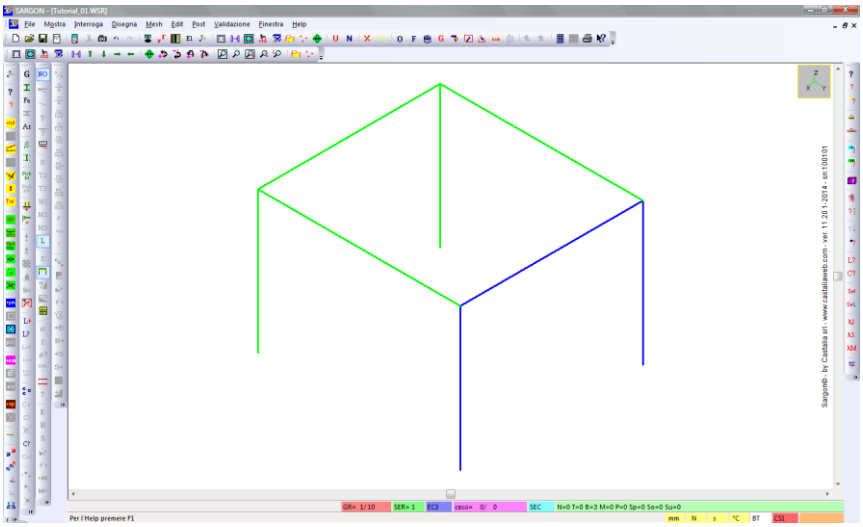


L'elemento è stati aggiunto aggiunto. Clicchiamo ora l'altro vertice.





Anche il secondo elemento viene aggiunto.

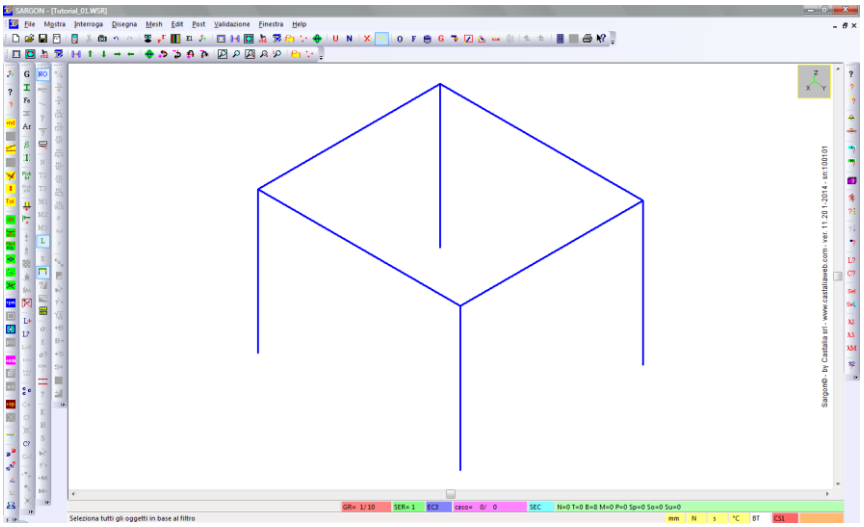


Clicchiamo il *tasto destro* del mouse o il tasto *ESC* sulla tastiera per interrompere il comando di aggiunta degli elementi.

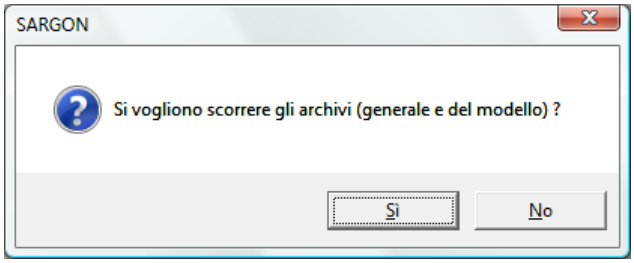
Potremmo continuare ad aggiungere elementi, copiare o specchiare parti della struttura, ecc. fino a creare strutture più o meno complesse. **Per semplicità espositiva ci limiteremo a questo modello elementare, in modo da introdurre i temi successivi**, cioè l'assegnazione di materiali e sezioni e l'aggiunta di vincoli nodali. Nel tutorial 2 tratteremo una modello più articolato, con svincoli, elementi truss, ecc.

2.3 Materiali e forme sezionali

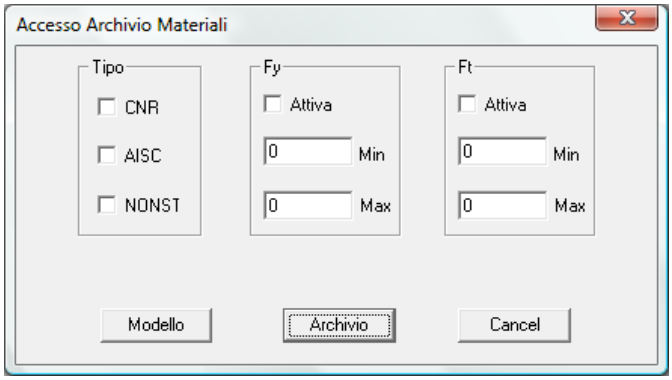
Vogliamo assegnare l'acciaio S235 a tutti gli elementi della nostra strutturina. Il filtro *Travi e bielle* è ancora attivo. Selezioniamo tutti gli elementi con **Edit – Seleziona – Tutti** .



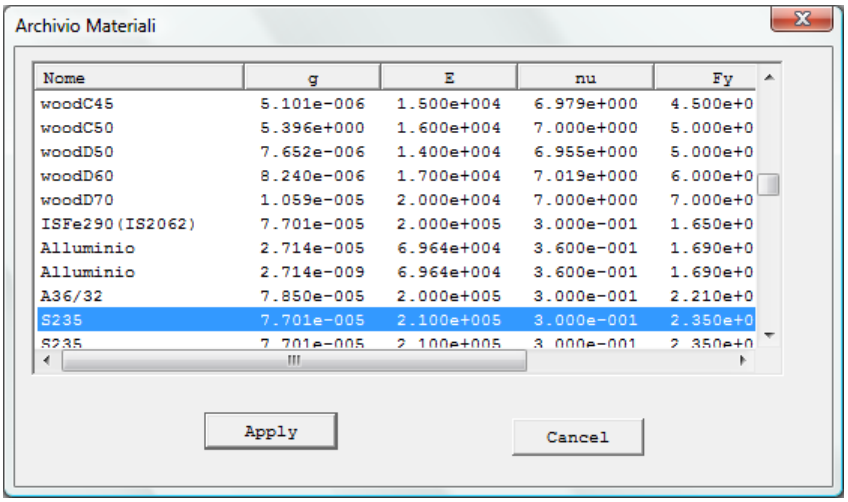
Eseguiamo **Edit – Proprietà - Materiali**, quindi scegliamo di scorrere i materiali dell'archivio (opzioni Si e Archivio nei successivi dialoghi).



Nota: scegliendo NO, si possono definire liberamente le proprietà del materiale.



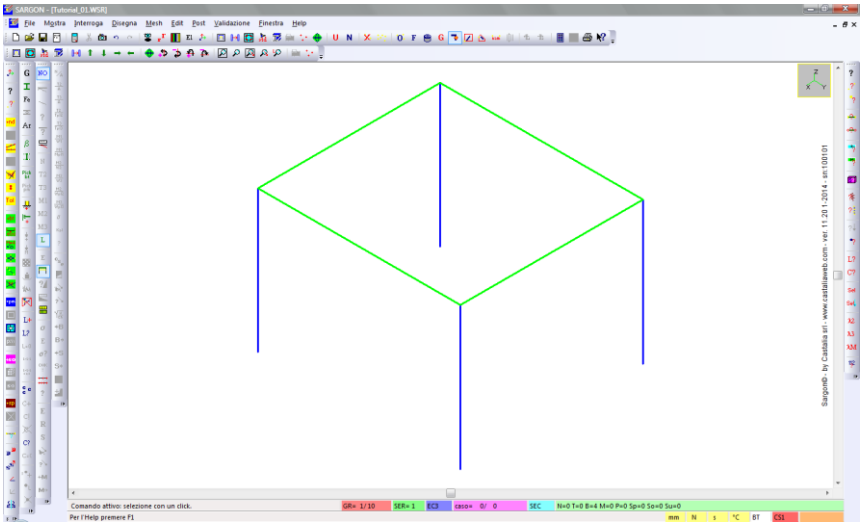
Scorriamo fino all'S235, quindi assegnamolo eseguendo un doppio click (o in alternativa, selezionandolo con un click e premendo OK).



Nome	g	E	nu	Fy
woodC45	5.101e-006	1.500e+004	6.979e+000	4.500e+0
woodC50	5.396e+000	1.600e+004	7.000e+000	5.000e+0
woodD50	7.652e-006	1.400e+004	6.955e+000	5.000e+0
woodD60	8.240e-006	1.700e+004	7.019e+000	6.000e+0
woodD70	1.059e-005	2.000e+004	7.000e+000	7.000e+0
ISFe290(IS2062)	7.701e-005	2.000e+005	3.000e-001	1.650e+0
Alluminio	2.714e-005	6.964e+004	3.600e-001	1.690e+0
Alluminio	2.714e-009	6.964e+004	3.600e-001	1.690e+0
A36/32	7.850e-005	2.000e+005	3.000e-001	2.210e+0
S235	7.701e-005	2.100e+005	3.000e-001	2.350e+0
S235	7.701e-005	2.100e+005	3.000e-001	2.350e+0

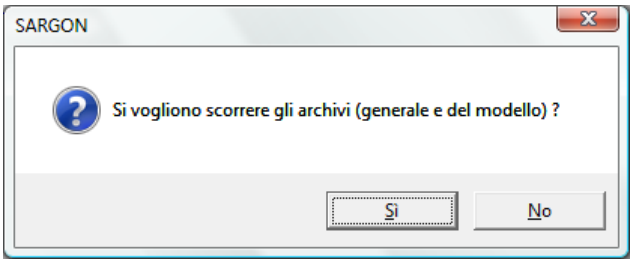
Vogliamo ora assegnare le forme sezionali agli elementi. Ad esempio, HEB160 alle colonne e IPE240 alle travi orizzontali.

Innanzitutto deselezioniamo tutti gli elementi con **Edit – Seleziona – Nessuno**, quindi selezioniamo le colonne cliccandole singolarmente (controlliamo che il comando **Edit - Seleziona - Click** sia attivo, altrimenti attiviamolo).



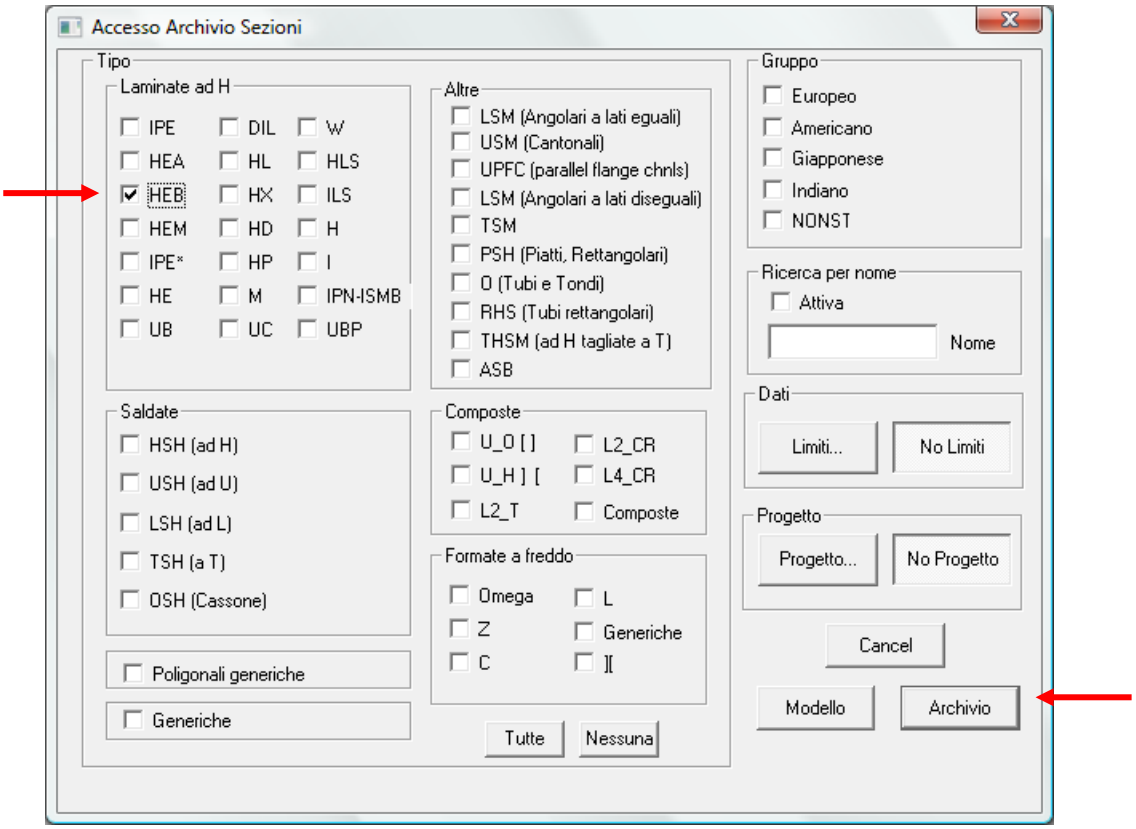
Nota: in questo caso, essendo la struttura molto semplice, è immediato selezionare gli elementi singolarmente. Per strutture più complesse è consigliabile utilizzare **filtri di selezione**, selezioni multiple, assegnazione degli elementi a gruppi opportuni, ecc.

