

## K+#\$ **Novità**

### **Versione 3.3**

Spettri di risposta secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14-1-2008), nel seguito indicate con NTC.

### **Versione 3.1**


- Salvataggio deformata: menu *File – Save Deform*
- Creazione carichi statici equivalenti all'analisi a spettro di risposta. Vedi Tutorial-Esempio 4
- Verifica di stabilità mediante analisi del secondo ordine: menu *Peek - Instab*

### **Versione 2.3**

- Groups: menu *Global – Groups*

Funzionalità utile per visualizzare gli elementi per gruppi.

### **Versione 2.0**

- Variazioni termiche: menu *Attributes – Beam - Temperature*
- Accelerazioni: sono ora diverse per le varie condizioni di carico
- Undo: la funzione è ora accessibile anche dal pulsante  della barra degli strumenti
- Delete: dal menu *File* è possibile cancellare tutti i files Nome.\*

I files dei dati delle versioni precedenti sono compatibili.

## **K+#\$ DESCRIZIONE DEL PROGRAMMA**

Il programma **Telaio2D** è un solutore agli elementi finiti per l'analisi di telai piani composti da elementi beam e truss.

Sono implementate le seguenti analisi:

Menu *Solve* (solutore interno)

- Analisi statica lineare
- Analisi statica del secondo ordine
- Analisi di buckling
- Calcolo delle frequenze naturali
- Analisi a spettro di risposta

Menu *Drain Solver* (solutore Drain2-Dx)

- Analisi statica lineare
- Analisi statica non lineare
- Analisi pushover
- Analisi dinamica lineare
- Analisi dinamica non lineare

Tutti i comandi sono in inglese come nella maggior parte dei programmi commerciali.

L'interfaccia è simile a quella del programma Straus7, in uso presso il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Brescia, allo scopo di facilitare gli studenti nel passaggio all'impiego del codice di calcolo più completo.

Telaio2D implementa una interfaccia per il programma DRAIN:

<http://nisee.berkeley.edu/software/drain2dx/>

sviluppato dall'Università di Berkeley (California), che permette di eseguire analisi non lineari sia in campo statico che dinamico.

**Attenzione! Non usare nè cancellare la sottodirectory Drain.**

**L'aiuto sensibile al contesto è accessibile con il tasto F1.**

---

<sup>K</sup> Descrizione; Programma; Drain

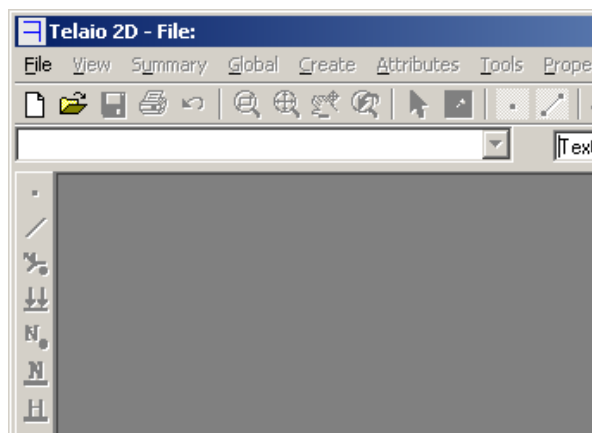
<sup>+</sup> auto



<sup>#</sup> IDH\_010

<sup>\$</sup> Presentazione del programma

## K+#\$ **PER COMINCIARE...**

All'avvio del programma la videata si presenta nel modo seguente:




Premere il pulsante di *File New*  oppure il pulsante *File Open*  per inserire un nuovo telaio o per aprirne uno esistente.


## K+#\$ **Menu FILE**

- *New*
- *Open*
- *Save*
- *Save as...*
- *Save Deform*
- *Delete*
- *Print*
- *Output file (TXT)*
- *Exit*


### *New*

Inizializza il programma per un nuovo telaio. Il comando è accessibile anche premendo **CTRL+N** oppure cliccando il pulsante  della barra degli strumenti.

### *Open*

Apri il file di un telaio esistente (estensione .t2d). In alternativa premere **CTRL+F12** oppure cliccare sul pulsante .

### *Save*

Salva i dati correnti sovrascrivendo il file in uso. Il comando è accessibile anche premendo **MAIUSC+F12** oppure cliccando il pulsante . Salvare spesso i dati durante la creazione del modello per poter ripristinare lo stato precedente nel caso di comandi errati. **In questa versione del programma non è implementata la funzione di “undo”.**

### *Save as...*

Salva i dati correnti in un nuovo file.


### *Save Deform*

Salva la struttura deformata applicando la scala delle deformazioni impostata.

### *Delete*

Cancella tutti i files con il nome in uso.

### *Print*

Stampa il modello della struttura. Il comando è accessibile anche premendo **MAIUSC+CTRL+F12**, cliccando il pulsante  o dal menu *Plot*. Si consiglia comunque di eseguire la stampa dopo aver editato la grafica in Autocad (menu *Plot, Draw in Autocad*) .

### *Output File (TXT)*

Funzione non ancora implementata.


*Exit*

Chiude il programma.

## **K+#\$ Menu VIEW**

- *Redraw*
- *White BackColor*
- *Solid Elements*

### *Redraw*

Rigenera il disegno della struttura, eliminando eventuali imperfezioni grafiche e centrando il modello nell'area di lavoro. Accesso rapido *F3* .

Vedi anche [Zoom](#)

### *Change BackColor*

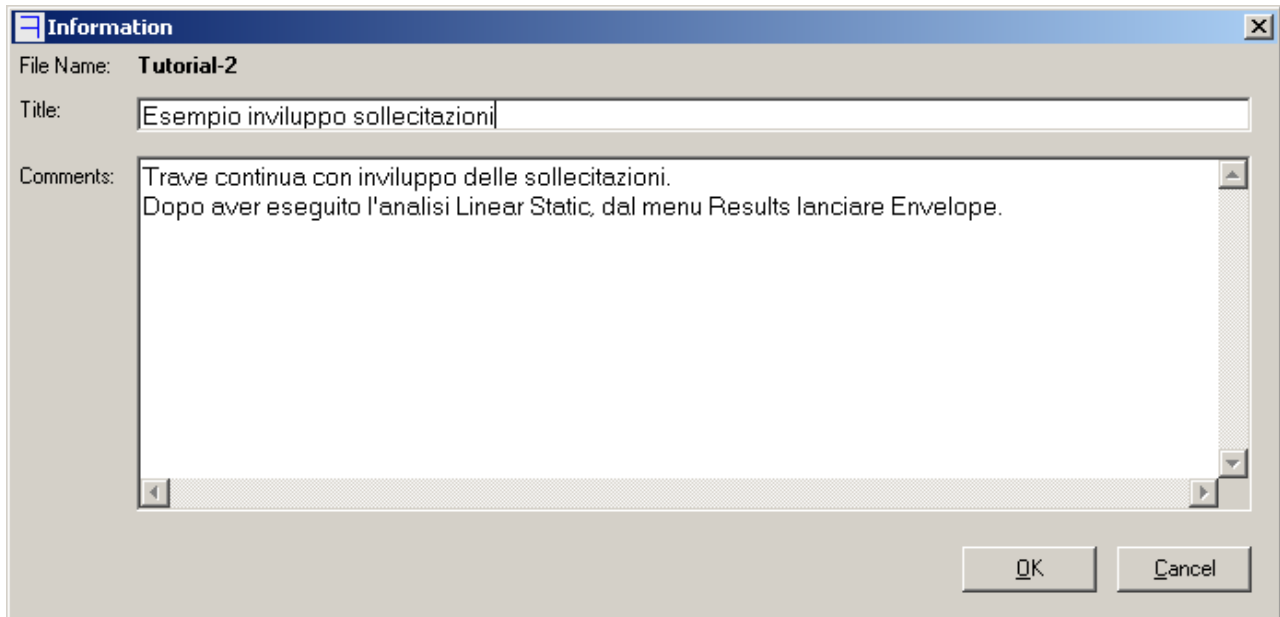
Commuta il colore di sfondo tra nero, bianco e grigio.

### *Solid Elements*

Visualizza le dimensioni trasversali degli elementi.

## K+#\$ Menu SUMMARY

Contiene il comando *Information* che apre la finestra seguente:



Nel campo *Title* è possibile inserire il titolo del lavoro mentre nel campo *Comments* è possibile aggiungere un numero indefinito di righe di commento.

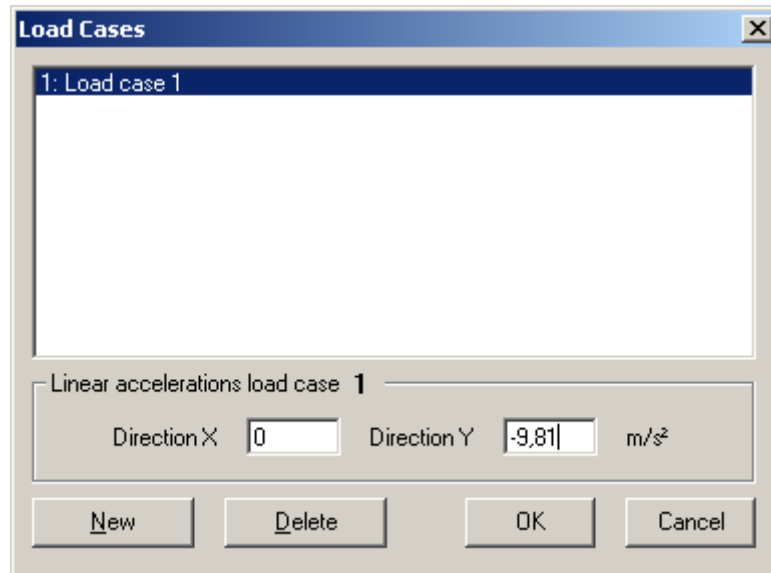
---

K Summary;Title;Information  
+ auto  
# IDH\_050  
\$ Menu Summary

## <sup>K+#\$</sup> Menu GLOBAL

- *Load Cases*
- *Units*
- *Groups*

*Load Cases* apre la form seguente:



Il pulsante *New* crea in ordine progressivo nuovi casi di carico. Per default viene proposto il nome “i: *Load case i*”. Il nome può essere modificato facendo doppio click su di esso.

*Delete* cancella il caso di carico selezionato. *OK* conferma le modifiche effettuate. *Cancel* permette di uscire senza apportare alcuna modifica.

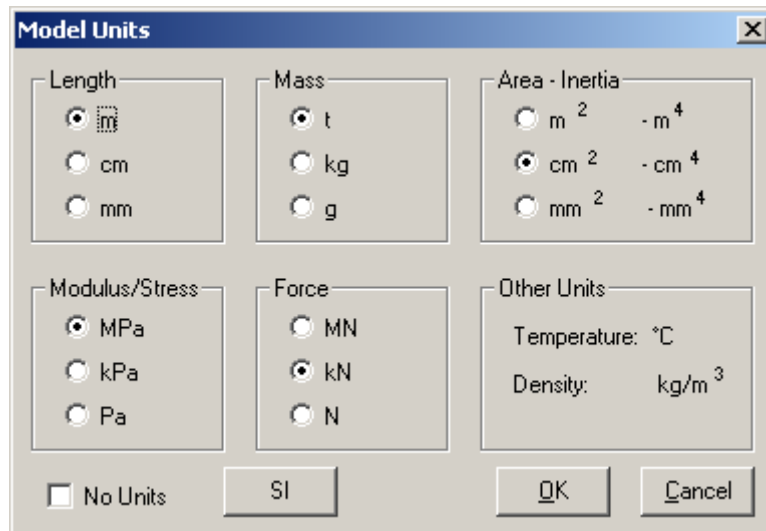
Le accelerazioni (*Linear accelerations*) in direzione X e Y vengono applicate alle masse eventualmente presenti (masse concentrate o derivanti dalla densità degli elementi) nella condizione di carico selezionata. Pertanto i **pesi propri vengono considerati solo se le accelerazioni** (normalmente  $-9,81$  in direzione Y) sono **diverse da 0**.

*Units* apre la form seguente:

---

<sup>K</sup> Area-Inertia;Global;Load Case;Length;Mass;Modulus;Force;Linear Acceleration; Units;  
Temperatura; Accelerazioni; Pesì propri; Groups; Gruppi;  
<sup>+</sup> auto  
<sup>#</sup> IDH\_060  
<sup>\$</sup> Menu Global





L'immagine presenta le unità di misura di default. Il pulsante *SI* imposta le unità di misura del Sistema Internazionale. Le unità di misura possono essere variate in qualsiasi momento per modificare la visualizzazione dei dati. Il programma comunque salva i dati con le unità di misura SI.

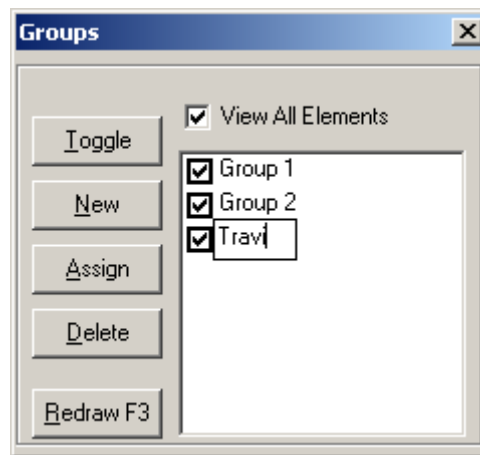
Non è possibile modificare le unità di misura della temperatura (che per ora non è implementata nel programma) e della densità che sono fissate rispettivamente in gradi Celsius e  $\text{Kg/m}^3$ .

La selezione della voce *No Units* lascia all'utente la completa libertà nella scelta delle unità di misura che comunque devono essere tra loro congruenti.

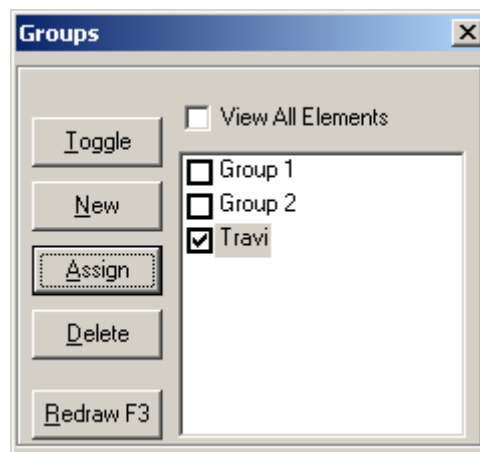
### Groups

## K+#\$ Groups

Questa funzionalità consente di definire gruppi di elementi da visualizzare.



Cliccare sul pulsante *New* per aggiungere gruppi. Cliccare sul nome per editarlo. Selezionare gli elementi sul modello e cliccare sul pulsante *Assign* per assegnarli al gruppo.



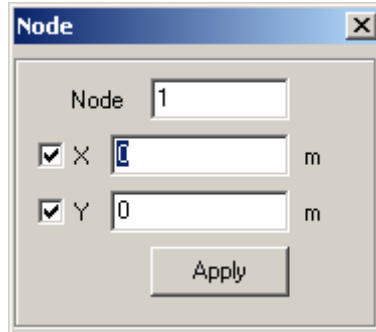
Per visualizzare solo gli elementi assegnati al gruppo, deselegnare gli altri gruppi e la casella *View All Elements* e premere il pulsante *Redraw* o il tasto *F3*. Nell'esempio di figura verranno visualizzati solo gli elementi assegnati al gruppo *Travi*.

Il pulsante *Toggle* inverte la selezione del gruppo.

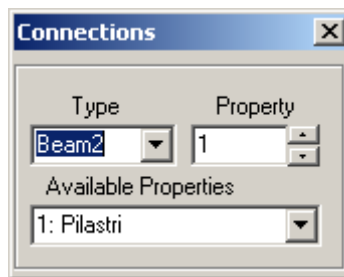
Il pulsante *Delete* elimina il gruppo.

## K+#\$ Menu CREATE

- *Node*
- *Element*



*Node* permette di inserire le coordinate dei nodi della struttura. Si può passare da un campo all'altro col tasto *Invio*. Si può scegliere di modificare solo la coordinata in una direzione deselegionando la casella di controllo dell'altra direzione.



*Element* permette di definire le aste della struttura. Per inserire l'asta cliccare sul nodo iniziale e sul nodo finale.

*Type* specifica il tipo di elemento (attualmente è implementato solo l'elemento trave 2D).

*Property* specifica il numero della proprietà (v. menu *Property*).

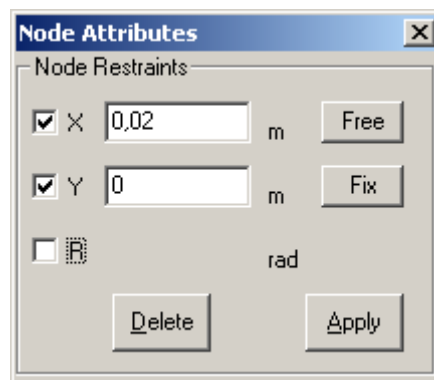
*Available Properties* mostra i nomi delle proprietà già inserite. Non è necessario che la proprietà sia già stata inserita.

## K+#\$ Menu ATTRIBUTES

- Node
  - Restraint
  - Force – Moment
  - Translational Mass
- Beam
  - Property Type
  - End Release
  - Distributed Loads
  - Temperature

N.B. Se si tiene premuto il tasto Control mentre si clicca su un oggetto (nodo o elemento), gli attributi dell'oggetto vengono inseriti nelle caselle corrispondenti e l'oggetto viene evidenziato.

*Node - Restraint* (vincoli):



Si assegnano gli spostamenti in direzione X e Y e le rotazioni R. Nell'esempio di figura verrà assegnato uno spostamento di 0,02 m secondo X, verranno bloccati gli spostamenti secondo Y mentre rimarranno libere le rotazioni. Selezionare i nodi cliccando su di essi o trascinando una finestra che li comprenda (vedi Selezione). I nodi selezionati saranno evidenziati con colore magenta.

Cliccare su *Apply* per applicare i vincoli o su *Delete* per eliminarli.

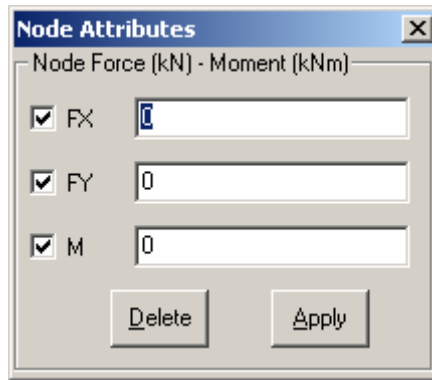
I vincoli sono rappresentati graficamente con segmenti di color magenta diretti come gli assi (a 45° per le rotazioni) o con una freccia se gli spostamenti sono diversi da 0.

*Free e Fix* equivalgono a deselezionare o selezionare tutti e tre i gradi di vincolo.

*Node - Force - Moment*:

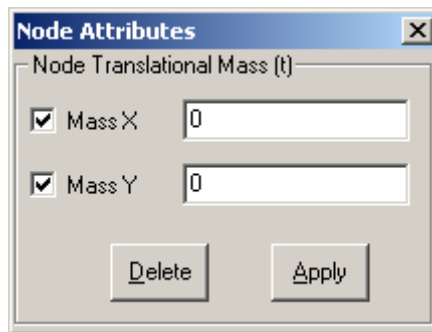
---

<sup>K</sup> Attributes;Attribute node;Attribute beam;Restrains;Svincoli;End Release; Release; Temperatura; Variazioni termiche;Vincoli;  
<sup>+</sup> auto  
<sup>#</sup> IDH\_080  
<sup>\$</sup> Menu Attributes



I valori vengono applicati ai nodi come illustrato per il menu *Node - Restraint*. Se si deseleziona la casella di controllo, il corrispondente valore non verrà modificato. Le forze vengono rappresentate con vettori in scala relativa.

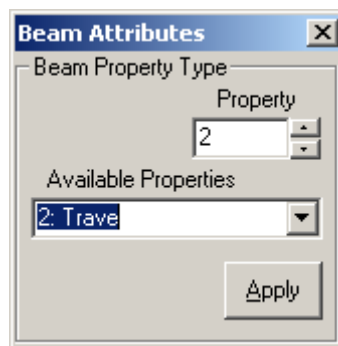
*Node - Translational Mass:*



I valori vengono applicati ai nodi come illustrato per il menu precedente. Le masse sono rappresentate con cerchi blu in scala relativa.

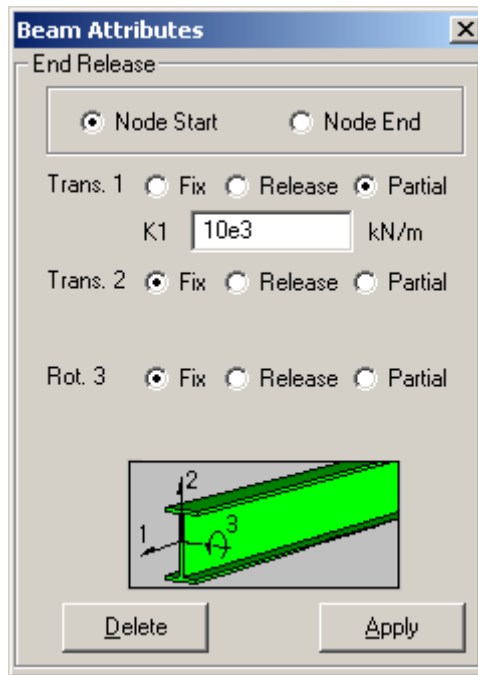
Si ricorda che **l'effetto delle masse nelle analisi statiche viene considerato se le accelerazioni sono diverse da 0** (v. menu *Global - Load Cases*).

*Beam - Property Type:*



Assegna un numero di proprietà agli elementi selezionati.

*Beam - End Release* (svincoli di estremità):

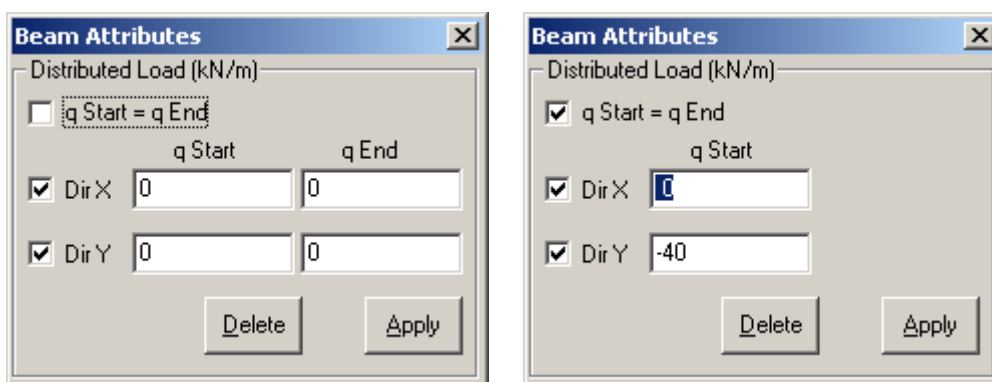


Permette di inserire svincoli interni secondo le tre direzioni locali dell'elemento illustrate nello schema. Scegliere su quale estremità della trave agire: nodo iniziale (*Node Start*) o nodo finale (*Node End*). *Node Start* è il primo nodo selezionato nella creazione dell'elemento. *Fix* vincola, *Release* libera, *Partial* inserisce una molla con rigidità da indicare nella casella sottostante. *Delete* elimina lo svincolo.

Nell'esempio di figura viene applicata al nodo start una molla assiale con rigidità di 10000 kN/m .

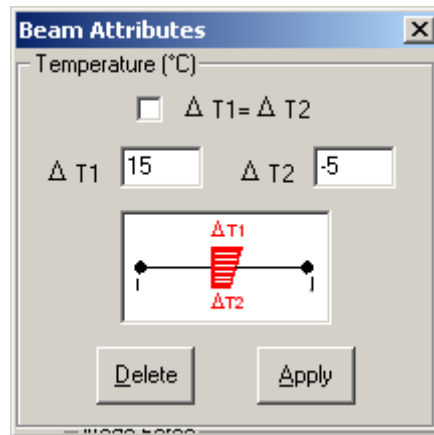
Gli svincoli non vanno applicati agli elementi di tipo Truss (messaggio di avvertimento).  
 Gli svincoli vengono visualizzati col colore ciano.

*Beam - Distributed Loads:*



Permette di inserire un carico distribuito trapezio. Se si tiene premuto il tasto Control mentre si clicca su un elemento, vengono inseriti i valori del carico di quell'elemento.

*Beam - Temperature:*



Permette di assegnare una variazione termica agli elementi selezionati per la condizione di carico corrente.



Nella figura la variazione termica di  $+15\text{ °C}$  all'estradosso e di  $-5\text{ °C}$  all'intradosso è applicata agli elementi 1 e 2. Si noti che nell'elemento 2, orientato dal nodo 2 al nodo 3, l'estradosso è il lembo inferiore. Per cambiare orientamento usare il comando Tools-Reverse Beams. L'applicazione di questo carico termico determina un allungamento degli assi delle aste soggetti alla variazione termica  $\Delta T = (15-5)/2 = 10\text{ °C}$ .

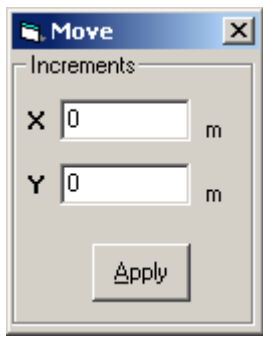
Poichè l'effetto della variazione termica non uniforme dipende dall'altezza della sezione, è necessario definirne la geometria (menu Property scheda Geometry).

Vedere anche Selezione

## **K+#\$ Menu TOOLS**

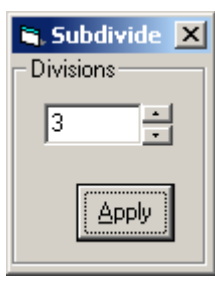
- *Move*
- *Subdivide*
- *Copy*
- *Reverse Beams*
- *Purge Mesh*
- *Undo* (CTRL+Z)

*Move:*



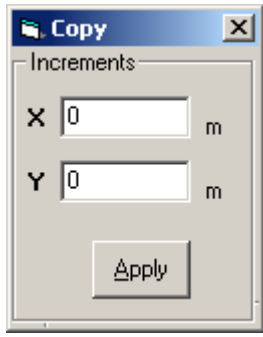
Sposta i nodi e le aste selezionate applicando gli incrementi assegnati in direzione X e Y.

*Subdivide:*



Suddivide gli elementi selezionati nel numero indicato.

*Copy:*



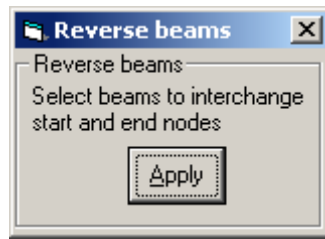
Copia i nodi e gli elementi selezionati con gli incrementi assegnati in direzione X e Y.

---

<sup>K</sup> Move;Subdivide;Copy;Purge Mesh;Reverse Beams;Tools;Undo;Ripristina  
<sup>+</sup> auto  
<sup>#</sup> IDH\_090  
<sup>\$</sup> Menu Tools



*Reverse Beams:*




Scambia il nodo iniziale e finale degli elementi selezionati.

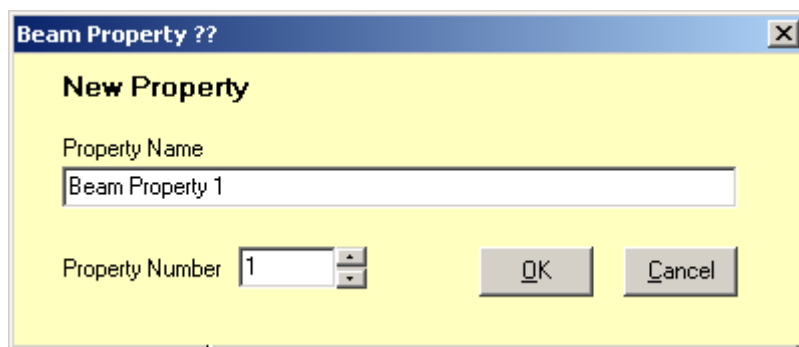
*Purge Mesh:*

Elimina eventuali nodi o elementi sovrapposti.