Eseguiamo il comando **Edit – Proprietà – Sezioni** per assegnare la sezione desiderata agli elementi selezionati, quindi scegliamo SI per scorrere gli archivi.

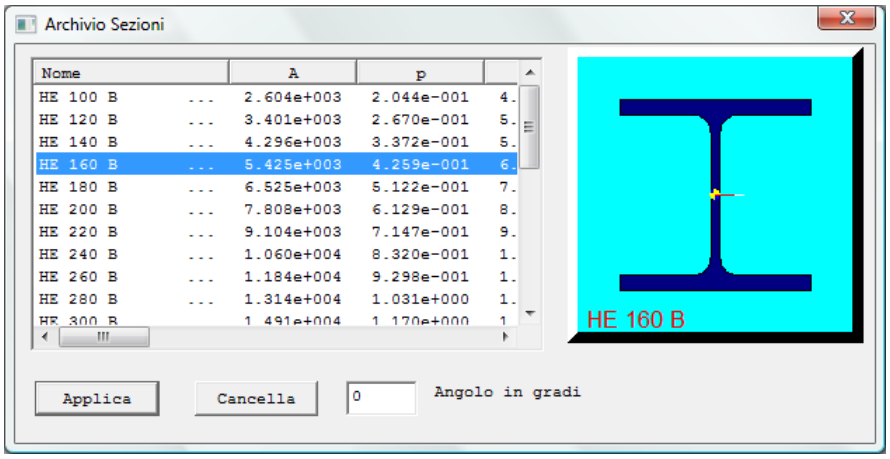


Nota: scegliendo NO, si può definire la sezione desiderata stabilendo forma e dimensioni.

Il dialogo successivo fornisce i filtri per selezionare un sottoinsieme delle sezioni in archivio in base a forma, tipologia, normativa di riferimento, nonché a caratteristiche sezionali e criteri progettuali. In questo caso spuntiano il *filtro sul tipo HEB* e clicchiamo il bottone *Archivio*.



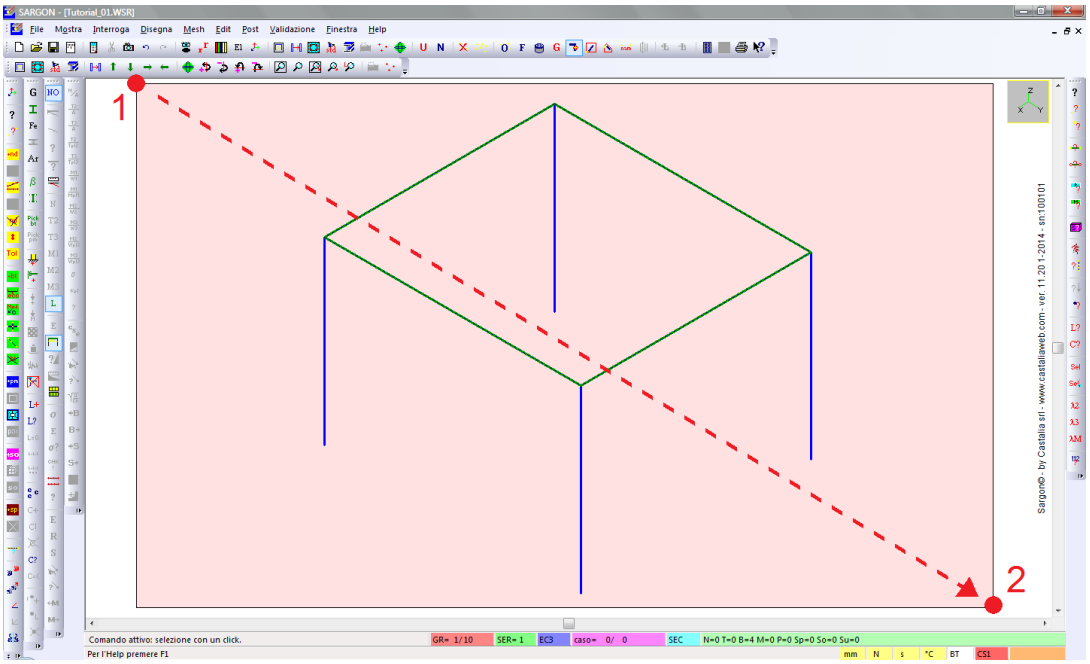
Nel dialogo successivo sono riportate solo le sezioni che soddisfano il filtro che abbiamo definito (HEB). In analogia a quanto fatto in precedenza con il materiale, scorriamo il sottoinsieme dell'archivio fino al profilo desiderato (HEB160), quindi assegnamolo facendo un doppio click oppure cliccando OK dopo averlo selezionato.



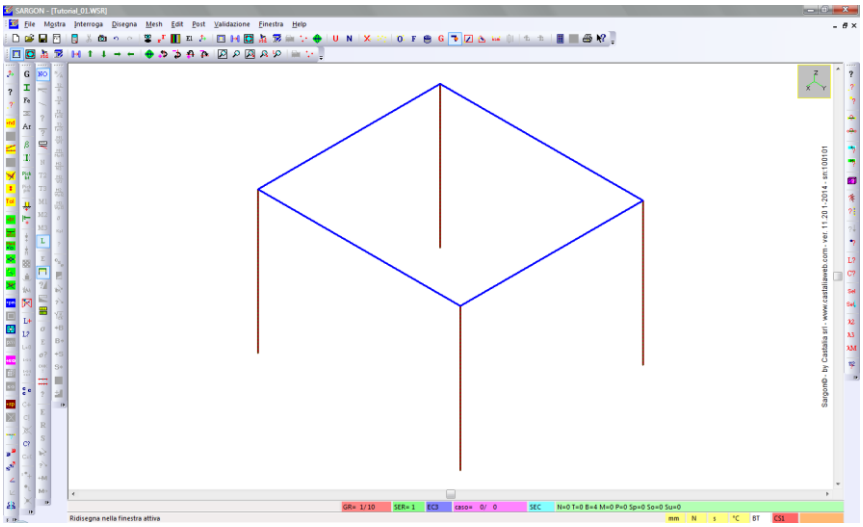
Ora assegnamo la sezione alle travi orizzontali. Innanzitutto dobbiamo deselezionare le colonne e selezionare i traversi. Possiamo farlo in due modi: il primo è cliccare singolarmente su tutte le colonne (correntemente selezionate) per deselezionarle, quindi cliccare su tutte le travi orizzontali (correntemente non selezionate) per selezionarle.

Il secondo modo consente di fare tutto con un'unica operazione, la selezione con box. Tale operazione agisce su tutti gli elementi che cadono all'interno di un box definito da noi, selezionando gli elementi correntemente non selezionati e, viceversa, deselezionando quelli correntemente selezionati. Eseguiamo **Edit – Seleziona – Box** .

A questo punto clicchiamo i due vertici opposti di un rettangolo che includa tutti gli elementi (nell'immagine seguente, alla schermata di Sargon sono stati aggiunti dei dettagli in rosso per chiarire, ma eseguendo il comando direttamente in Sargon l'operazione risulterà immediata.

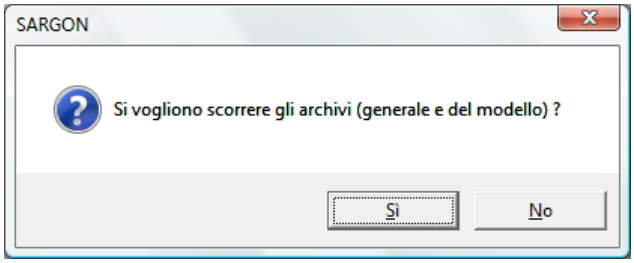


A questo punto risulteranno deselezionate le colonne e selezionate le travi.

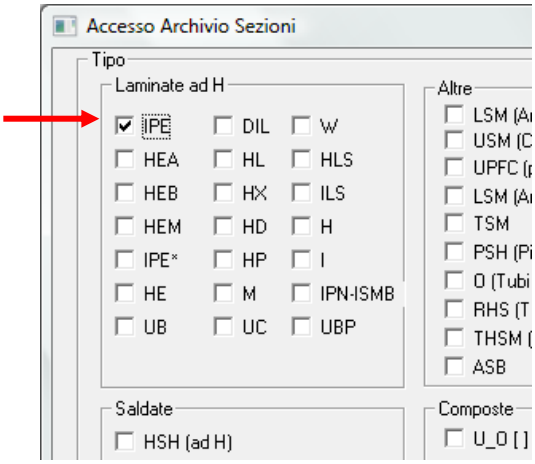


Suggerimento: qualora si sia definito un rettangolo non includendo tutti gli elementi, si può facilmente ovviare selezionando o deselezionado manualmente gli elementi che non sono nello stato desiderato.

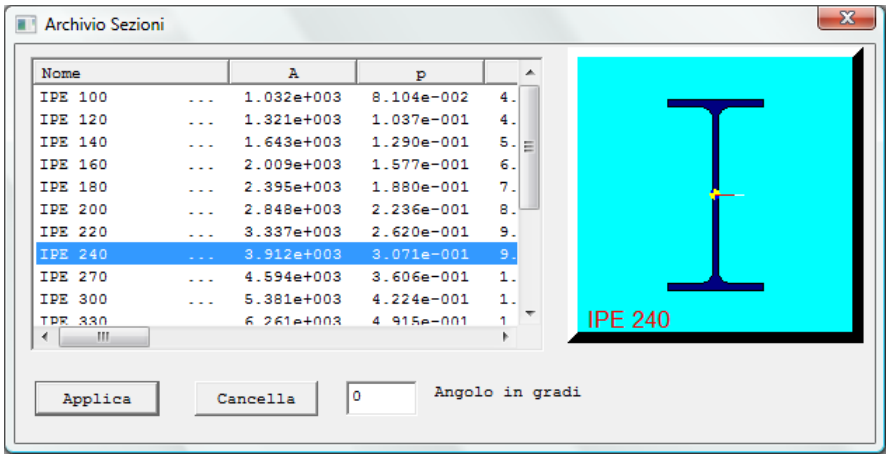
Come in precedenza, eseguiamo il comando **Edit – Proprietà – Sezioni** per assegnare la sezione desiderata agli elementi selezionati, quindi scegliamo SI per scorrere gli archivi.



Nel dialogo successivo rimuoviamo il *filtro sul tipo HEB* e spuntiano il *filtro sul tipo IPE*, quindi clicchiamo il bottone *Archivio*.



Scorriamo su IPE240 e assegnamo la sezione.



Suggerimento: per assicurarci di aver assegnato correttamente le sezioni e i materiali, possiamo mostrare le etichette sui vari elementi (**Mostra – Oggetti** , attivare *Sezione* e *Materiale* nella sezione *Etichette*), oppure usare il comando di interrogazione delle travi (**Interroga – Travi** , quindi attivare la sezione *Proprietà* e muovere il mouse in prossimità dell'elemento di cui si vuole conoscere la sezione o il materiale (senza cliccare). ESC o tasto destro per interrompere il comando.