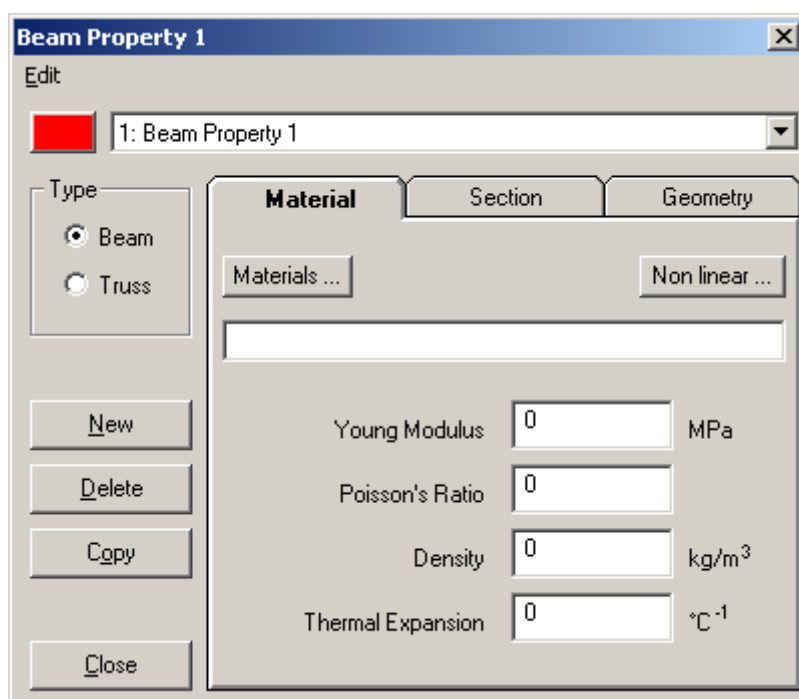
*Undo* (CTRL+Z) 

Ripristina la mesh precedente se si vuole annullare l'ultimo comando eseguito. Il ripristino è possibile quando il pulsante  è abilitato.

## K+#\$ Menu PROPERTY



Questa finestra appare quando si vuole inserire una nuova proprietà. Inserire il nome della proprietà ed eventualmente cambiarne il numero.



Il menu *Edit* permette di cambiare il nome della proprietà.

La casella combinata permette di scegliere la proprietà su cui operare. Il colore è quello che viene utilizzato nel disegno del modello.

*New* crea una nuova proprietà, *Delete* cancella la proprietà corrente, *Copy* copia i dati di una proprietà già inserita nella proprietà corrente, *Close* chiude la finestra di dialogo.

Selezionare il tipo (*Beam* o *Truss*).

Nella scheda *Material* è possibile definire le caratteristiche del materiale inserendole manualmente o caricandole dall'archivio tramite il pulsante *Materials...*

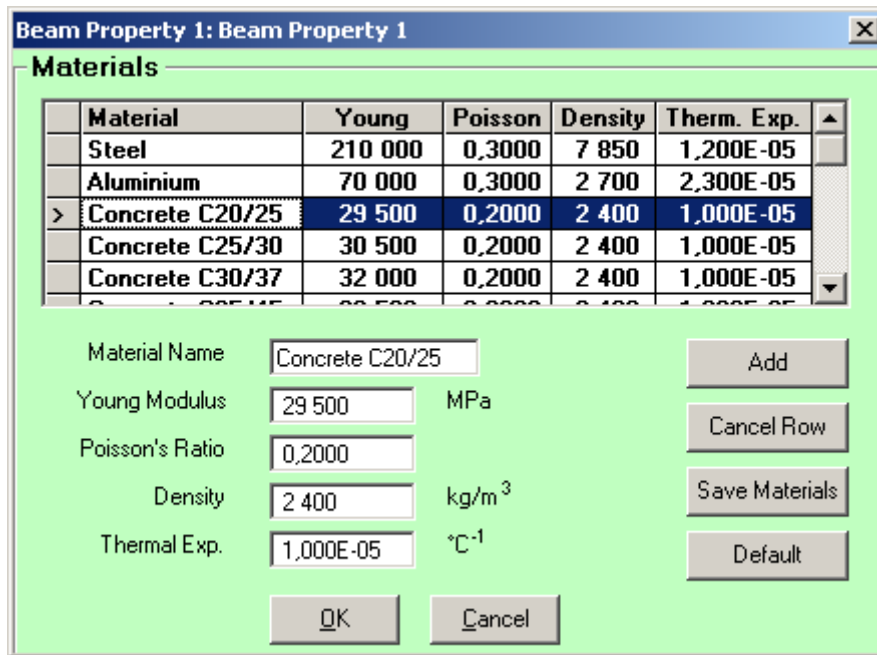
---

<sup>K</sup> Property;Section;Geometry

+ auto

# IDH\_100

\$ Menu Property



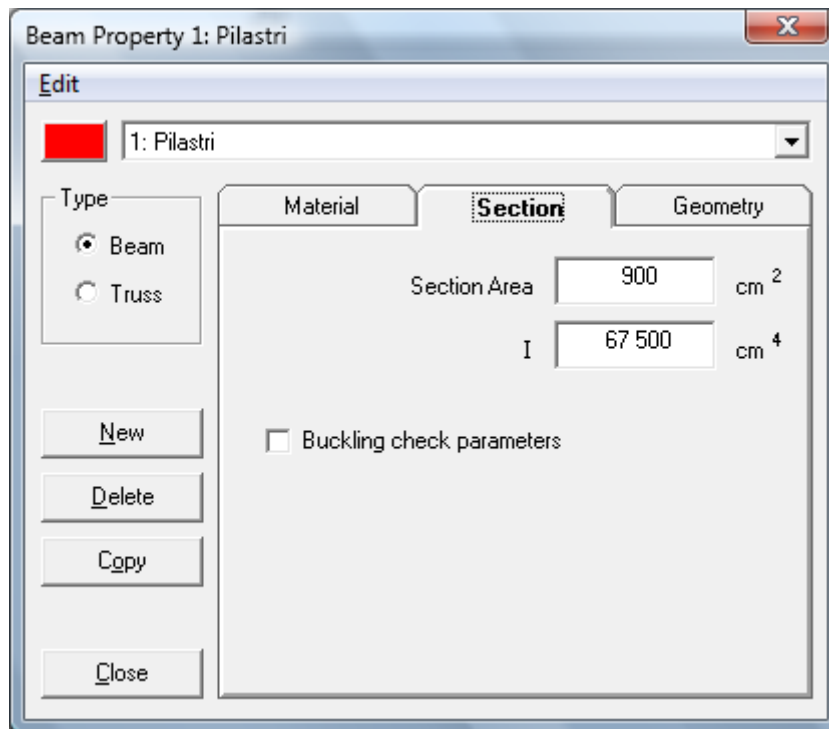
Selezionare il materiale cliccando sulla riga corrispondente e premere *OK* per tornare alla scheda *Material*. *Add* permette di inserire un nuovo materiale; *Cancel Row* elimina la riga selezionata; *Save Materials* salva i materiali elencati nel file Telaio2DMateriali.txt; *Default* carica i materiali predefiniti.

**N.B.** Il programma usa solo il modulo di Young e la densità (se viene impostata un'accelerazione nel menu *Global-Load Cases*) e il coefficiente di dilatazione termica. Il modulo di Poisson non viene usato perchè si trascura la deformabilità a taglio

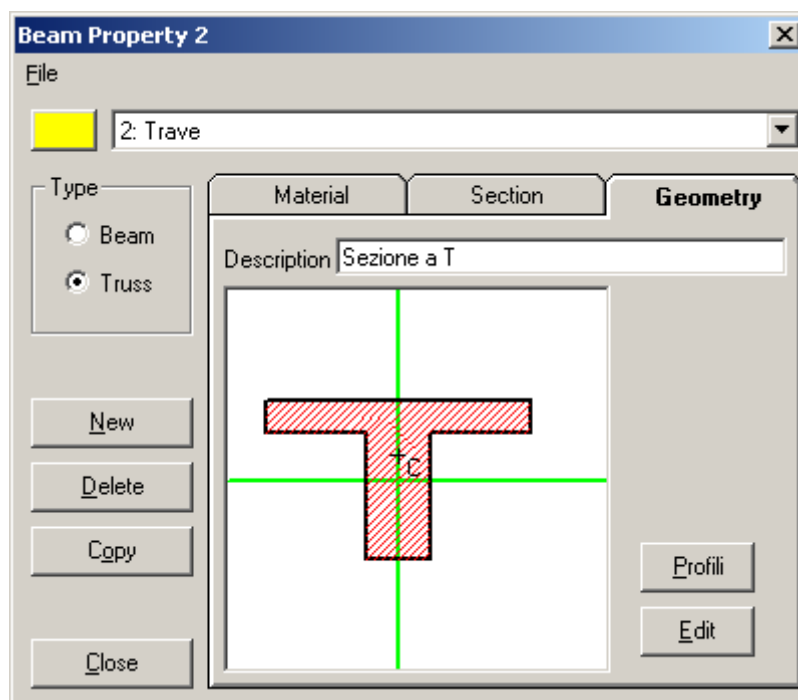
Il pulsante *Non Linear...* permette di accedere alla scheda delle caratteristiche non lineari del materiale (vedi menu *Property Non linear ...*).

Nella scheda *Section* vengono riportate le proprietà meccaniche della sezione (area e momento di inerzia), che possono essere introdotte manualmente o calcolate dal programma (scheda *Geometry*).

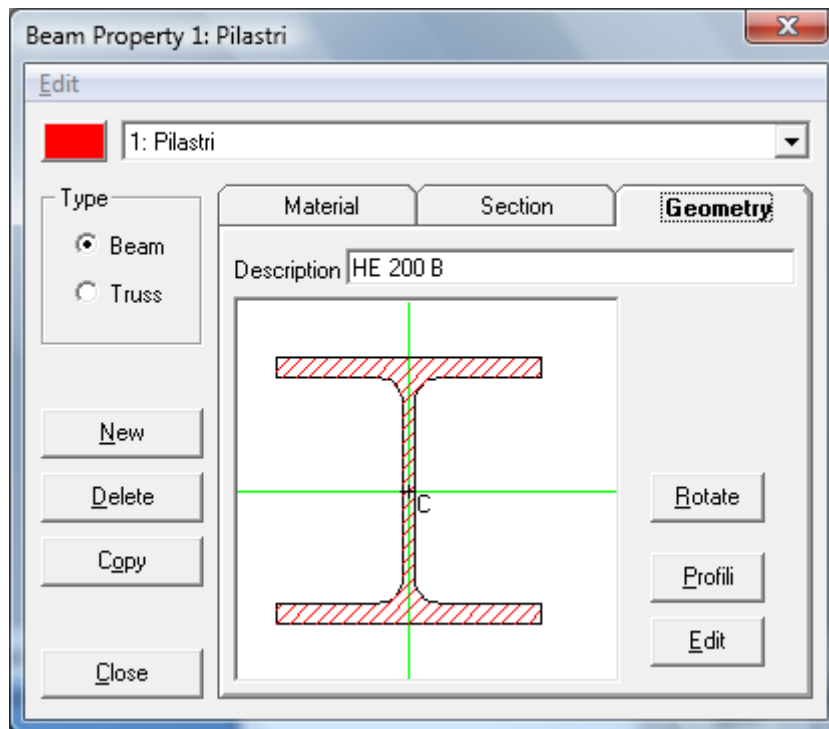
Selezionare l'opzione *Buckling check parameters* se si vogliono eseguire verifiche di stabilità (solo per strutture in acciaio) come illustrato nel [Tutorial-Esempio 1](#)



Nella scheda *Geometry* è possibile inserire una breve descrizione della sezione.