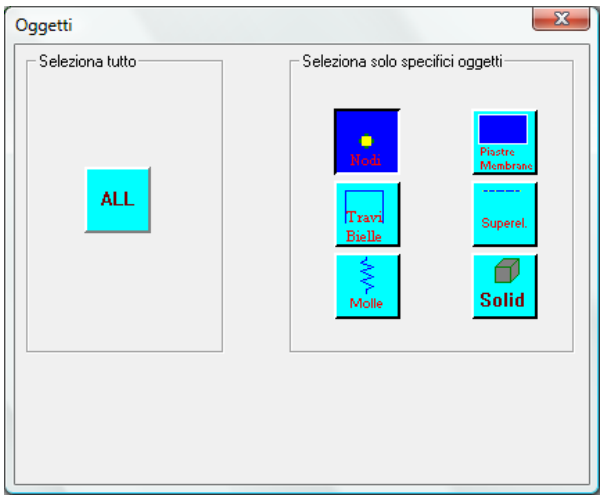
Nota: di default gli elementi sono rappresentati in base alla sezione assegnata (stessa sezione, stesso colore). È anche possibile fare in modo che gli elementi siano mostrati secondo altri criteri (materiale, tipologia, ecc.). Per fare ciò si usa il comando **Mostra – Elementi** El.

2.4 Vincoli e svincoli

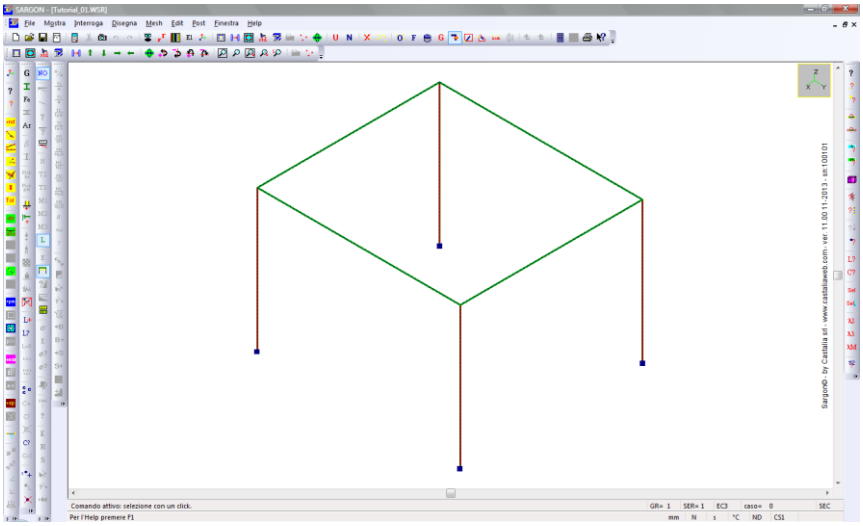
Assegneremo ora i vincoli nodali ai nodi alla base della struttura. Prima di fare ciò, deselezioniamo tutti gli elementi beam con il comando **Edit – Seleziona – Nessuno** .

Nota: questa operazione non è strettamente necessaria, in quanto le prossime operazioni coinvolgeranno solo i nodi, ma è comunque buona norma lavorare in modo ordinato, in modo da non applicare, in generale, operazioni a elementi sbagliati. Nel seguito del tutorial ciò non verrà ripetuto, per non appesantire la spiegazione. Sostanzialmente si tratta solo di un paio di click.

Eseguiamo il comando **Edit – Seleziona – Oggetti** , quindi clicchiamo *Nodi*.



Controlliamo che il comando **Edit -Seleziona - Click** sia attivo, altrimenti attiviamolo; quindi, clicchiamo i quattro nodi alla base per selezionarli.

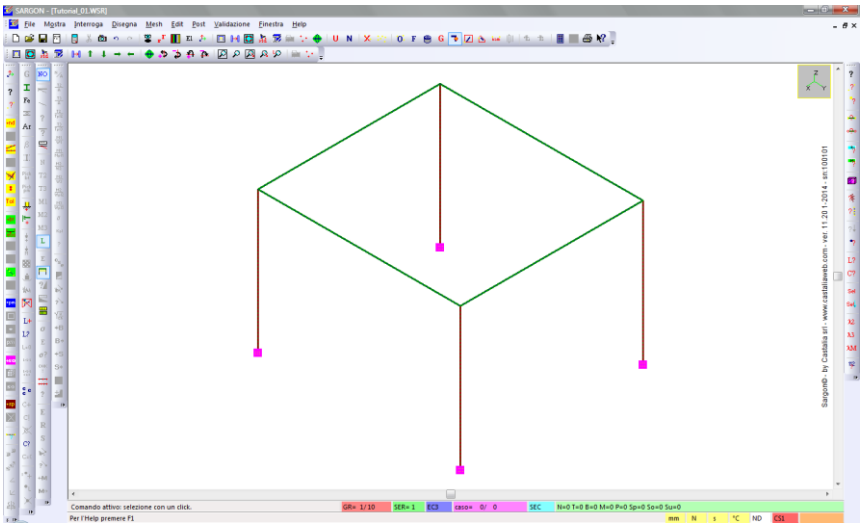


I nodi selezionati sono rappresentati con un quadrato blu. Applichiamo ora i vincoli ai nodi selezionati. Per fare ciò, eseguiamo il comando **Edit – Vincoli – Vincoli sui nodi** .

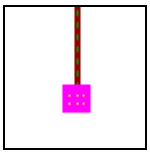
Nel dialogo che viene proposto, possiamo bloccare o lasciare liberi i 6 gradi di libertà dei nodi selezionati: le 3 traslazioni lungo gli assi globali del modello (TX, TY, TZ) e le 3 rotazioni attorno agli stessi assi (RX, RY, RZ). Una spunta indica la presenza del vincolo corrispondente. I bottoni *Incastro* e *Libero* servono rispettivamente a spuntare tutte le caselle e a rimuovere tutte le spunte. In questo caso vogliamo degli incastri alla base, quindi lasciamo le 6 spunte e clicchiamo OK.

Deselezioniamo tutti i nodi (**Edit – Seleziona – Oggetti**) e facciamo un refresh della vista (**Disegna – Ridisegna**). I nodi vincolati hanno ora un quadrato che indica la presenza di un incastro. Ogni quadrato ha 6 pixel bianchi che indicano la presenza di tutti e 6 i vincoli nodali (TX, TY, TZ sulla prima riga, RX, RY, RZ sulla seconda).

Nota: vincoli che non siano incastri (cioè che abbiano almeno una componente di traslazione o rotazione libera, sono rappresentati con un cerchio al posto del quadrato. Anche il cerchio ha dei pixel in corrispondenza dei gradi di libertà vincolati.



L'immagine seguente mostra un dettaglio del quadrato con i 6 pixel.



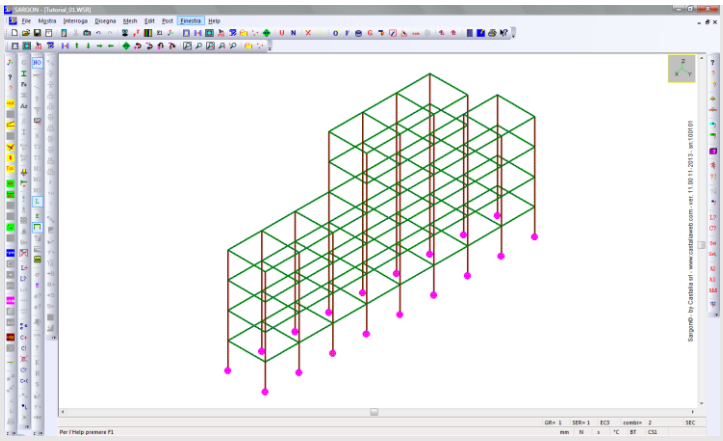
La struttura ora è vincolata a terra. Potremmo aggiungere degli **svincoli** agli estremi degli elementi beam (ad esempio delle cerniere) ma lasciamo questo aspetto al **secondo tutorial**. Passiamo quindi allo step successivo, la definizione dei casi di carico e delle combinazioni.

Prima di procedere, salviamo il modello con **File – Salva** . È consigliabile eseguire periodicamente un salvataggio, per evitare di perdere il lavoro fatto.

2.5 Cenni su ulteriori comandi per la creazione dei modelli

Sargon dispone di **comandi per una modellazione avanzata** e spesso più rapida, non trattati in questo tutorial. Si citano, a titolo di esempio, i comandi di divisione e splitting degli elementi, i comandi di intersezione automatica tra gli elementi, i comandi di copie in sequenza di elementi o insiemi di elementi (qui si è vista una semplice copia singola), i comandi di specchiatura e di copia radiale, la definizione di eccentricità in modo manuale, automatico o semiautomatico, la definizione avanzata dell'orientazione, ecc. Alcuni di questi argomenti sono trattati in tutorial successivi, per altri si rimanda alla guida del programma o alle videolezioni.

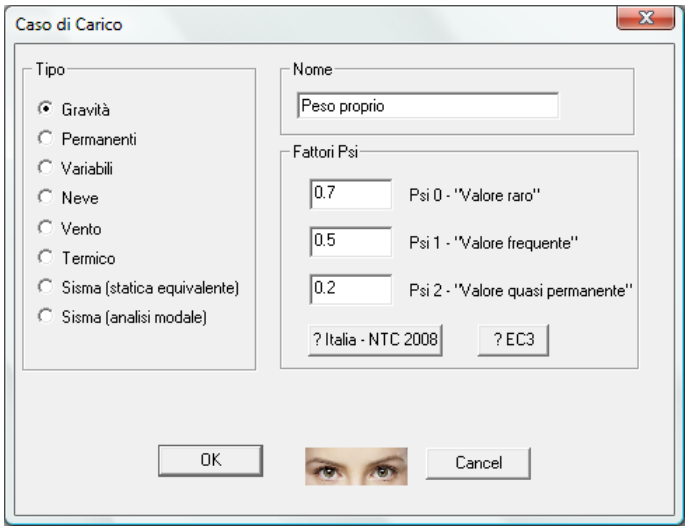
Con pochi comandi di copia opportunamente gestiti, possiamo rapidamente ottenere una struttura modulare partendo dal blocco originale, oppure aggiungere altre parti alla nostra struttura, ecc.



PARTE 3: CASI DI CARICO E COMBINAZIONI

3.1 I casi di carico

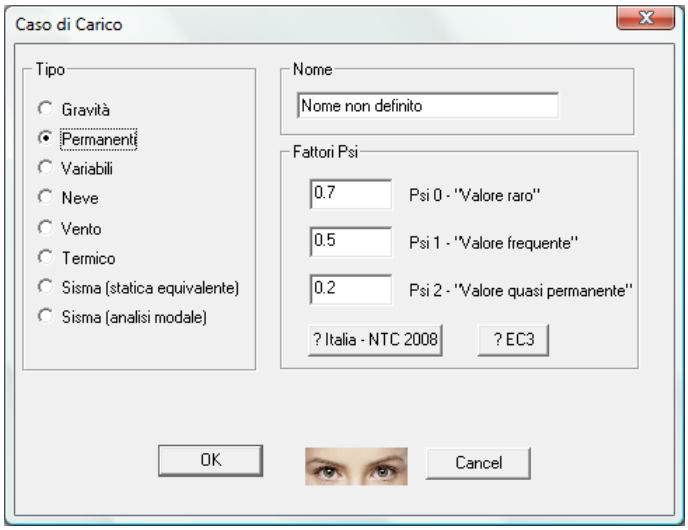
Aggiungiamo ora dei casi di carico al nostro modello. Eseguiamo il comando **Edit – Casi – Aggiungi** L+.



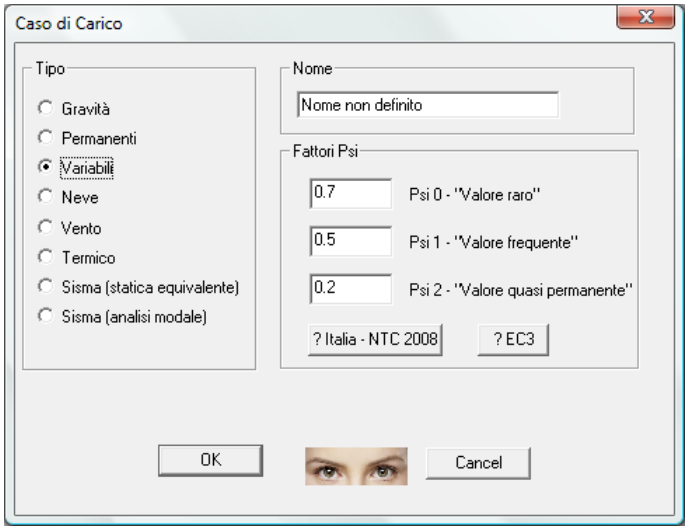
Spuntiamo il tipo *Gravità* e definiamo un nome, opzionale, per il primo caso di carico, ad esempio "Peso proprio". Premiamo OK.

> **Nota:** non entreremo, in questa sede, nel dettaglio della definizione dei fattori Psi per la generazione automatica delle combinazioni di verifica in accordo alla normativa desiderata e alla tipologia del caso.

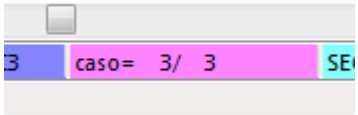
Aggiungiamo un secondo caso di carico, sempre con il comando **Edit – Casi – Aggiungi** L+. Questa volta spuntiamo il tipo *Permanenti*. Premiamo quindi OK.



Aggiungiamo un terzo caso di carico, sempre con il comando **Edit – Casi – Aggiungi**. Questa volta spuntiamo il tipo *Variabili*. Premiamo quindi OK.



Possiamo aggiungere tutti i casi di carico necessari al nostro progetto. **In questa sede ci limitiamo a tre, per semplicità espositiva.** Nella parte in basso del'interfaccia di Sargon possiamo vedere qual è il caso corrente, che al momento è il terzo.



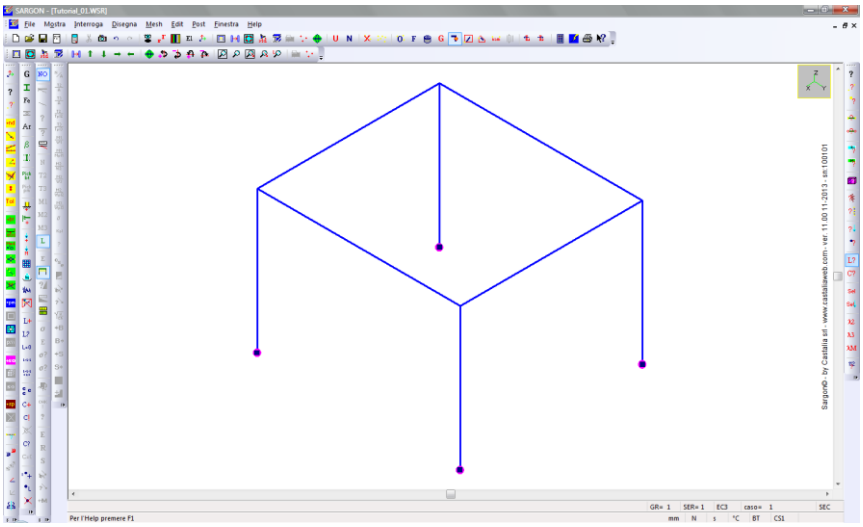
Riportiamoci al caso 1. Per farlo, utilizziamo i comandi **Edit – Casi – Precedente** e **Successivo**.

> **Suggerimento:** per spostarci tra i vari casi possiamo utilizzare diverse modalità: la prima consiste nell'utilizzare i comandi **Edit – Casi – Precedente** e **Successivo**. La seconda è il comando **Edit – Casi – Modifica**, selezionando il caso desiderato nella lista del dialogo proposto e premendo OK. La terza modalità consiste nel cliccare direttamente nella casella dell'immagine soprariportata: il tasto destro fa passare al caso successivo, il tasto sinistro a quello precedente.

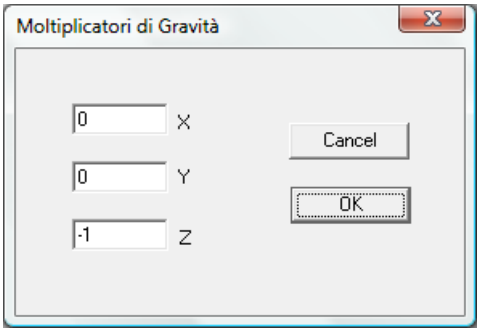
3.2 Le azioni

Siamo nel caso 1 (peso proprio). Applicheremo ora il carico dovuto al peso proprio degli elementi con un comando automatico.

Innanzitutto selezioniamo tutti gli elementi: attiviamo il filtro per le travi: eseguiamo il comando **Edit – Seleziona – Oggetti**, clicchiamo su *Travi e bielle*. Quindi selezioniamo tutti gli oggetti con il comando **Edit – Seleziona – Tutti**.

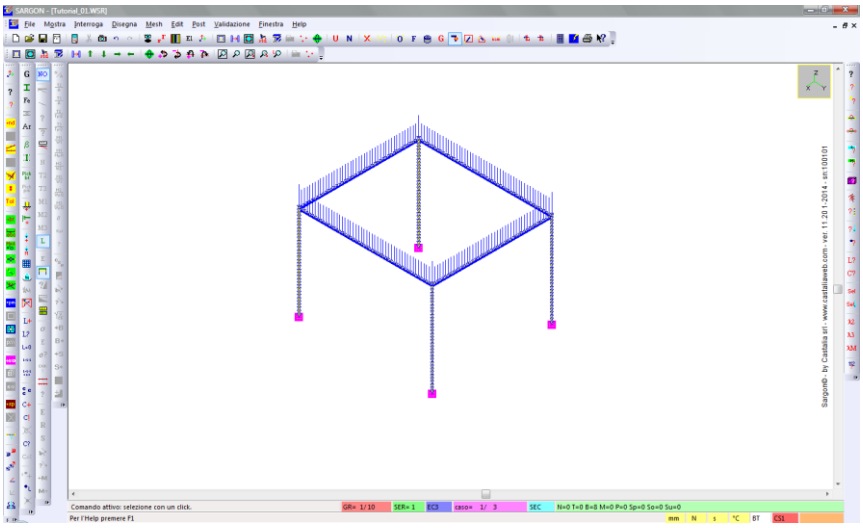


Eseguiamo ora il comando **Edit – Azioni – Gravità** .

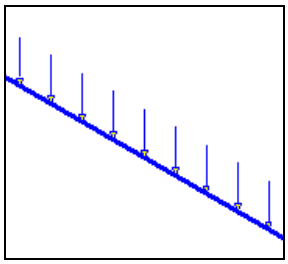


Nel dialogo che viende proposto, di default l'unico valore non nullo è Z=-1. Clicchiamo OK: a tutti gli elementi beam selezionati verrà applicato **automaticamente** un opportuno **carico distribuito** (N/mm in questo caso) che, moltiplicato per la lunghezza dell'elemento, restituisce il peso dell'elemento stesso (in base alla sezione e al materiale assegnati).

In questo caso il carico sarà diretto in direzione Z negativa (verso il basso) senza alcuna amplificazione (Z=-1).



I carichi sono rappresentati con grandezza differente, in proporzione all'entità dell'azione. L'immagine seguente mostra il dettaglio della convenzione grafica con cui sono rappresentati i carichi distribuiti.



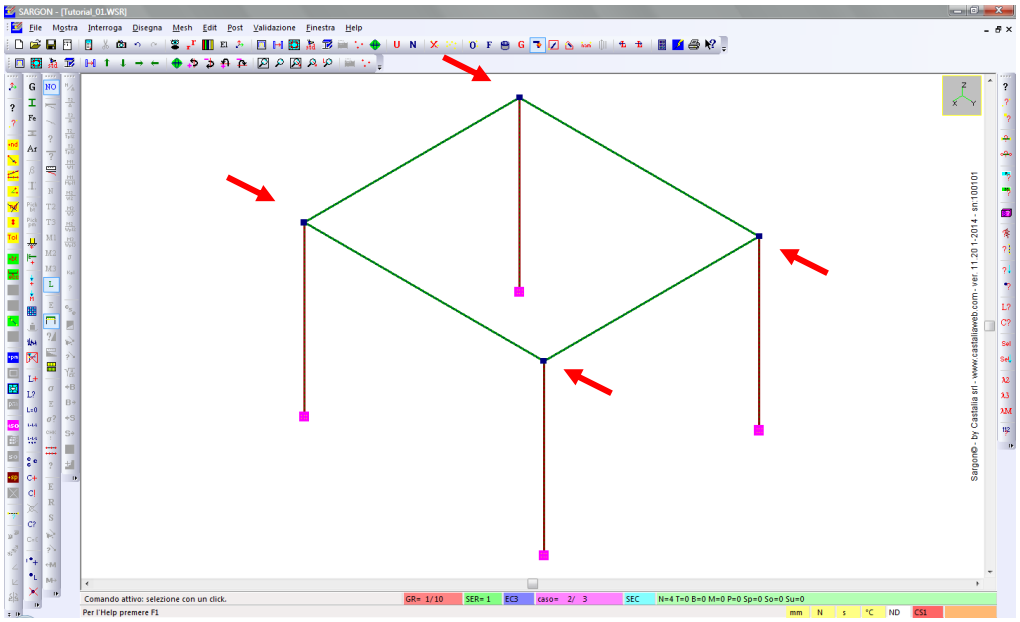
Suggerimento: è possibile visualizzare i carichi distribuiti in forma sintetica, con una sola freccia per ogni elemento. Ciò può essere utile nel caso di modelli con discretizzazione molto fitta. Dopo aver eseguito **Mostra – Oggetti** si deve spuntare *Azioni sintetiche*.

Nota: nel caso in cui si esegua il comando di assegnazione automatica del peso proprio su elementi biella, piastra, membrana o solidi, le azioni vengono applicate sotto forma di carichi nodali ripartite sui nodi degli elementi. Tra poco vedremo la rappresentazione grafica dei carichi nodali.

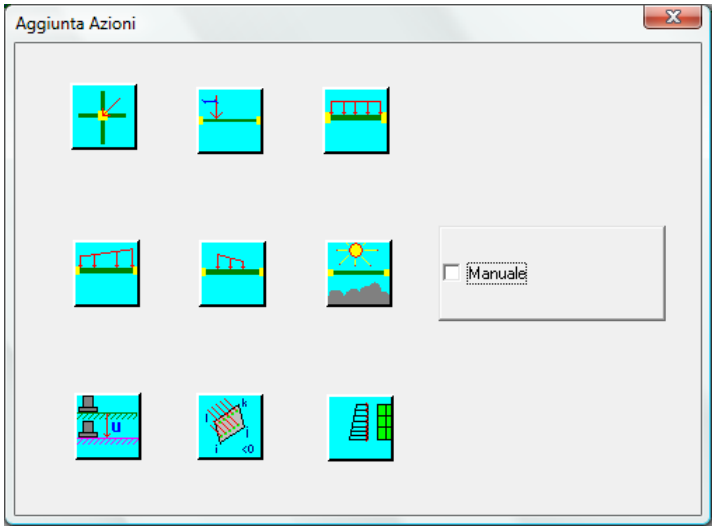
Posizionamoci ora nel caso 2, con **Edit – Casi – Successivo**, o click nella casella in basso caso= 2/ 3, come spiegato in precedenza..

Deselezioniamo tutte le travi (**Edit – Seleziona – Nessuno**), quindi passiamo alla selezione dei *Nodi* (**Edit – Seleziona – Oggetti**) e, dopo averli deselezionati tutti, selezioniamo con un click i 4 nodi superiori della struttura. Ci troveremo nella situazione seguente, dove gli unici nodi selezionati (quadrato blu) sono quelli alla sommità delle colonne.

Nota: può essere necessario un refresh della vista (**Disegna – Ridisegna**).

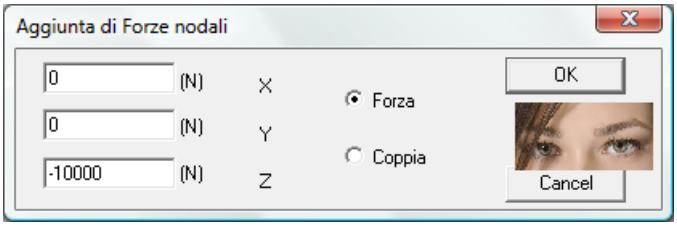


Eseguiamo il comando **Edit – Azioni – Aggiungi** .