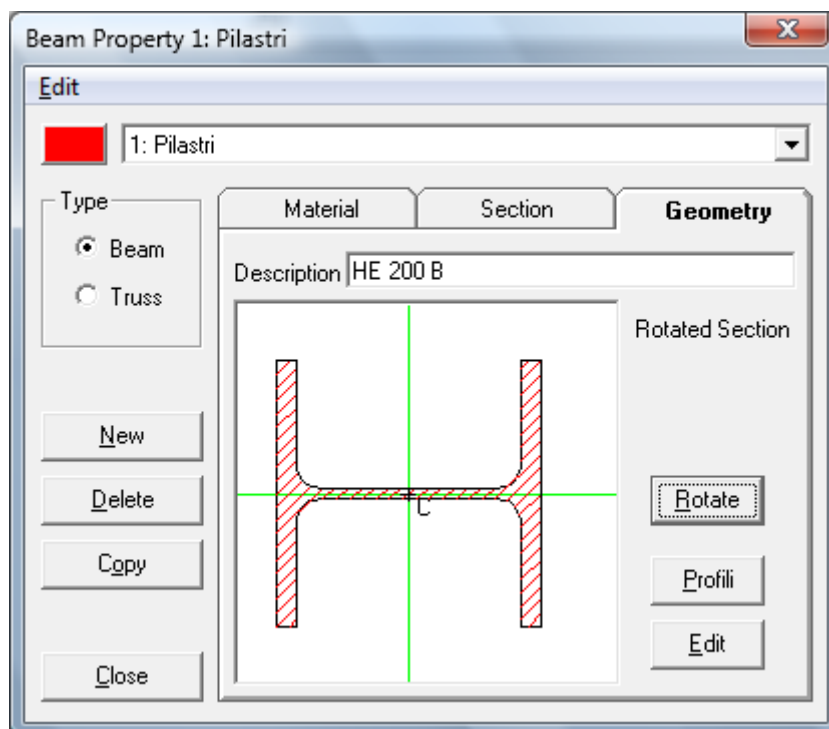


Pulsante *Profili*:



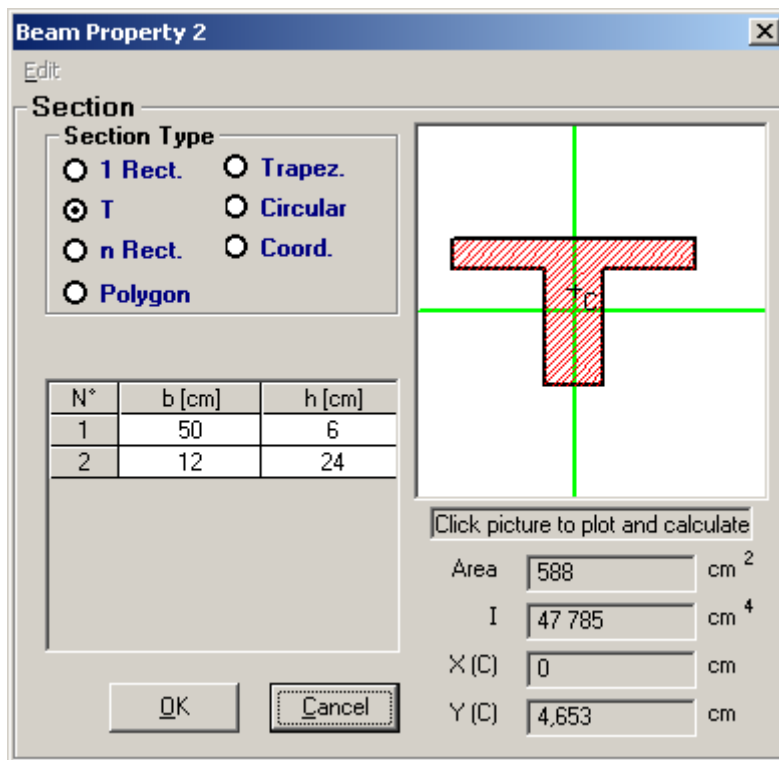
Aprire il programma Profili (è necessaria la versione 6.2 o successiva che può essere scaricata dall'indirizzo: <http://civserv.ing.unibs.it/utenti/gelfi/software/Profili.htm>).  
Il dati del profilo selezionato vengono inseriti automaticamente in Telaio2D.

Pulsante *Rotate*:



Ruota la sezione selezionata da profili.

Pulsante *Edit*



Selezionare il tipo di sezione, inserire i dati e cliccare sullo schema per plottare la sezione e calcolarne le caratteristiche statiche. X(C) e Y(C) sono le coordinate del baricentro calcolate rispetto agli assi (indicati in verde) passanti per il centro della sezione (punto a metà altezza e metà larghezza).

Le caratteristiche statiche vengono copiate automaticamente nella scheda *Section*, nella quale possono comunque essere successivamente cambiate.

## K+#\$ Menu PROPERTY Non linear ...

### Elemento Truss

In Telaio2D è implementato l'elemento TYPE01 di DRAIN-2DX. E' un elemento a comportamento non lineare con sola rigidità assiale per la modellazione di bielle, colonne incernierate agli estremi, molle estensionali.

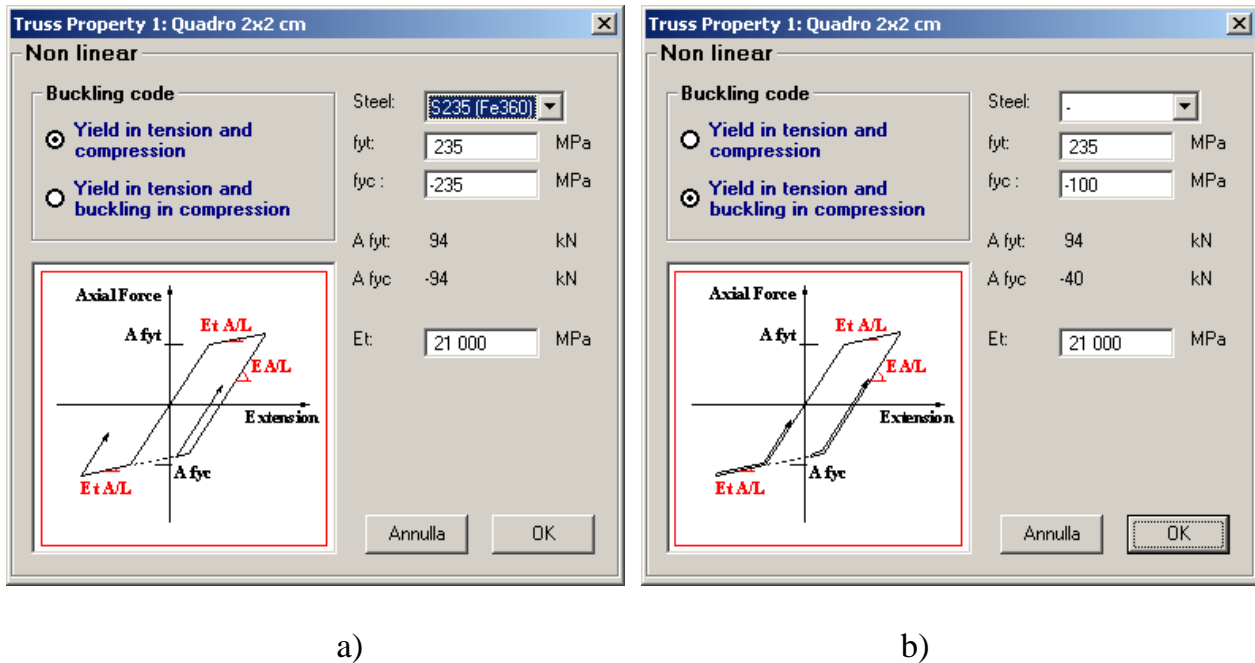


Fig. 1

*Buckling code* definisce il tipo di comportamento non lineare dell'elemento truss.

La scelta del tipo di acciaio tramite la casella a discesa aggiorna automaticamente i valori delle tensioni e delle azioni assiali di snervamento (+ trazione). I valori delle tensioni di snervamento possono comunque essere introdotti direttamente (Fig. 1 b).

Et è il modulo elastico di incrudimento che deve essere  $\geq 0$  e  $< E$ .

### Elemento Beam

In Telaio2D è implementato l'elemento TYPE02 di DRAIN-2DX. E' un elemento a comportamento non lineare per la modellazione di travi e colonne in acciaio e cemento armato.

L'elemento è costituito da un tratto centrale flessionalmente indefinitamente elastico, da due cerniere rigido-plastiche alle estremità e da due zone rigide d'estremità opzionali (Fig. 2).

---

K Property Non linear;Et;Buckling code; Yield surface shape  
+ auto  
# IDH\_105  
\$ Menu Property Non linear

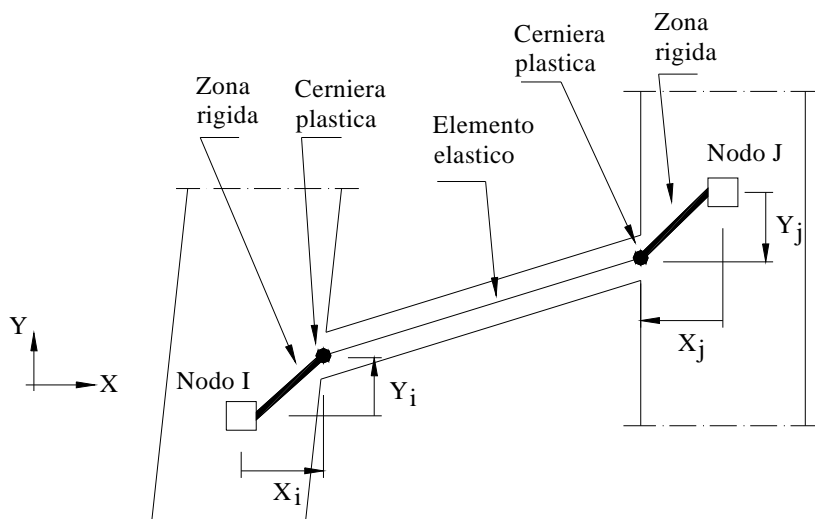


Fig. 2

La non linearità è localizzata solo nelle cerniere plastiche di estremità. I valori dei momenti di snervamento delle cerniere possono essere diversi per momento positivo o negativo. L'interazione M-N è definita tramite i tre tipi di superfici di snervamento (*Yield surface shape*) di Fig. 3.

**Beam Property 4: Travi**

**Non linear**

**Yield surface shape**

- No M-N interaction
- Steel I-T beam type
- Reinforced concrete

Steel: S275 (Fe430)

$f_y$ : 275 MPa

$W_{pl,y}$ : 0,0006284 m<sup>4</sup>

$M_{y+}$ : 172,8 kNm

$M_{y-}$ : -172,8 kNm

Et (hardening E): 0 MPa

**Rigid End Zone**

$X_i$ : 0 m

$X_j$ : 0 m

$Y_i$ : 0 m

$Y_j$ : 0 m

Buttons: Annulla, OK

**Beam Property 1: Colonna HE360B**

**Non linear**

**Yield surface shape**

- No M-N interaction
- Steel I-T beam type
- Reinforced concrete

Steel: S275 (Fe430)

$f_y$ : 275 MPa

$W_{pl,y}$ : 0,002683 m<sup>4</sup>

$M_{y+}$ : 737,8 kNm

$M_{y-}$ : -737,8 kNm

$N_{yc}$ : -3902 kN

$N_{yt}$ : 4 967 kN

$M/M_{y+}$  (for A): 1 EC3

$N/N_{yc}$  (for A): 0,099

$M/M_{y-}$  (for B): 1

$N/N_{yc}$  (for B): 0,099

Et (hardening E): 0 MPa

**Rigid End Zone**

$X_i$ : 0 m

$X_j$ : 0 m

$Y_i$ : 0 m

$Y_j$ : 0 m

Buttons: Annulla, OK

a)

b)

Fig. 3

La scelta del tipo di acciaio tramite la casella a discesa aggiorna automaticamente i valori della tensioni, dei momenti e delle azioni assiali di snervamento (+ trazione). Tutti i valori delle caselle di testo possono comunque essere introdotti direttamente.



Il tasto *Preview* presenta un'anteprima del diagramma di interazione e il tasto *Enlarge* attiva una finestra per la rappresentazione del dominio in modo più completo. Per il primo tipo di superficie di snervamento il tasto *Enlarge* non è attivo, essendo il diagramma poco significativo.

Un gruppo di quattro caselle consente di introdurre i valori che definiscono le zone rigide d'estremità (opzionali).

**Il primo tipo di superficie di snervamento** (Fig. 3 a) è tipico delle travi, nelle quali l'influenza del carico assiale è trascurabile.

**Il secondo tipo di superficie di snervamento** (Fig. 3 b) è tipico delle colonne in acciaio. I punti intermedi del dominio vengono definiti dai valori delle quattro caselle di testo che contengono i rapporti  $M/M_{y+}$ ,  $N/N_{yc}$  per il punto A e  $M/M_{y-}$ ,  $N/N_{yc}$  per il punto B. Per i punti C e D i rapporti  $M/M_{y+}$  e  $M/M_{y-}$  sono uguali a quelli per i punti A e B, mentre i rapporti  $N/N_{yt}$  sono uguali ai rapporti  $N/N_{yc}$ .

Il pulsante *EC3* consente di definire automaticamente i punti intermedi del dominio secondo le indicazioni dell'Eurocodice 3 edizione 1992 (UNI ENV 1993-1-1 [§ 5.4.8.1(6)]) relative alla resistenza delle sezioni soggette a flessione e forza assiale. Per i profilati laminati di comune impiego ad I o H il valore del momento resistente plastico per flessione attorno all'asse y-y in presenza di forza assiale è approssimabile con la relazione:

$$M_{Ny,Rd} = 1,11 \cdot M_{pl,y,Rd} \cdot \left( 1 - \frac{N_{Sd}}{N_{pl,Rd}} \right) \text{ con la limitazione } M_{Ny,Rd} \leq M_{pl,y,Rd}$$

mentre per la flessione attorno all'asse z-z si ha:

$$\text{per } \frac{N_{Sd}}{N_{pl,Rd}} \leq 0,2: \quad M_{Nz,Rd} = M_{pl,z,Rd}$$

$$\text{per } \frac{N_{Sd}}{N_{pl,Rd}} > 0,2: \quad M_{Nz,Rd} = 1,56 \cdot M_{pl,z,Rd} \cdot \left( 1 - \frac{N_{Sd}}{N_{pl,Rd}} \right) \cdot \left( \frac{N_{Sd}}{N_{pl,Rd}} + 0,6 \right)$$

Per flessione attorno all'asse y-y il dominio è una spezzata con un solo punto intermedio, che è descritta esattamente dai punti ABCD, mentre per flessione attorno all'asse z-z il dominio è una curva di secondo grado. In questo caso i punti ABCD sono scelti assumendo  $N/N_{yc}=0,5$  e il tasto *Enlarge* mostra a tratteggio la curva dell'Eurocodice 3.

Per le sezioni introdotte col pulsante *Edit*, l'opzione *EC3* è implementata solo per sezione rettangolare (messaggio di avviso) con la formula dell'Eurocodice 3:

$$\frac{M_{Sd}}{M_{pl,Rd}} + \left( \frac{N_{Sd}}{N_{pl,Rd}} \right)^2 \leq 1$$

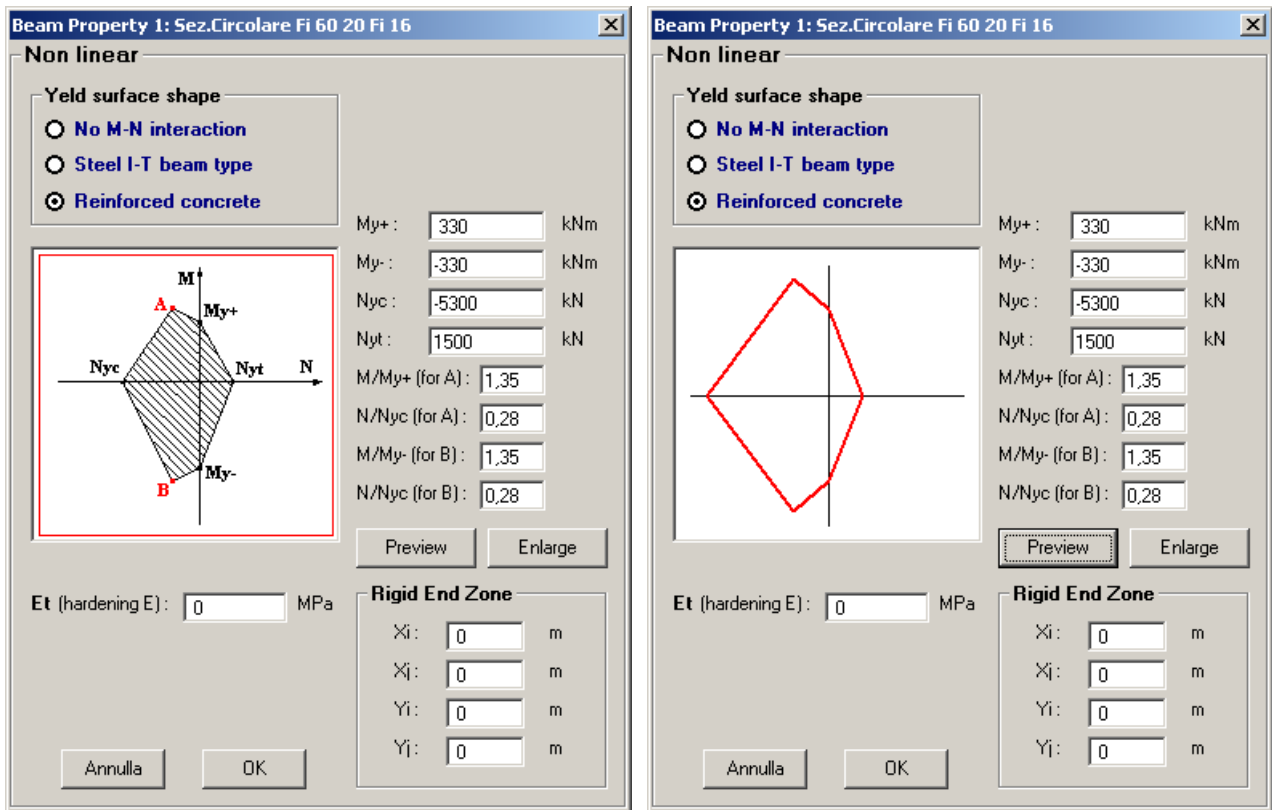


Fig. 4

**Il terzo tipo di superficie di snervamento (Fig. 4) è tipico dei pilastri in cemento armato.**

## **K+#\$ Menu SOLVE**

Il menu *Solve* lancia le analisi del solutore interno:

- *Linear Static*
- *Linear Buckling*
- *Second Order Static*
- *Natural Frequency*
- *Spectral Response*
- *Combine Spectral+Static*

### *Linear Static*

Analisi statica lineare. Vedi [Tutorial-Esempio 1](#) e [Esempio 2](#).

### *Linear Buckling*

Analisi di buckling (ricerca del moltiplicatore critico delle azioni assiali). Deve essere preceduta dall'analisi *Linear Static* per il calcolo delle azioni assiali.

Vedi [Tutorial-Esempio 3](#)

### *Second Order Static*

Analisi del secondo ordine. Deve essere preceduta dall'analisi *Linear Static* per il calcolo delle azioni assiali. Vedi [Tutorial-Esempio 3](#)

### *Natural Frequency*

Calcolo delle frequenze naturali della struttura. Vedi [Tutorial-Esempio 4](#)

### *Spectral Response*

Analisi con spettro di risposta. Deve essere preceduta dall'analisi *Natural Frequency* per il calcolo delle frequenze proprie. Vedi [Tutorial-Esempio 4](#)

### *Combine Spectral+Static*

Combina le sollecitazioni dell'analisi *Linear Static* e dell'analisi *Spectral Response*. Vedi [Tutorial-Esempio 4](#)

---

<sup>K</sup> Solve;Linear Static;Linear Buckling;Second Order Static;Natural Frequency;Spectral Response;Combine Spectral+Static  
<sup>+</sup> auto  
<sup>#</sup> IDH\_110  
<sup>\$</sup> Menu Solve

## <sup>K+#\$</sup> Menu DRAIN SOLVER

Il menu *Drain Solver* lancia il solutore esterno DRAIN-2DX per le seguenti analisi:

- *Linear Static*
- *Non Linear Static*            vedi Tutorial [Esempio 5](#) ed [Esempio 6](#)
- *PushOver*                        vedi Tutorial [Esempio 7](#)
- *Linear Dynamic*                vedi Tutorial [Esempio 8](#)
- *Non Linear Dynamic*        vedi Tutorial [Esempio 9](#)

*Linear Static* esegue un'analisi statica lineare tramite Drain su un'unica condizione di carico. I risultati sono praticamente coincidenti con quelli del solutore interno (Menu *Solve*). Non sono però ammessi svincoli interni o deformazioni impresse e il modello deve avere almeno un grado di libertà libero.

---

<sup>K</sup> Drain Solver; Linear Static; Non Linear Static; Pushover; Linear Dynamic; Non Linear Dynamic;  
<sup>+</sup> auto  
<sup>#</sup> IDH\_120  
<sup>\$</sup> Menu Drain Solver

## K+#\$ Menu RESULTS

- *Open Result File*
- *Delete Results Files*
- *Envelope*

### *Open Result File*

Carica i risultati di un'analisi precedentemente eseguita. I files dei risultati hanno le seguenti estensioni:

- \*.lsa [LINEAR STATIC]
- \*.lba [LINEAR BUCKLING]
- \*.soa [SECOND ORDER]
- \*.nfa [NATURAL FREQUENCY]
- \*.sra [SPECTRAL RESPONSE]
- \*.nla [NON LINEAR STATIC]
- \*.poa [POSHOVER]
- \*.lda [LINEAR DYNAMIC]
- \*.nda [NON LINEAR DYNAMIC]

Se sono settate le caselle di controllo *Drain Echo* e *Drain Energy*, vengono elencati anche i files di Drain contenenti l'eco del run e gli sbilanciamenti energetici.

### *Delete Results Files*

Permette di cancellare i files dei risultati che possono occupare molto spazio su disco, soprattutto nel caso di analisi non lineari e dinamiche. E' possibile la selezione multipla tenendo premuto il tasto Shift o il tasto Control.

### *Envelope*

E' attivo solo per i risultati di un'analisi Linear Static con più condizioni di carico.  
Vedi [Tutorial-Esempio 2](#).

## **K+#\$ Menu PLOT**

- *Print*
- *Export DXF*
- *Draw in Autocad*

### *Print*

Stampa il disegno presente nell'area del modello.

### *Export DXF*

Salva il disegno presente nell'area del modello in formato grafico universale DXF (Drawing eXchange Format).

### *Draw in Autocad*

Disegna in Autocad<sup>®</sup> il contenuto dell'area del modello. Non funziona con Autocad LT.

## **K+#\$ Menu HELP “?”**

- *Help*
- *Example Files*
- *About*

### *Help*

Apri il file di aiuto.

### *Example Files*

Mostra i files \*.t2d contenuti nella cartella Tutorial. Si consiglia di non usare questa cartella per salvare i propri files.








### *About*

Mostra la versione del programma.

**E' disponibile tramite il tasto F1 l'help contestuale.**

## K+#\$ ANALISI DEI RISULTATI

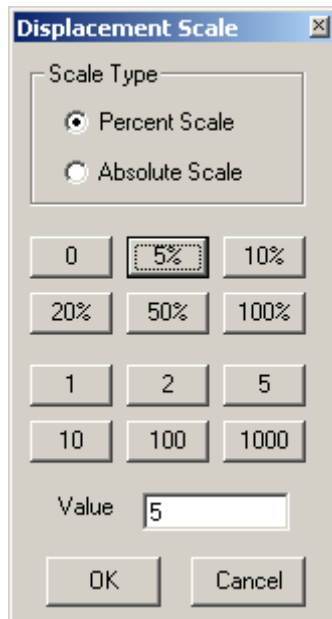
I risultati possono essere analizzati utilizzando i seguenti pulsanti della barra degli strumenti:

-  Displacement Scale (Scala della deformata)
-  Result Setting (Impostazioni per la visualizzazione dei risultati)
-  Peek (Dettaglio risultati nodi e elementi)
-  Graphs (Grafici dei risultati)
-  Plastic Hinges (Cerniere plastiche)
-  Truss plastic deformation (Deformazione plastica elemento truss)
-  Plastic Deformation Listing (Listato deformazioni plastiche)



## K+#\$ Displacement Scale

Imposta la scala della deformata:



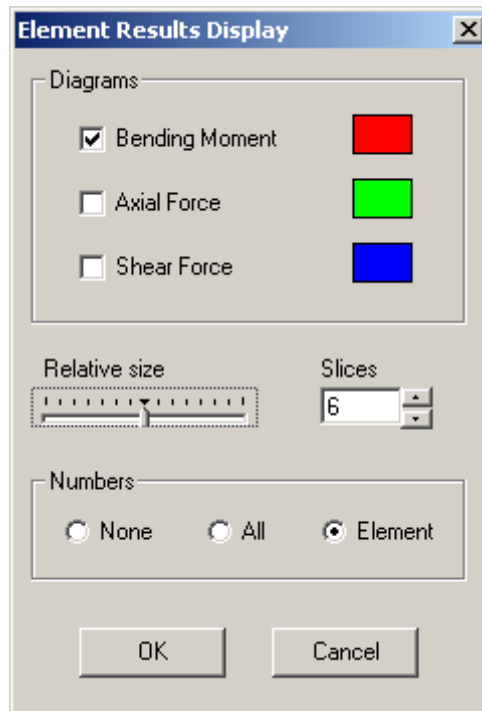
Il valore percentuale fissa la scala in modo che la deformazione massima sia in quella proporzione rispetto alla dimensione massima del modello.

Il valore assoluto è il moltiplicatore delle deformazioni.

Dopo aver visualizzato la deformata con una scala percentuale, la pressione del bottone *Absolute Scale* mostra il valore del moltiplicatore corrispondente.

## K+#\$ Result Setting

Imposta i diagrammi delle azioni interne:



Selezionare le caselle di controllo dei diagrammi da visualizzare.

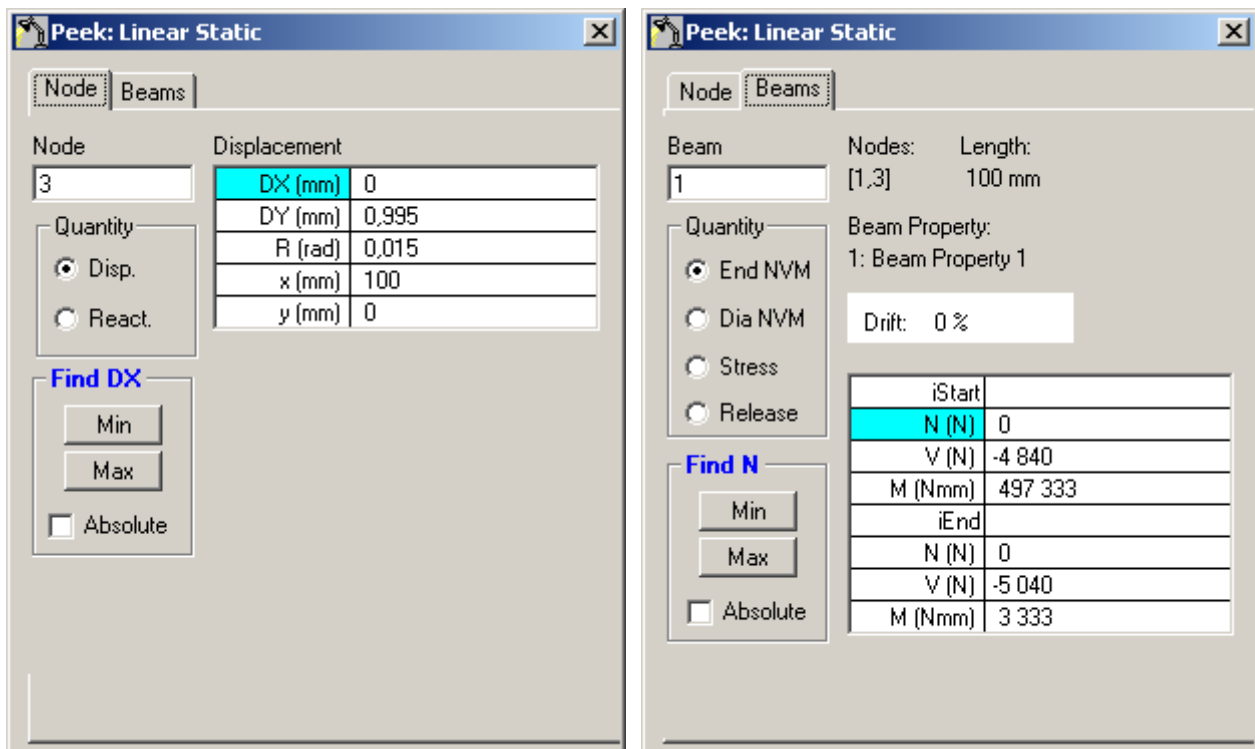
Il dispositivo di scorrimento *Relative size* regola la scala della rappresentazione dei diagrammi.

*Slices* è il numero di divisioni di ogni elemento, da 4 a 20.

Nella sezione *Numbers* si sceglie quali valori visualizzare:

- *None* nessun valore
- *All* tutti i valori
- *Element* solo i valori agli estremi degli elementi.

L'uso dello strumento Peek è illustrato nel [Tutorial-Esempio 1](#)



Nella barra del titolo compare il tipo di analisi al quale i dati visualizzati si riferiscono.