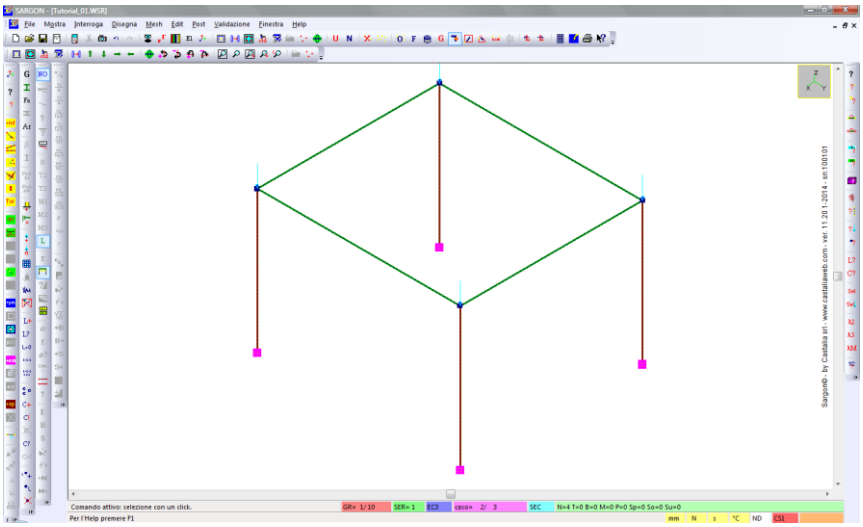


Nel dialogo rimuoviamo la spunta della casella *Manuale*, in modo che venga assegnato un carico nodale a tutti i nodi correntemente selezionati. Clicchiamo quindi la prima casella in alto a sinistra, relativa ai carichi nodali.

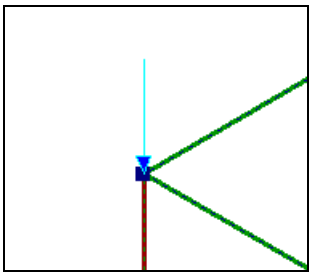
Nel dialogo che viene proposto successivamente, indichiamo direzione ed entità del carico nodale. Ad esempio, Z = -10000 [N].



Premiamo OK e sui quattro nodi selezionati viene aggiunto un carico nodale avente la direzione e l'entità specificate.



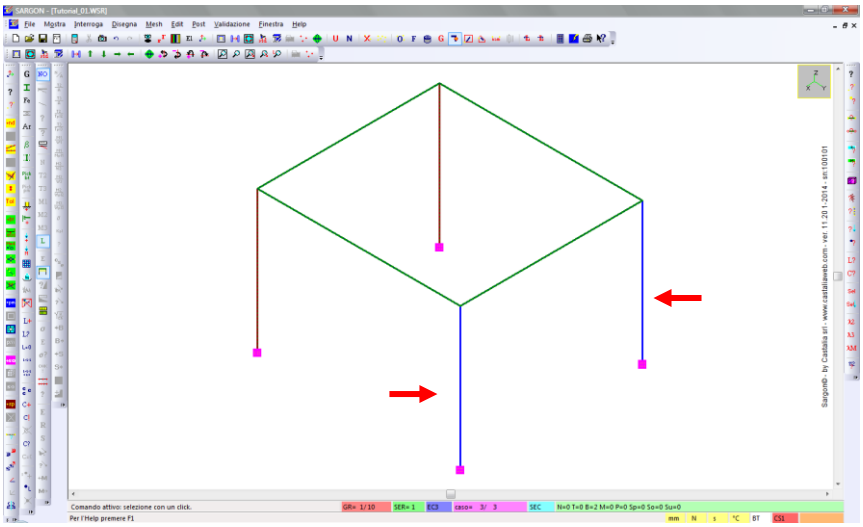
L'immagine seguente mostra il dettaglio della rappresentazione grafica dei carichi nodali.



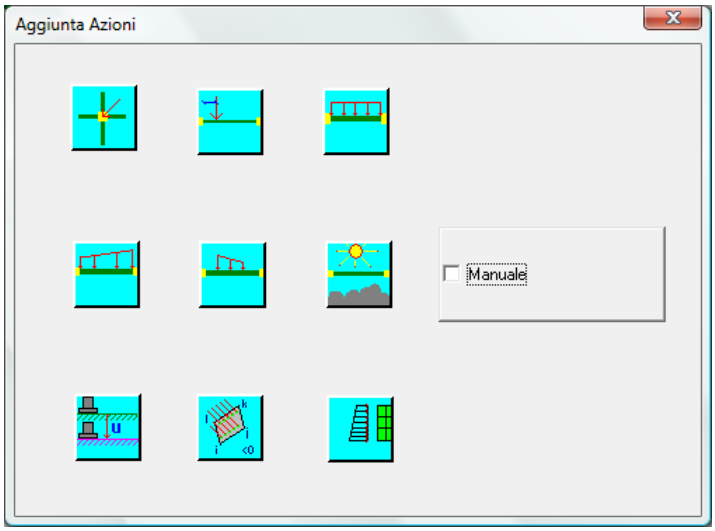
Posizionamoci ora nel caso 3 (o click col tasto sinistro nella casella in basso caso= 3/ 3).

Deselezioniamo tutti i nodi (**Edit – Seleziona – Nessuno**), quindi passiamo alla selezione di *Travi e bielle* (**Edit – Seleziona – Oggetti**) e selezioniamo con un click le due colonne che hanno coordinata Y maggiore (si veda l'immagine sottostante).

Nota: può essere necessario un refresh della vista (**Disegna – Ridisegna**).

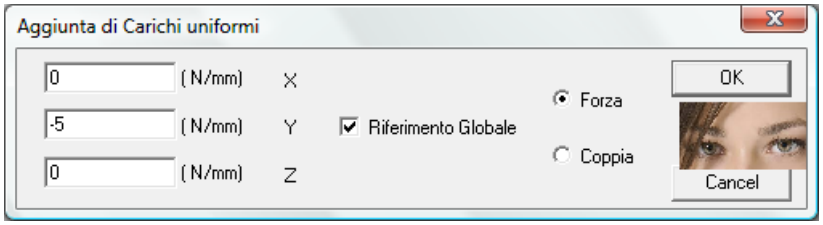


Eseguiamo il comando **Edit – Azioni – Aggiungi** .

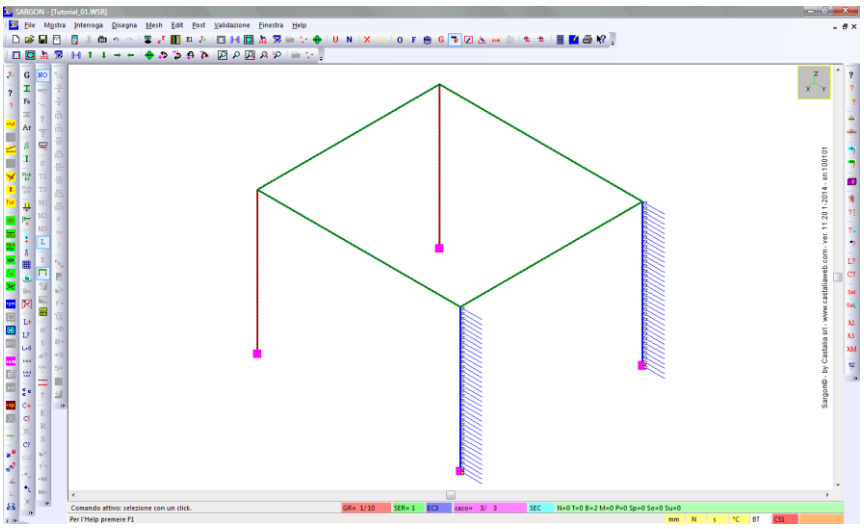


Nel dialogo rimuoviamo la spunta della casella *Manuale*, in modo che venga assegnato un carico a tutti gli elementi correntemente selezionati. Clicchiamo quindi la prima casella in alto a destra, relativa ai carichi distribuiti sugli elementi beam.

Nel dialogo che viene proposto successivamente, indichiamo direzione ed entità del carico distribuito. Ad esempio, Y = -5 [N/mm].



Premiamo OK e sulle due colonne selezionate vengono applicati dei carichi distribuiti aventi la direzione e l'entità specificate.



Nota: Sargon dispone di vari comandi avanzati per assegnazione dei carichi (ad esempio i carichi a regione o di superficie) che non sono oggetto di questo tutorial.

3.3 Le combinazioni

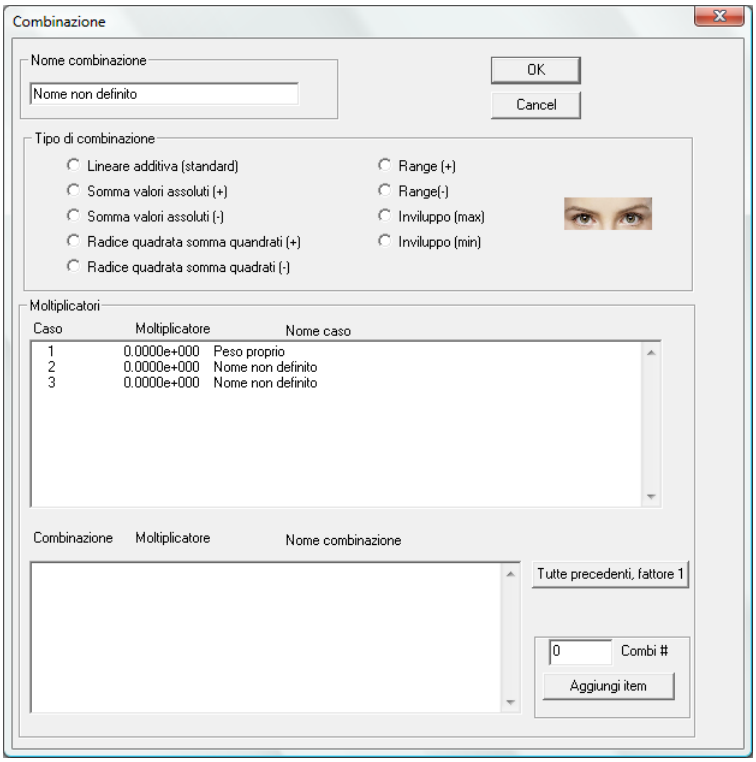
In Sargon le combinazioni di verifica possono essere aggiunte in 3 modi:

- manualmente, indicando i moltiplicatori di tutti i casi per ciascuna combinazione;
- importandole da file di testo, opportunamente organizzati;
- generandole automaticamente secondo normativa, con parametri modificabili.

Qui vedremo la prima modalità. La seconda e la terza consentono di ottenere un elevato numero di combinazioni in poco tempo. La terza, in particolare, è basata su un algoritmo molto sofisticato di Sargon che consente di definire in modo mirato le combinazioni in relazione al tipo di verifiche che si vogliono eseguire (ad esempio SLV o SLE, ecc.).

Nota: Sargon consente di gestire fino a 6 diversi gruppi di combinazioni (combiset) su uno stesso modello. Ad esempio, si possono creare set distinti per verifiche SLV ed SLE.

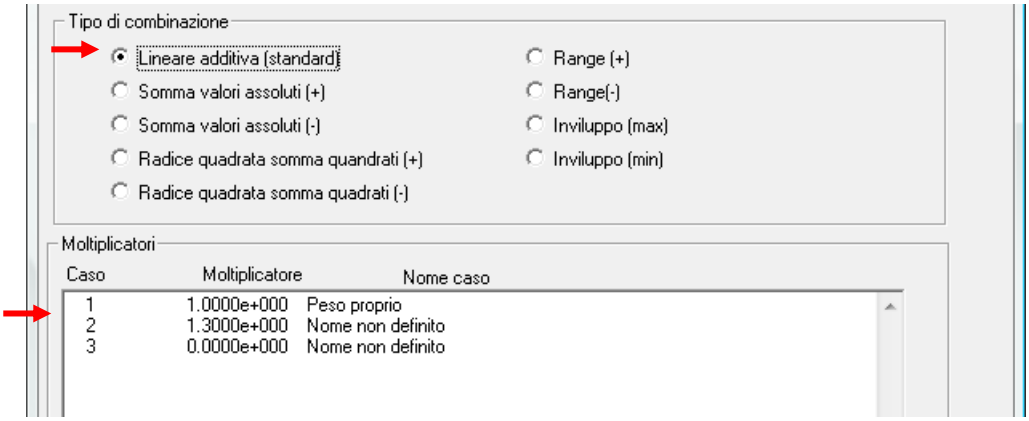
Aggiungiamo una combinazione di verifica, eseguendo il comando **Edit – Combinazioni – Aggiungi** C+.



Possiamo definire un nome, opzionale, per la combinazione. Occorre poi definire il tipo; in questo caso scegliamo la prima possibilità, *Lineare additiva (standard)*. Non entreremo qui nel dettaglio degli altri tipi di combinazione. Quella che abbiamo scelto consiste nella combinazione lineare (somma) dei vari casi di carico, opportunamente fattorizzati.

Ad esempio, possiamo definire una combinazione che è la somma del caso 1 non fattorizzato (x1), del caso di carico 2 amplificato (x1.3), con caso 3 non incluso (x0):

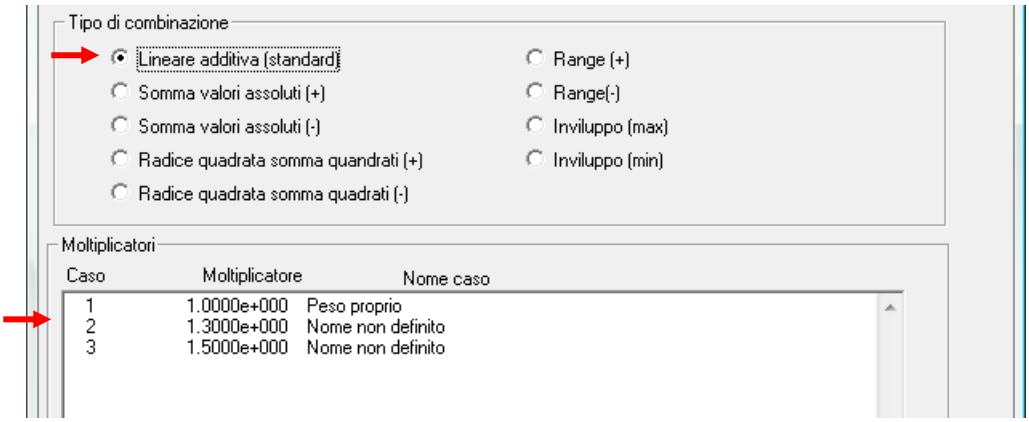
1 * caso1 + 1.3 * caso2 + 0 * caso3



Premiamo OK per aggiungere la combinazione.

Suggerimento: nella casella *Moltiplicatori* del dialogo è anche possibile eseguire operazioni di copia/incolla (selezione del testo, tasto destro del mouse, CTRL+C e CTRL+V).

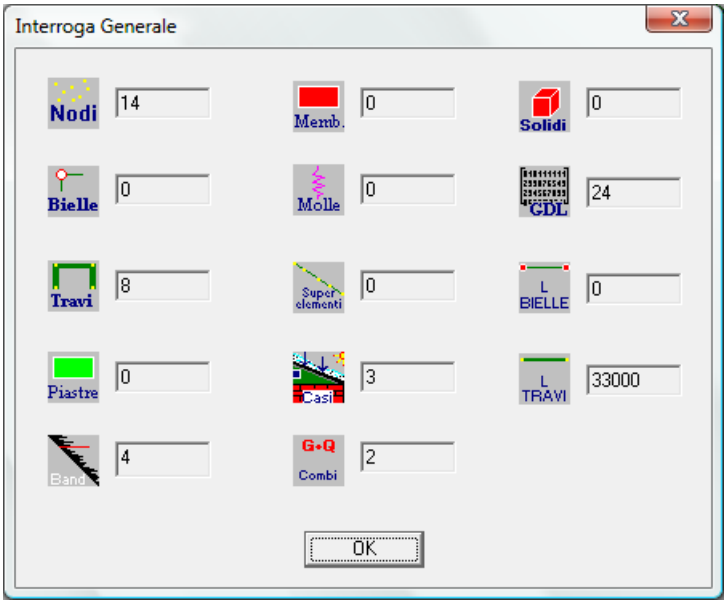
Aggiungiamo un'altra combinazione di verifica: **Edit – Combinazioni – Aggiungi** C+. Questa volta aggiungiamo anche il caso 3 amplificato 1.5 volte.



Premiamo OK per aggiungere la combinazione.

Potremmo aggiungere ulteriori combinazioni, ma in questo esempio di fermiamo qui.

Prima di passare all'analisi del modello, eseguiamo il comando **File – Salva** per salvare il modello su disco fisso. Eseguiamo anche il comando **Interroga – Dati Generali** per avere le informazioni generali sul modello (numero di nodi, numero di elementi, gradi di libertà, lunghezza totale degli elementi, numero di casi e di combinazioni, ecc.).



PARTE 4: ANALISI STATICA LINEARE

4.1 Panoramica sui solutori di Sargon

Sargon dispone di diversi solutori interni ed è interfacciato con solutori esterni. Per quanto concerne il secondo aspetto si rimanda alla documentazione del programma. I solutori interni disponibili sono:

- Analisi statica lineare
- Analisi nonlineare per nonlinearità geometrica
- Analisi nonlineare per nonlinearità di materiale
- Analisi modale
- Analisi a spettro di risposta
- Analisi di risposta in frequenza
- Analisi di buckling

Sul sito internet di Castalia (www.castaliaweb.com) sono disponibili centinaia di schede di validazione dei solutori, che includono confronti con risultati teorici e cross-check con altri programmi agli elementi finiti, quali NASTRAN e SAP2000.

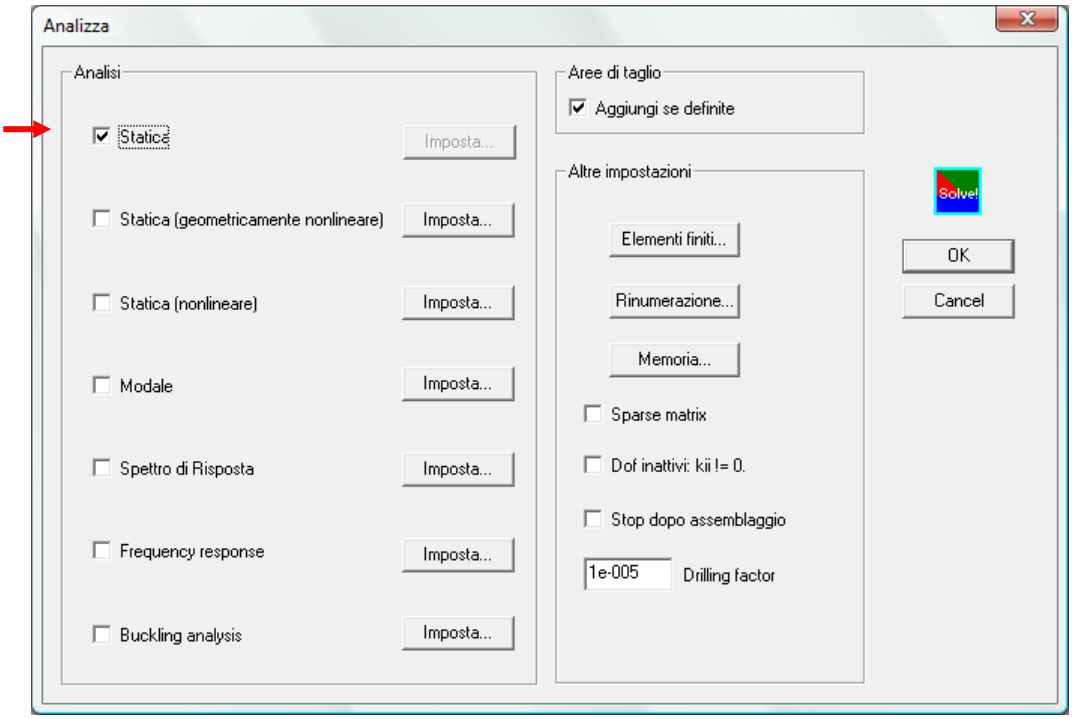
In questo tutorial vedremo un esempio di analisi statica lineare.

4.2 Impostazione ed esecuzione dell'analisi statica lineare

Eseguiamo il comando **File – Analizza** .

Viene proposto un dialogo nella cui parte sinistra sono elencati tutti i solutori. Spuntiamo il primo, ovvero **l'analisi statica**. Come si vede dalla casella *Imposta* ingrigita, questo solutore è l'unico che non necessita di impostazioni specifiche per l'analisi.

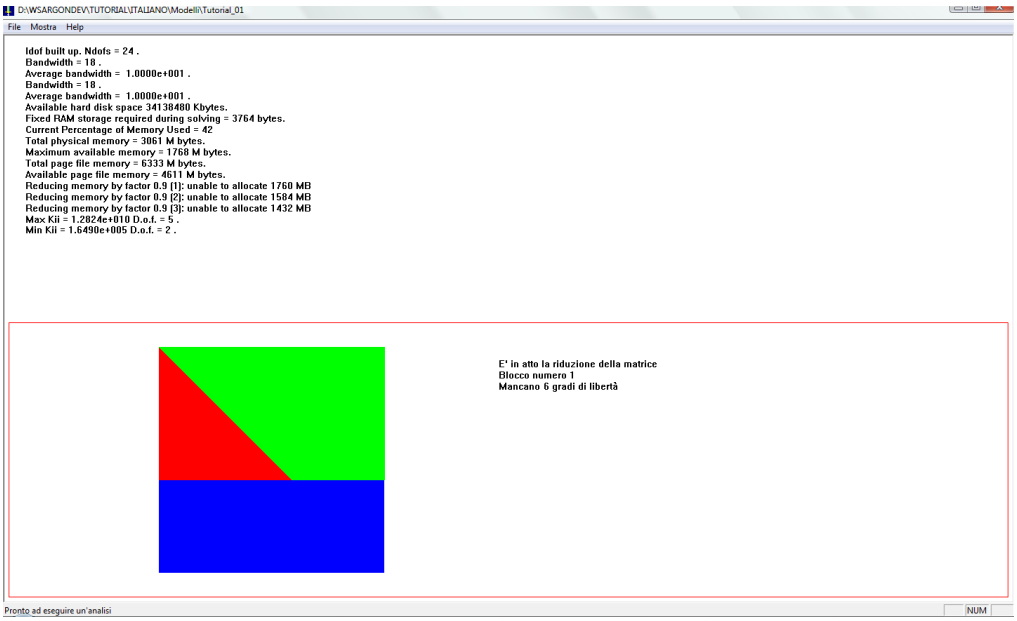
> **Nota:** nella parte destra del dialogo possiamo modificare le impostazioni generali, tra cui la scelta di utilizzare o meno la soluzione di tipo *Sparse Matrix* e le opzioni di rinumerazione dei nodi e ottimizzazione della memoria, sostanzialmente irrilevanti nel caso di un modello così piccolo come quello in esame. Qui non entreremo nel dettaglio delle varie impostazioni, mantenendo i default.



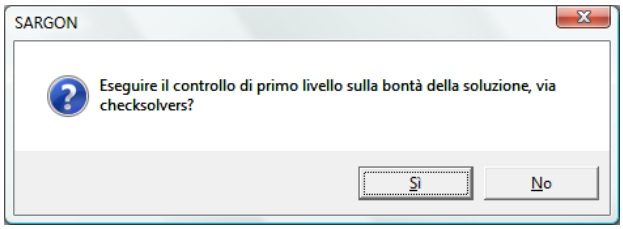
Premiamo OK per avviare l'analisi.

Nota: se ci viene chiesto di salvare il file su disco, perché ci sono modifiche non salvate, clicchiamo SI. Facciamo lo stesso se ci viene richiesto di interrompere comandi rimasti inavvertitamente attivi.

Viene lanciato il solutore CLEVER (analisi statica).



Al termine dell'analisi ci viene chiesto se eseguire un controllo sulla bontà della soluzione, tramite l'applicazione **Checksolvers** di Castalia. In questa sede clicchiamo NO.



La struttura è stata analizzata e ora possiamo visualizzarne i risultati.