Nel caso di analisi di Buckling è presente anche la scheda *Instab*, il cui utilizzo è illustrato in [Tutorial-Esempio 3](#)

Peek: Linear Buckling

Node | Beams | **Instab**

EN 1993-1-1:2005 #5.3.2.(11)

Beam N°   $f_y$   MPa  $\gamma_{M1}$

$N$   kN  $\sigma_N$   MPa

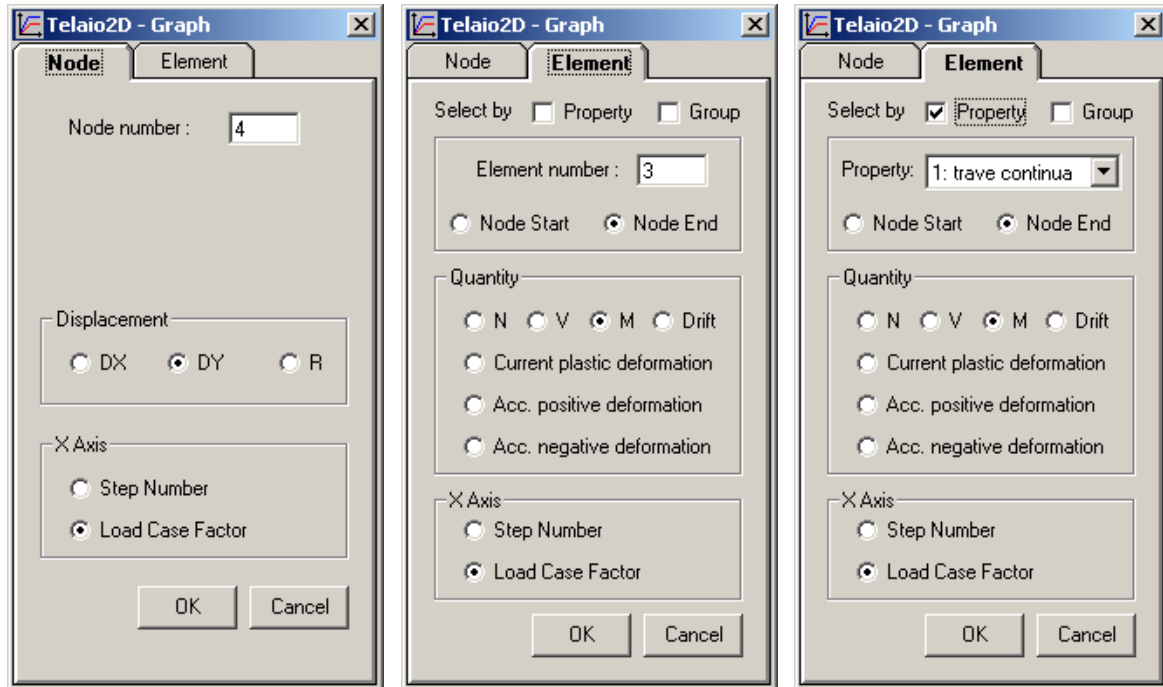
$\alpha_{cr}$    $N_{cr}$   kN  $L_o$   m

$\alpha_{ult,k}$    $\bar{\lambda}$

Buckling curve   $\alpha$    $\chi$

$e_o$   m Deform scale

Visualizza grafici di spostamenti, azioni interne e deformazioni plastiche nelle analisi non lineari.



Nella scheda *Node* selezionare il nodo (cliccando sul modello o inserendo il numero); selezionare la direzione (*DX*, *DY*, Rotazione); selezionare *Step Number* o *Load Case Factor* per l'asse X.

Nella scheda *Element* selezionare la quantità da rappresentare:

- *N*: azione assiale
- *V*: taglio
- *M*: momento flettente
- *Drift*: rapporto fra gli spostamenti *DX* degli estremi dell'elemento e la sua lunghezza
- *Current plastic deformation*: per analisi con materiale non lineare
- *Accumulated positive deformation*: per analisi con materiale non lineare
- *Accumulated negative deformation*: per analisi con materiale non lineare

Se si vuole il grafico per un singolo elemento, deselegare le caselle *Select by* e selezionare l'elemento cliccando sul modello o inserendone il numero.

Se si vuole un grafico involuppo di tutti gli elementi aventi una data proprietà o appartenenti ad un gruppo, selezionare la relativa casella.

L'uso dello strumento *Graphs* è illustrato in [Tutorial-Esempio 5](#), in [Tutorial-Esempio 6](#), in [Tutorial-Esempio 7](#), in [Tutorial-Esempio 8](#) e in [Tutorial-Esempio 9](#).

## K+#\$ Plastic hinges

Visualizza la distribuzione e l'ordine di formazione delle cerniere plastiche nelle analisi non lineari. I colori indicano l'entità delle rotazioni plastiche, secondo la corrispondenza della legenda (Fig. 1 b), nella quale si possono variare i limiti superiore ed inferiore dopo aver fatto doppio click su di essa.

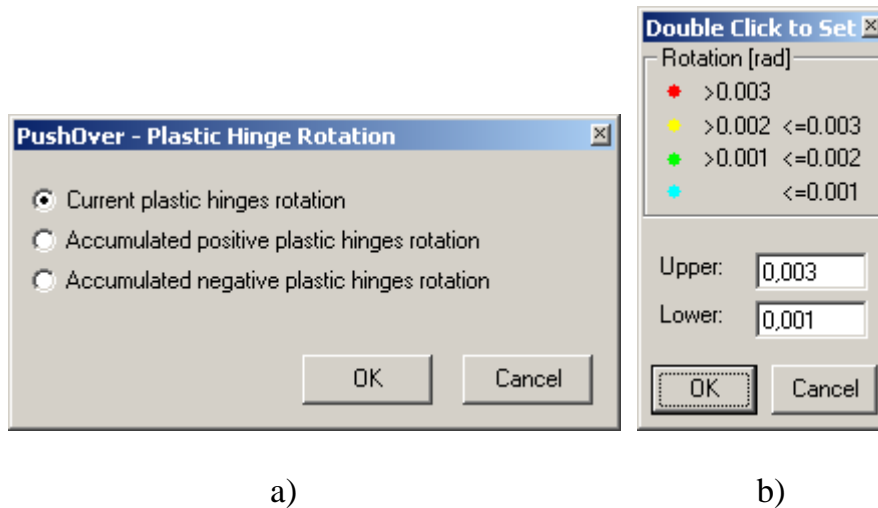


Fig. 1

Le rotazioni plastiche accumulate hanno il significato illustrato in Fig. 2

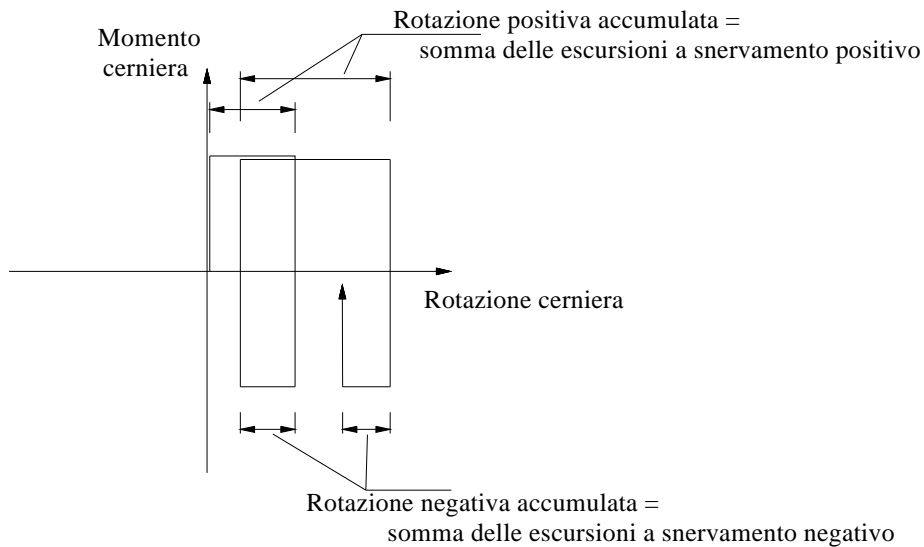
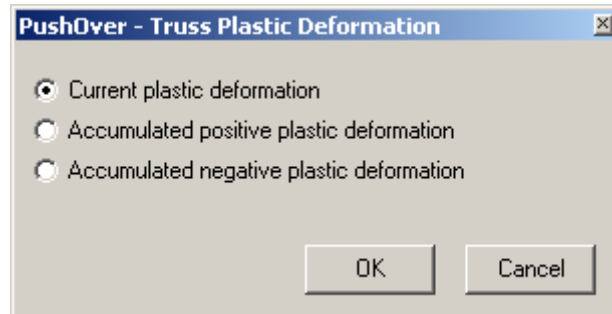


Fig. 2

L'uso dello strumento Graphs è illustrato nel [Tutorial-Esempio 5](#)

## **K+#\$ Truss plastic deformation**

Visualizza gli elementi truss che hanno raggiunto una deformazione plastica. L'elemento è disegnato con un tratto più grosso del normale quando è sede di deformazioni plastiche a compressione, con un tratto più sottile in presenza di deformazioni plastiche a trazione.

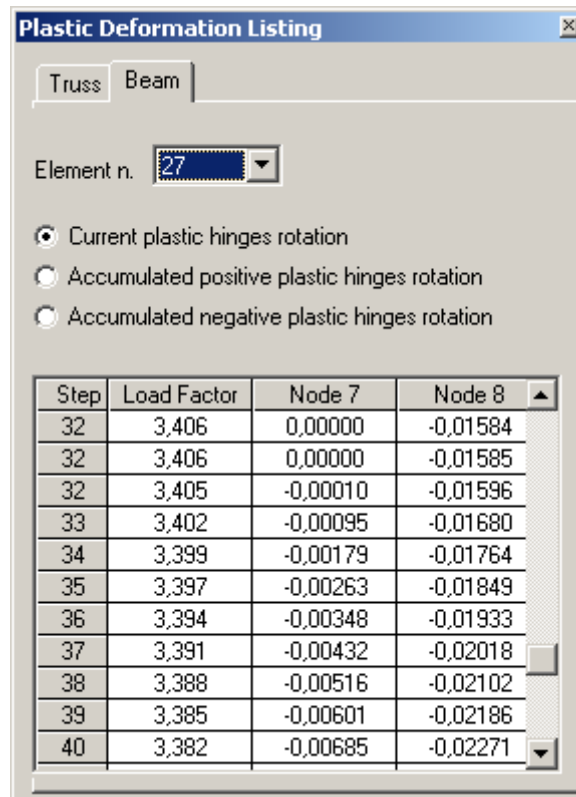


---

K Truss plastic deformation;  
+ auto  
# IDH\_172  
\$ Truss plastic deformation

## K+#\$ Plastic Deformation Listing

Visualizza i valori numerici delle deformazioni plastiche.



Plastic Deformation Listing

Truss Beam

Element n. 27

Current plastic hinges rotation  
 Accumulated positive plastic hinges rotation  
 Accumulated negative plastic hinges rotation


Step	Load Factor	Node 7	Node 8
32	3,406	0,00000	-0,01584
32	3,406	0,00000	-0,01585
32	3,405	-0,00010	-0,01596
33	3,402	-0,00095	-0,01680
34	3,399	-0,00179	-0,01764
35	3,397	-0,00263	-0,01849
36	3,394	-0,00348	-0,01933
37	3,391	-0,00432	-0,02018
38	3,388	-0,00516	-0,02102
39	3,385	-0,00601	-0,02186
40	3,382	-0,00685	-0,02271

---


K Plastic deformation listing;  
+ auto  
# IDH\_174  
\$ Plastic deformation listing



## K+#\$ Zoom

 F6 - *Zoom in window*. Tenere premuto il pulsante sinistro del mouse e trascinare creando una finestra sulla zona da ingrandire.


 F7 - *Zoom-out*. Rimpicciolisce il modello

 F10 - *Pan*. Tenere premuto il pulsante sinistro del mouse e trascinare nella direzione dello spostamento.


 F3 - *Zoom All*. Ridisegna il modello.

## **K+#\$ Selezione**

 *Select*. Attiva/disattiva la modalità selezione.

 *Toggle Node Select*. Attiva/disattiva la modalità selezione nodi.



 *Toggle Beam Select*. Attiva/disattiva la modalità selezione elementi.

 *Clear Select*. Annulla tutte le selezioni.

Per selezionare gli oggetti si può:

- cliccare direttamente sugli oggetti;
- racchiuderli in una finestra di selezione creata trascinando il mouse da sinistra verso destra;
- se la finestra di selezione è creata trascinando il mouse da destra verso sinistra vengono selezionati anche gli elementi intersecati.








Gli oggetti selezionati possono essere eliminati dal modello col tasto Del (Cancella).

Se i pulsanti  e/o  sono attivi, la pressione del tasto SHIFT fa comparire una finestra nella quale sono visualizzati i dati del nodo o dell'elemento vicino al cursore. Questa funzione è molto comoda per il controllo della geometria e dei carichi.

Vedi [Tutorial-Esempio 1](#)

## K+#\$ Visualizzazione

La barra degli strumenti verticale contiene i seguenti pulsanti:

-  *Toggle Nodes*. Nasconde/visualizza i nodi
-  *Toggle Beams*. Nasconde/visualizza gli elementi
-  *Toggle Node Attributes*. Nasconde/visualizza gli attributi dei nodi
-  *Toggle Element Attributes*. Nasconde/visualizza gli attributi degli elementi
-  *Toggle Node Numbers*. Nasconde/visualizza i numeri dei nodi
-  *Toggle Element Numbers*. Nasconde/visualizza i numeri degli elementi
-  *Toggle Hide Selected Elements*. Nasconde/visualizza gli elementi selezionati.

Vedi anche [Tutorial-Esempio 1](#)

## K+#\$ Spettri di risposta NTC

Selezionare la normativa NTC 2008 (D.M. 14-1-2008). Cliccare su “Ricerca sito”.