4.3 Analisi dei risultati

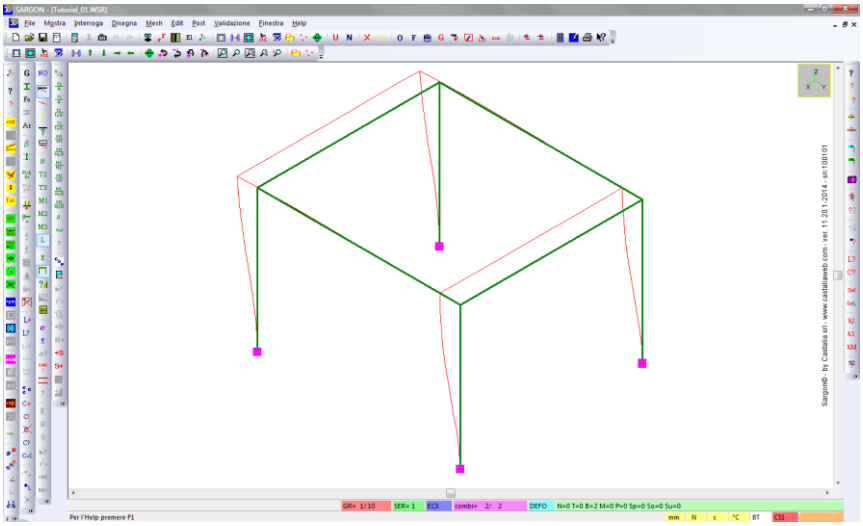
Possiamo ora visualizzare a schermo i risultati dell'analisi eseguita: trattandosi di un **modello a beam**, abbiamo a disposizione sostanzialmente informazioni sugli **spostamenti**, sullo stato di **sollecitazione** delle aste e sulle reazioni vincolari. In particolare, possiamo visualizzare i seguenti risultati:

- viste deformate della struttura, con o senza indeformata;
- mappe a colori degli spostamenti nodali;
- interrogazione degli spostamenti nei nodi e lungo lo sviluppo degli elementi beam;
- diagrammi delle azioni interne negli elementi beam;
- stato di sforzo degli elementi finiti (sforzi normali, flessionali, torsionali e di taglio, indicatori di sforzo, ecc., inviluppi al variare delle combinazioni e degli elementi, ecc.);
- interrogazione dettagliata delle azioni interne lungo lo sviluppo degli elementi;
- informazioni sulle reazioni vincolari di singoli nodi o di insiemi di nodi.

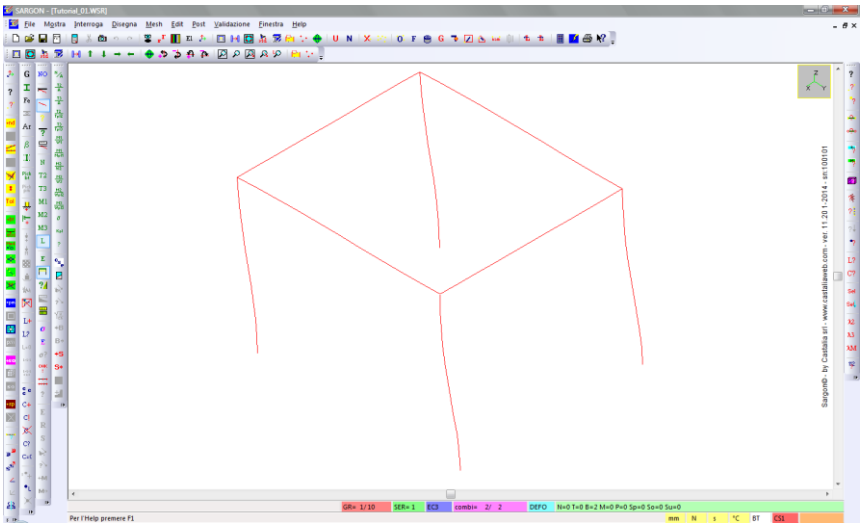
I comandi per la visualizzazione dei risultati si trovano nel menu **Post**. Quelli relativi agli spostamenti si trovano nel sottomenu **Deformata**. Quelli relativi alle sollecitazioni interne agli elementi beam si trovano nel sottomenu **Sforzi BT** (bielle e travi). Quelli relativi alle reazioni vincolari nel sottomenu **Reazioni vincolari**. Fatta questa premessa, nel seguito di questo tutorial verranno riportati solo i nomi dei comandi, senza indicare ogni volta menu e sottomenu, essendo facilmente intuibile in quale sottomenu del menu *Post*, tra i tre suddetti, si trovino i vari comandi.

Nota: è anche possibile chiedere al programma la stampa di un **listato** alfanumerico con i risultati desiderati, che possono essere usati per controlli oppure possono essere inseriti in relazioni di calcolo. Il listato può essere creato in modo personalizzato grazie alle opzioni disponibili. Il comando per creare il listato, che non approfondiremo in questa sede, è **File – Crea Listato** .

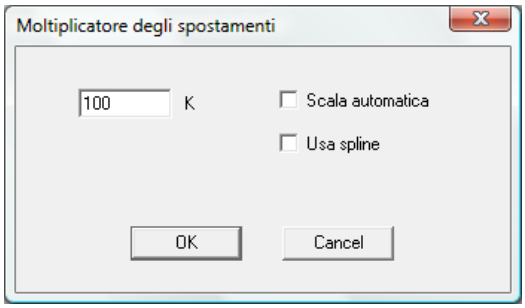
Visualizziamo la vista deformata **Con indeformata** , in cui alla vista della struttura è sovrapposta la vista deformata (amplificata) nel caso di carico o nella combinazione corrente (in questo caso la combinazione 2).

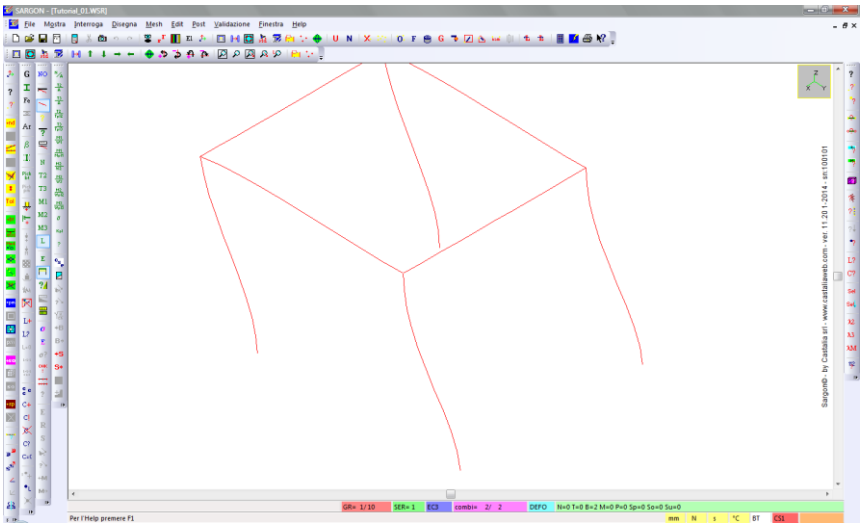


Se chiediamo di mostrare la vista deformata **Senza indeformata** , la struttura indeformata non viene mostrata.



L'amplificazione della deformazione è calcolata automaticamente, per ottimizzare la vista corrente, in base agli spostamenti massimi calcolati nel caso o nella combinazione corrente. Se necessario, possiamo modificare la **Scala** con il comando omonimo. Nel dialogo che si presenta, rimuoviamo la spunta relativa alla *Scala automatica* e introduciamo il fattore amplificativo desiderato nella casella. ad esempio, 100.

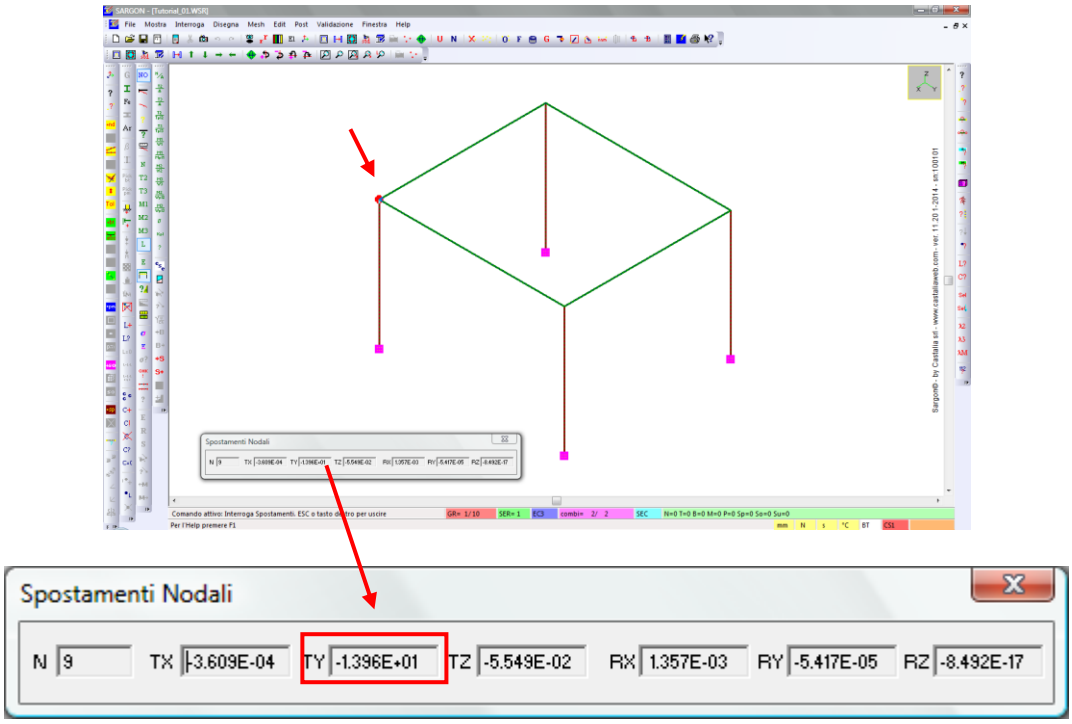




Se passiamo al caso o alla combinazione precedente o successivo, la vista deformata viene aggiornata in base agli spostamenti lì calcolati. Se la scala è automatica, viene ricalcolata in tempo reale. Se abbiamo impostato un valore manuale potrà essere necessario modificarlo.

Usiamo il comando **No post** per annullare la visualizzazione dei risultati correnti e tornale alla vista normale del modello (vale sia per le deformate e per tutti gli altri risultati, mappe, diagrammi, ecc.).

Eseguiamo ora il comando **Interroga** per conoscere gli spostamenti nodali. Dopo l'esecuzione si apre un dialogo che riporta il numero del nodo, le tre traslazioni (TZ, TY, TZ) e le tre rotazioni (RX, RY, RZ) nel caso o nella combinazione corrente. Muovendo il mouse in prossimità di un nodo, nel dialogo vengono mostrate le corrispondenti informazioni. Spostando il mouse su un altro nodo, i dati vengono aggiornati. Ad esempio, come mostrato nell'immagine seguente, il nodo 9 nella combinazione 2 ha uno spostamento pari a -13.96mm in direzione Y.



ESC o *tasto destro* per uscire dal comando.

Per gli altri comandi del sottomenu **Deformata** si rimanda alla guida del programma.

Veniamo ora alle sollecitazioni negli elementi beam. Lo schema seguente riassume tutti i comandi disponibili per la visualizzazione delle azioni interne, degli sforzi e degli indicatori adimensionali.

Azioni interne		Sforzi		Indicatori adimensionali	
N	Azione assiale - Tx	N/A	N/A	T2/Tpl2	T2/Tpl2
T2	Taglio 2 - Ty	T2/A	T2/A	T3/Tpl3	T3/Tpl3
T3	Taglio 3 - Tz	T3/A	T3/A	M1/Mpl1	M1/Mpl1
M1	Momento torcente - Mx	M1/W1	M1/W1	M2/Wpl2	M2/Wpl2
M2	Momento 2 - My	M2/W2	M2/W2	M3/Wpl3	M3/Wpl3
M3	Momento 3 - Mz	M3/W3	M3/W3	Kpl	|N/Npl|+|M2/Mpl2|+|M3/Mpl3|
		σ	|N/A|+|M2/W2|+|M3/W3|		

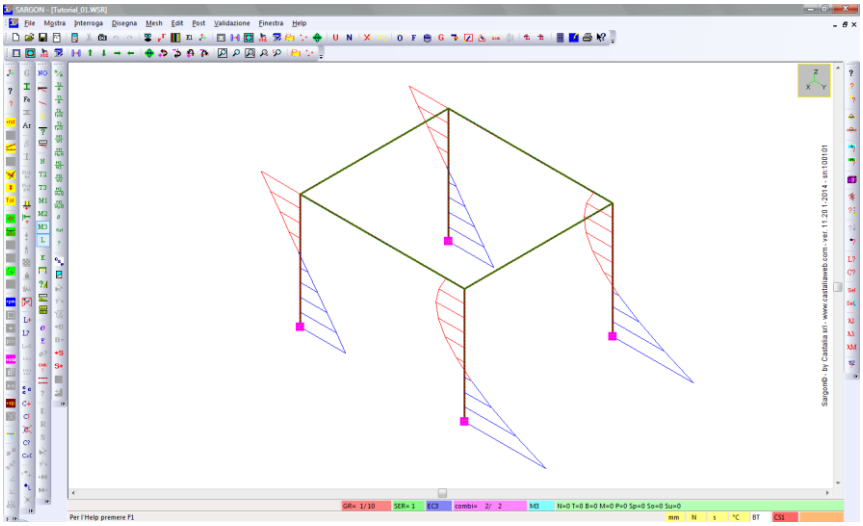
Le **azioni interne** (forze e momenti) vengono rappresentate diagrammi che rappresentano l'andamento dell'azione interna scelta (azione assiale, uno dei due tagli, il momento torcente o uno dei due momenti torcenti).