La ricerca dei parametri sismici può essere condotta, analogamente al foglio excel “Spettri-NTCver.1.0.3.xls” fornito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, per coordinate o per comune. Nella ricerca per comune vengono usate le coordinate Istat. I parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$  vengono calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del *reticolo di riferimento* contenente il punto in esame (NTC Allegato A, eq. [3]).

**Parametri interpolati**

TR	$a_g$	$F_0$	$T_c^*$
30	0,040	2,481	0,213
50	0,054	2,461	0,234
72	0,065	2,470	0,251
101	0,077	2,443	0,258
140	0,090	2,416	0,261
201	0,105	2,422	0,266
475	0,150	2,430	0,275
975	0,195	2,441	0,281
2475	0,270	2,424	0,292

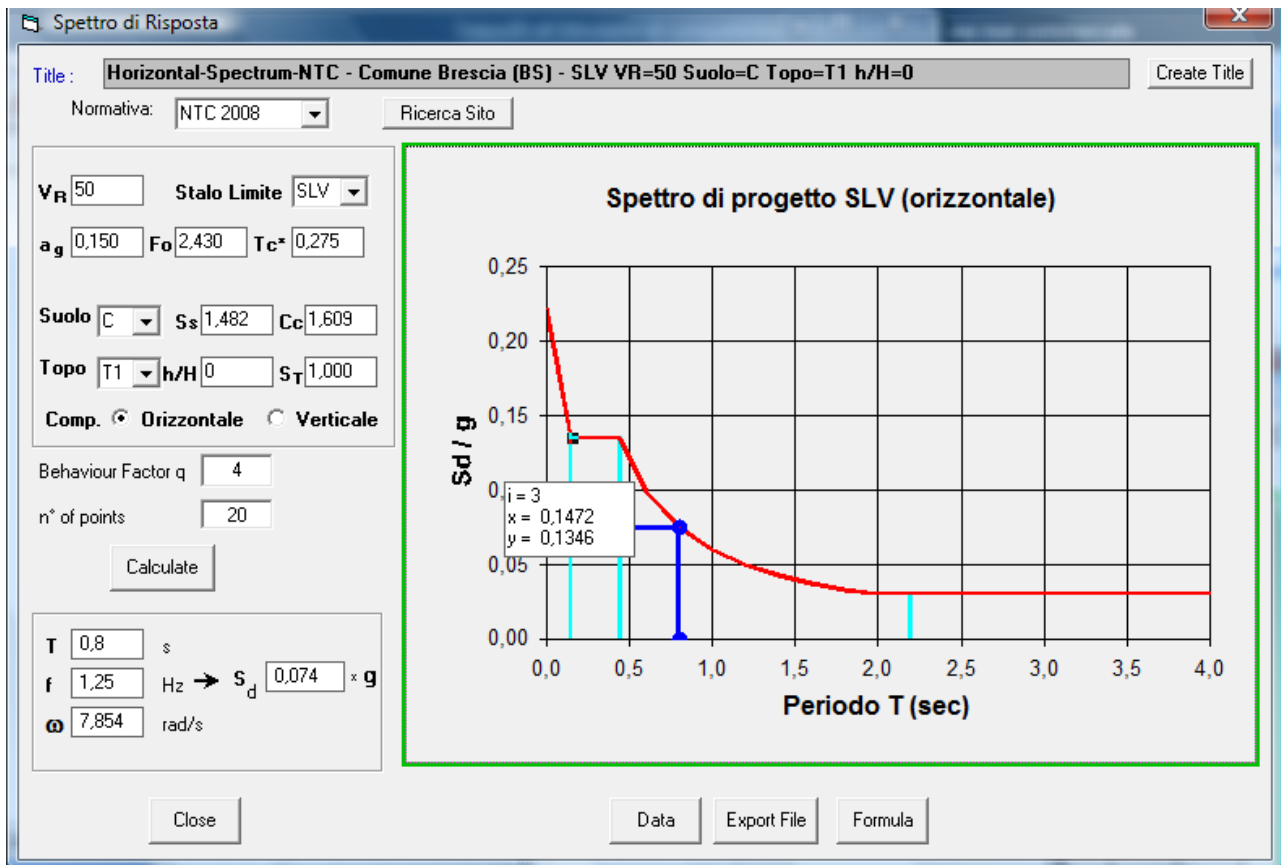
Cliccare su “OK”.

<sup>K</sup> Spettri di risposta NTC

<sup>+</sup> auto

<sup>#</sup> IDH\_200

<sup>S</sup> Spettri di risposta NTC



Inserire il Periodo di Riferimento VR (in anni) e scegliere lo Stato Limite da verificare. Vengono visualizzati i valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$  corrispondenti.

Scegliere la Categoria di Sottosuolo: vengono aggiornati i parametri  $S_s$  (coefficiente di amplificazione stratigrafica da Tab. 3.2.V) e  $C_c$  (coefficiente funzione della categoria di sottosuolo da Tab. 3.2.V)

Scegliere la Categoria Topografica ed inserire il valore  $h/H$ , variabile fra 0 e 1 ( $h$ =quota sito,  $H$ =altezza rilievo topografico): viene aggiornato il parametro  $S_T$  (coefficiente di amplificazione topografica da Tab. 3.2.VI).

Scegliere fra componente orizzontale o verticale.

Inserire il fattore di struttura  $q$ .

Eventualmente modificare il numero di punti dello spettro.

Lo spettro di risposta viene aggiornato automaticamente ad ogni variazione dei parametri scelti.

Le linee color ciano sono tracciate in corrispondenza ai valori  $T_B$ ,  $T_C$ ,  $T_D$ .

Nel riquadro in basso è indicato il valore spettrale  $S$  corrispondente al periodo  $T$ . Si può impostare il periodo  $T$  oppure la frequenza  $f$  oppure la pulsazione  $\omega$ . Sul grafico la linea blu indica il periodo scelto.

*Data* visualizza i valori numerici.

*Export File* esporta i dati in un file di testo.

*Formula* visualizza le formule che definiscono lo spettro.

Cliccare su *Create Title* per creare automaticamente il titolo che può essere successivamente editato.

## K+#\$ Spettri di risposta OPCM

Selezionare la normativa OPCM 3274 (dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274).

Lo spettro di risposta viene aggiornato automaticamente in base ai parametri scelti.

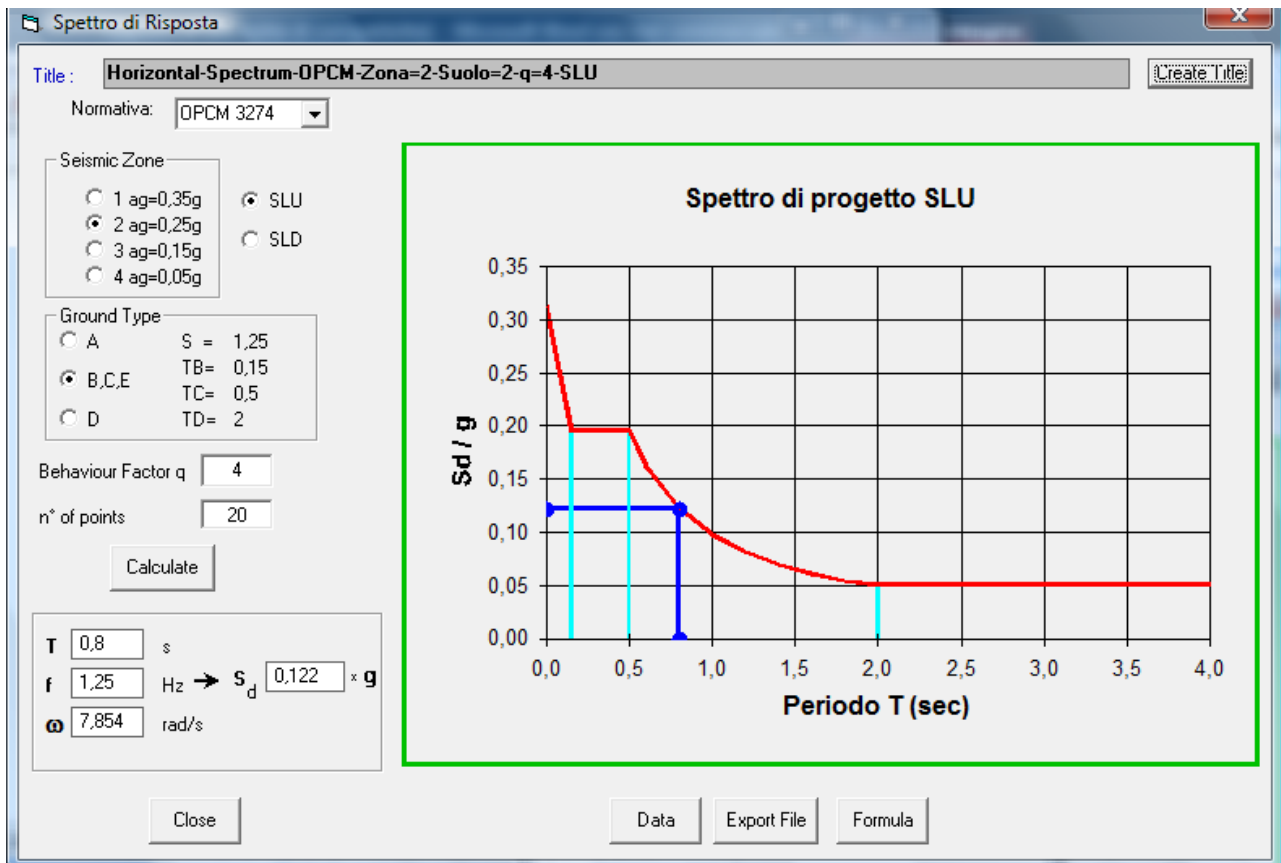


Fig. 1

In Fig. 1 è diagrammato lo spettro di risposta allo stato limite ultimo con le seguenti caratteristiche:

- *Seismic Zone* (zona sismica) 2  $a_g=0,25g$
- *Spectrum Type Horiz.* (componente orizzontale); *SLU* (Stato Limite Ultimo)
- *Ground Type* (categoria suolo) B,C,E
- *Behaviour Factor q* (fattore di struttura) =4
- *n° of points* (numero di punti che definiscono la curva) =20

Nel riquadro in basso è indicato il valore spettrale  $S$  corrispondente al periodo  $T$ . Si può impostare il periodo  $T$  oppure la frequenza  $f$  oppure la pulsazione  $\omega$ . Sul grafico la linea blu indica il periodo scelto.

Le linee color ciano sono tracciate in corrispondenza ai valori  $T_B$ ,  $T_C$ ,  $T_D$ .

*Data* visualizza i valori numerici.

*Export File* esporta i dati in un file di testo.

*Formula* visualizza le formule che definiscono lo spettro.

---

<sup>K</sup> Spettri di risposta OPCM

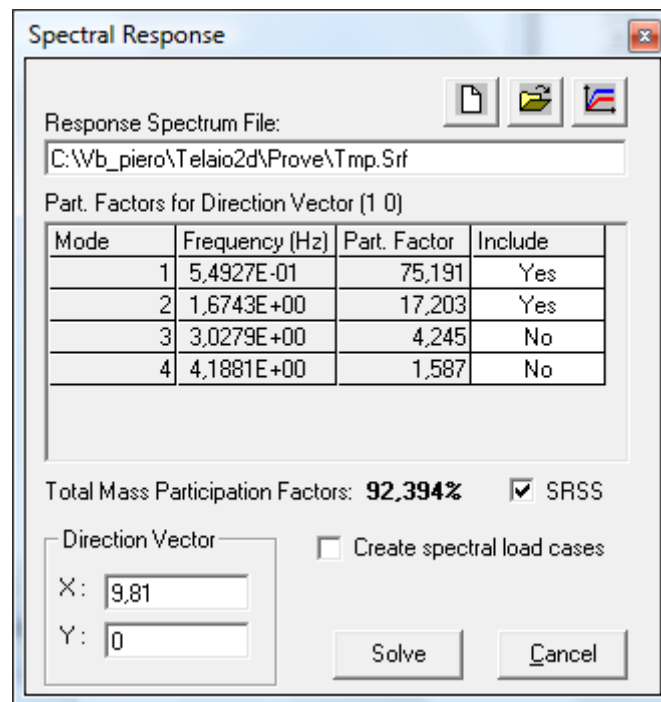
<sup>+</sup> auto


<sup>#</sup> IDH\_210


<sup>S</sup> Spettri di risposta OPCM

Cliccare su *Create Title* per creare automaticamente il titolo che può essere successivamente editato.

## K+#S Importazione dati spettro



Cliccare su  per importare i dati dello spettro da un file di testo con estensione \*.Srf. Nel file le prime due righe contengono il titolo ed un commento; le righe successive contengono i valori del tempo e dell'accelerazione, separati da spazi o da tab. Il separatore decimale può essere il punto o la virgola; non è ammesso alcun separatore delle migliaia. Per ottenere un file di esempio provare ad esportare (pulsante *Export File*) uno spettro di normativa.

Cliccare su  per visualizzare lo spettro.