Gli **sforzi** (forza diviso area oppure momento diviso modulo di resistenza) vengono mostrati mediante opportuna colorazione degli elementi in base a una scala di sforzo modificabile dall'utente. Si possono mostrare gli sforzi dovuti a singole sollecitazioni (ad

esempio N/A o M/W, sforzi normali, o T/A, sforzo di taglio) oppure la somma dei moduli degli sforzi normali.

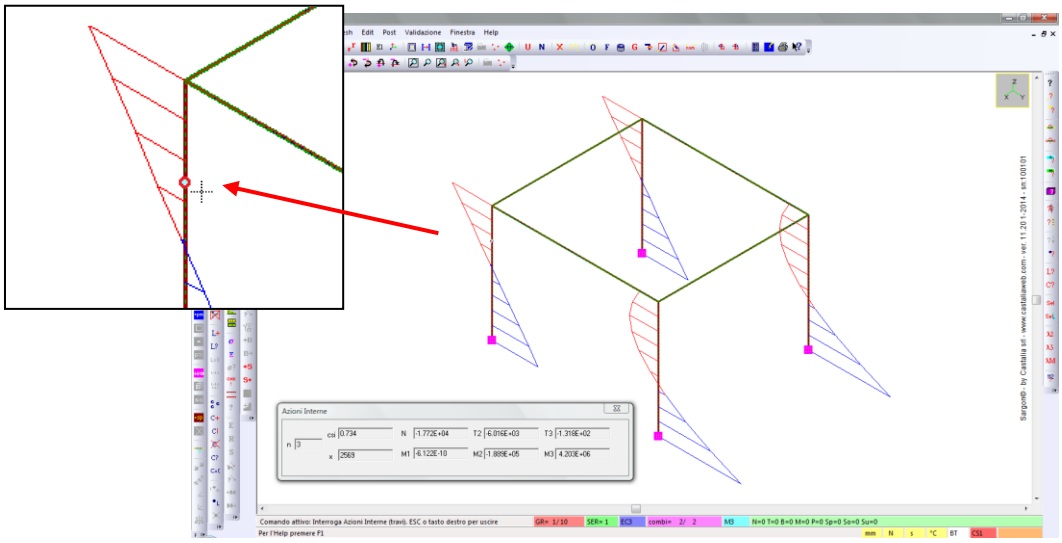
Gli **indicatori adimensionali** sono il rapporto tra un'azione interna e il corrispondente valore plastico della sezione (ad esempio, taglio su taglio plastico, momento flettente su momento flettente plastico). Sono rappresentati, come gli sforzi, tramite la colorazione degli elementi finiti.

Mostriamo ad esempio il diagramma relativo al momento flettente M3, quello causato dalle forze trasversali definite nel caso 2 M3. Come si vede, il momento M3 è pressoché nullo sugli elementi orizzontali, mentre ha un andamento diverso sulle due colonne soggette al carico distribuito del caso 2 e sulle due colonne che invece si deformano a causa delle forze trasmesse alla loro sommità dagli elementi orizzontali.



Nota: i diagrammi possono essere mostrati su tutti gli elementi visibili o solo su quelli selezionati, per ottenere la vista desiderata. Per visualizzare i diagrammi su tutti gli elementi, disattivare il comando Selezionati, se attivo.

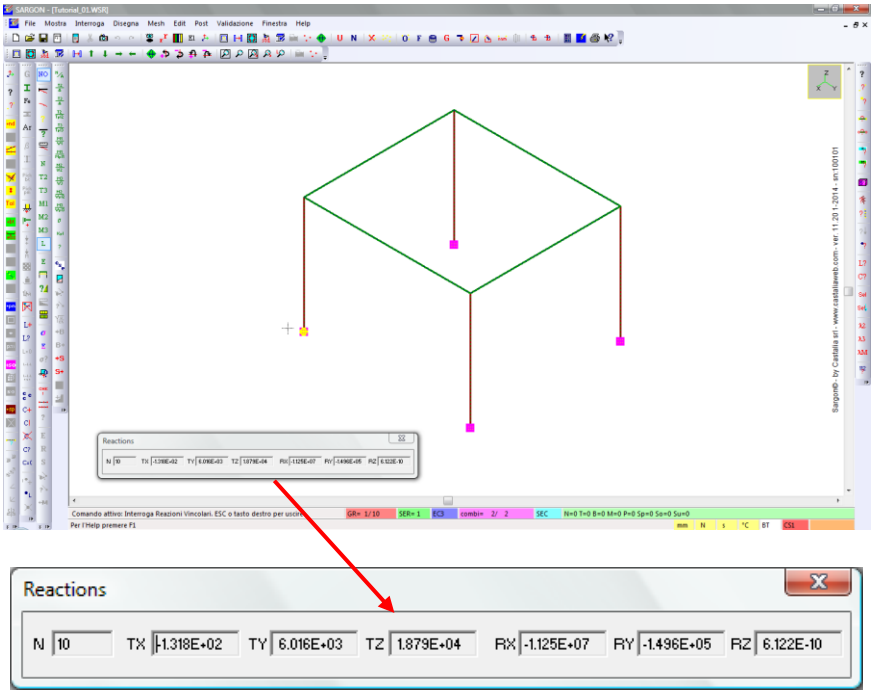
Con il comando **Interroga** possiamo conoscere i valori delle azioni interne in un elemento lungo il suo sviluppo. Dopo aver eseguito il comando, clicchiamo l'elemento desiderato. Scorrendo col mouse lungo lo sviluppo dell'elemento, vengono mostrate nel dialogo in sovrimpressione le 6 componenti delle azioni interne, riferite al numero dell'elemento corrente e alla posizione della sezione considerata lungo l'asse dell'elemento stesso.



Premendo due volte il *tasto destro* o *ESC* si ritorna alla scelta dell'elemento di cui interrogare le azioni interne, con un'ulteriore pressione di *tasto destro* o *ESC* si termina il comando.

Nota: per una trattazione più dettagliata dei comandi relativi ai diagrammi delle azioni interne e le relative opzioni, così come per la spiegazione degli sforzi e degli indicatori, si rimanda alla guida o alle lezioni. Si fa qui cenno alla possibilità di mostrare in una sola vista gli **inviluppi** di diagrammi, sforzi e indicatori, ossia i valori massimi e minimi assoluti al variare di tutte le combinazioni di verifica.

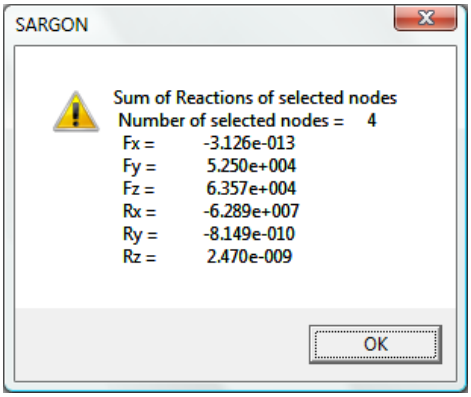
Eseguiamo ora il comando **Post – Reazioni Vincolari – Interroga**, quindi muoviamo il mouse in prossimità di un nodo alla base per conoscerne le reazioni vincolari.



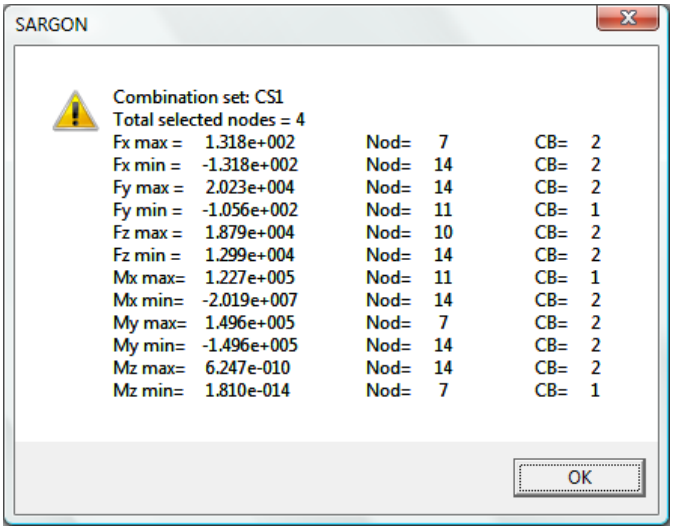
Spostandoci su un altro nodo, conosceremo le sue reazioni vincolari, sempre nel caso o nella combinazione corrente. Tasto destro o ESC per interrompere il comando.

Selezioniamo ora i 4 nodi alla base: **Edit – Seleziona – Oggetti**, click di *Nodi*, quindi **Edit – Seleziona – Click** e poi selezione manuale dei nodi vincolati.

A questo punto eseguiamo il comando **Post – Reazioni vincolari – Somma**: viene proposto un dialogo in cui sono date le risultati delle reazioni vincolari sui nodi selezionati, nel caso di carico o nella combinazione corrente.



Chiudiamo il dialogo ed eseguiamo **Post – Reazioni vincolari – Inviluppo dell'inviluppo**. Viene riportato un prospetto in cui per ogni reazione vincolare (3 forze e tre coppie, rispetto agli assi X, Y, Z globali) sono dati il valore massimo e il valore minimo riscontrati al variare delle combinazioni di verifica. Per ogni valore sono riportati il nodo e la combinazione in cui si ha quel valore.



PARTE 5: VERIFICHE AUTOMATICHE

In questo tutorial non eseguiremo le verifiche automatiche di resistenza e stabilità degli elementi finiti (beam e truss) in accordo alla normativa desiderata. Per questo aspetto si rimanda al tutorial dedicato. Forniamo di seguito una panoramica sui verificatori automatici disponibili in Sargon. Essi sono:

Acciao

- EC3 - NTC2008
- AISC-ASD ed LRFD
- BS5950
- CNR S.L.
- CNE T.A.
- CNR 10011 - 10022

Legno

- EC5 - NTC

In questa sede ci interessa **l'acciaio**, e in particolare il verificatore automatico in accordo all'Eurocodice 3 (EN-1993-1-8) e alle NTC2008, che sono coincidenti quasi esattamente. Laddove sono presenti delle differenze (ad esempio nella verifica di stabilità a pressoflessione deviata, in cui entrambe le Normative propongono due metodi di calcolo, ma solo uno è in comune) il verificatore di Sargon implementa tali differenze, lasciando all'utente la libertà di decidere quale metodo di quale norma usare.

Le verifiche di resistenza e di stabilità degli elementi aventi sezioni in **classe 1 e 2** sono svolte in modo **totalmente automatico** da Sargon.

Inoltre è possibile eseguire in modo semiautomatico le verifiche anche delle sezioni in **classe 3 e 4**, introducendo opportuni parametri di calcolo, ad esempio i valori efficaci per le sezioni in classe 4. Sargon dispone di strumenti che aiutano l'utente a calcolare i valori efficaci delle sezioni più comuni e, dal dicembre del 2013, implementa strumenti che **automatizzano** il calcolo.

Sul sito internet di Castalia (www.castaliaweb.com, nell'area dedicata alla *Validazione*) sono disponibili, oltre a quelle dei solutori, anche centinaia di schede di validazione dei verificatori, in particolare per Eurocodice 3, NTC2008 e AISC-LRFD.