---

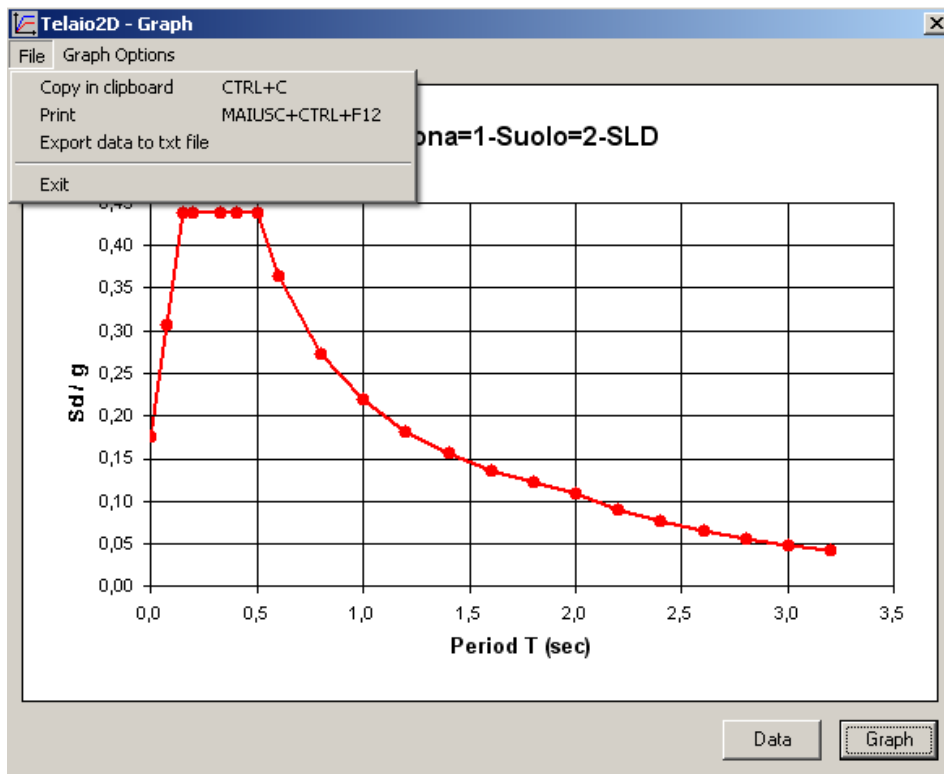
<sup>K</sup> Importazione spettro

<sup>+</sup> auto

<sup>#</sup> IDH\_220

<sup>S</sup> Importazione spettro





Dal menu *File* si possono copiare i dati del grafico negli appunti di Windows per incollarli in un'altra applicazione. Se si usa "Incolla Speciale" si può scegliere se incollare i dati o l'immagine del grafico.

## K+#\$TUTORIAL

Gli esempi che seguono sono presentati in forma di tutorial per illustrare le principali funzionalità del programma. **Si consiglia di eseguirli nell'ordine.**

I files di esempio sono contenuti nella sottodirectory Tutorial. Si consiglia di non usarla per i propri files.

**Non usare nè cancellare la sottodirectory Drain.**

### ESEMPIO 1: ANALISI STATICA LINEARE DI UN PORTALE

File dei dati: Tutorial-1.t2d.

Il portale (Fig. 1), incastrato alla base, ha luce 3 m e altezza 4 m.

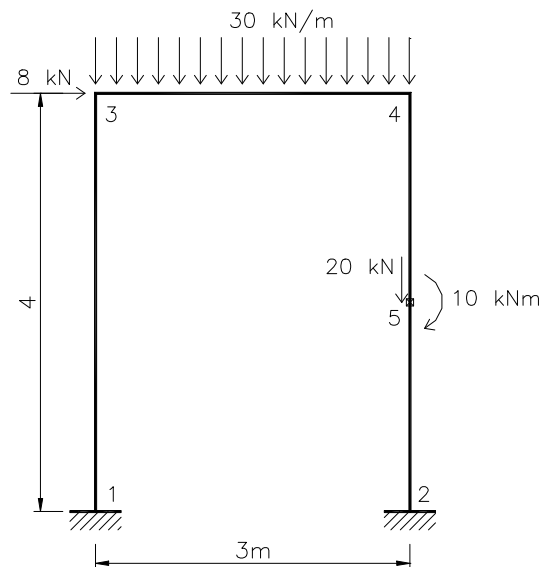




Fig. 1


**Aprire un nuovo telaio:** menu *File – New* o strumento .

**Controllare le unità di misura:** menu *Global – Units*. OK per usare le unità di default.

#### Creare i nodi

Menu *Crete – Node*. Cliccare su *Apply* per creare il nodo 1 di coordinate 0, 0. Digitare 3 nella casella X e cliccare su *Apply* per creare il nodo 2 di coordinate 0, 3. Si può procedere in questo modo per creare gli altri nodi oppure:

- chiudere la finestra.
- *Tools – Copy*
- digitare 4 nella casella incremento Y
- verificare che siano attivi gli strumenti *Select*  e *Toggle Node Select* 

- selezionare i due nodi cliccando su di essi o trascinando il mouse per includerli in una finestra (Fig. 2)
- *Apply* per copiare i nodi
- F3 o  per ridisegnare il modello

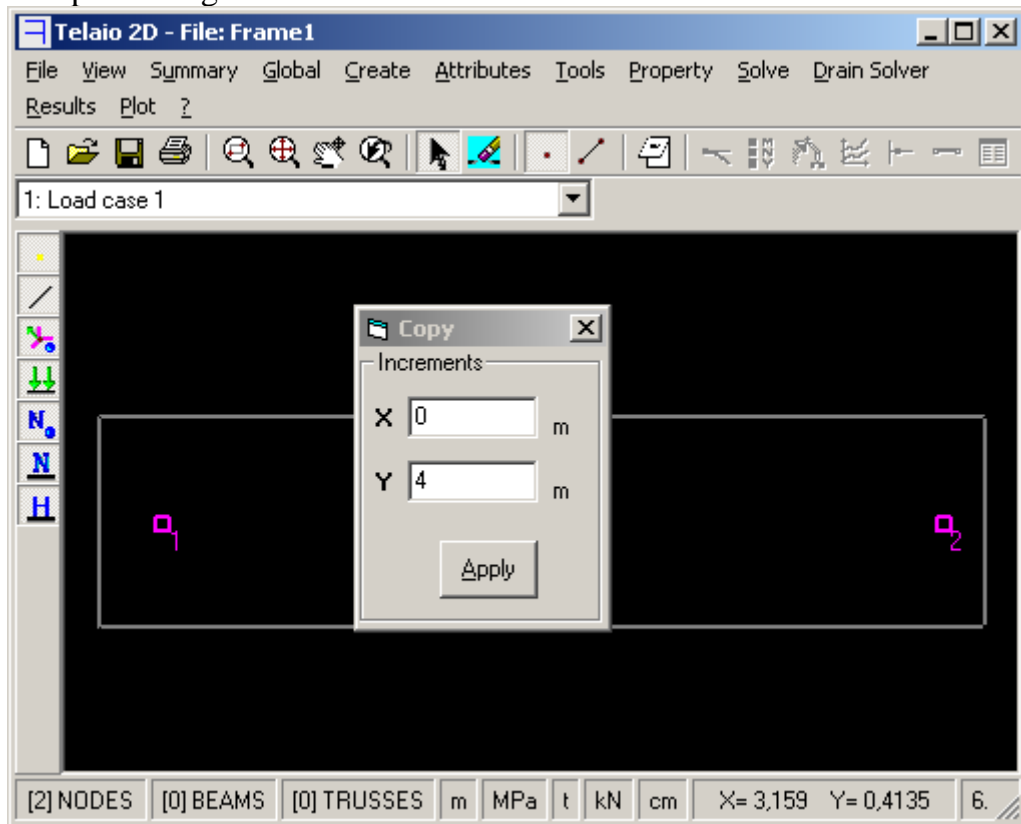


Fig. 2

### Creare gli elementi:

- menu *Create – Element*
- cliccare sul nodo 1, trascinare il mouse e cliccare in prossimità del nodo 3 (Fig. 3)
- ripetere l'operazione collegando i nodi 2 - 4 e 3 - 4
- chiudere la finestra

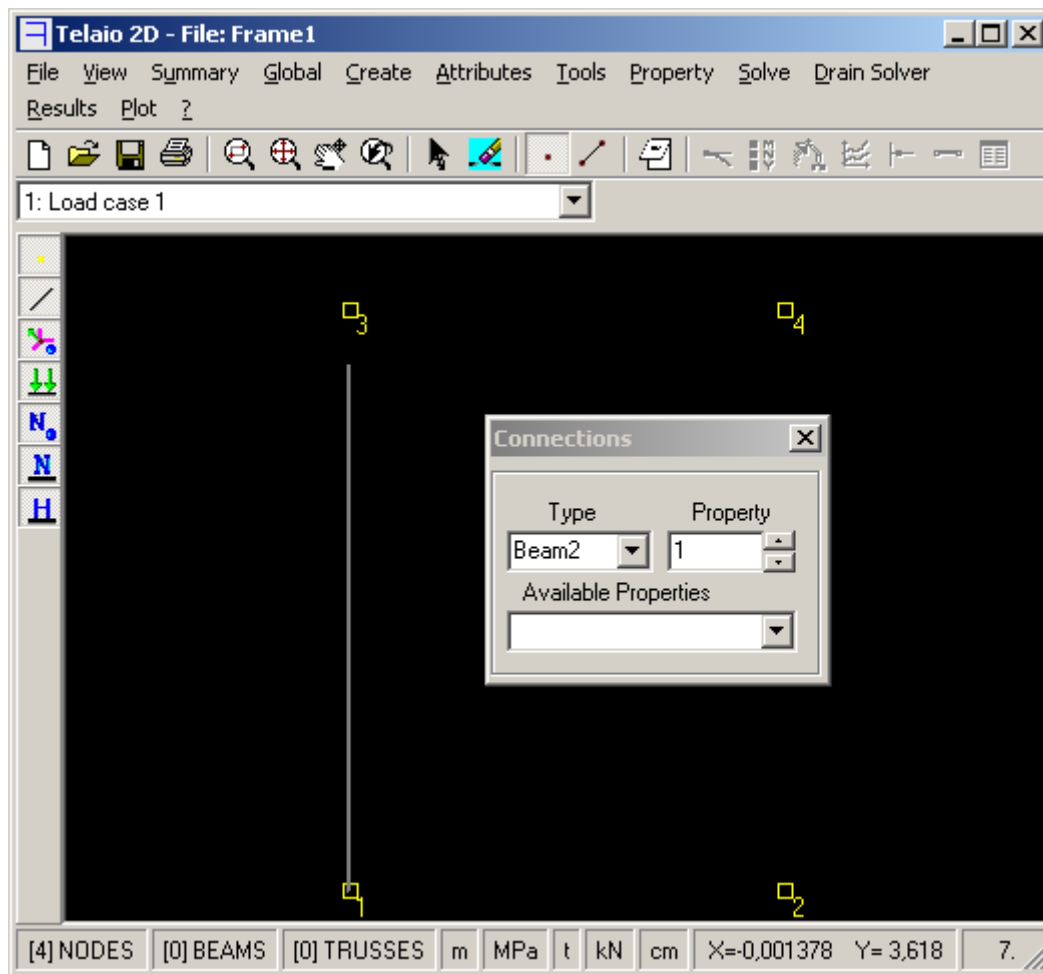


Fig. 3

**Inserire il nodo 5** a metà pilastro (il nodo serve per applicare il carico concentrato):

- menu *Tools – Subdivide*
- 2 divisioni
- cliccare sull'elemento 2 (Fig. 4)
- *Apply*

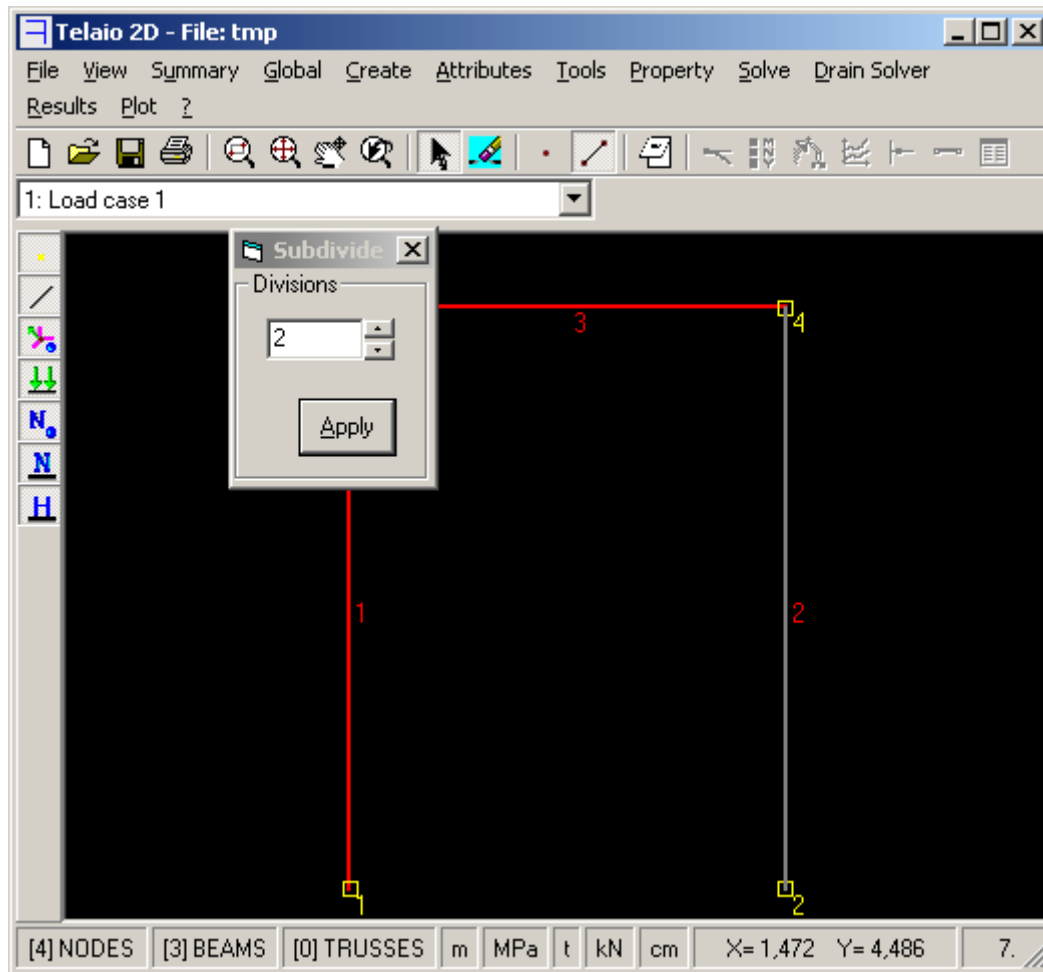


Fig. 4

**Cambiare il tipo di proprietà della trave:**

- menu *Attributes – Beam – Property Type*
- selezionare la proprietà 2
- cliccare sulla trave
- *Apply* (Fig. 5)

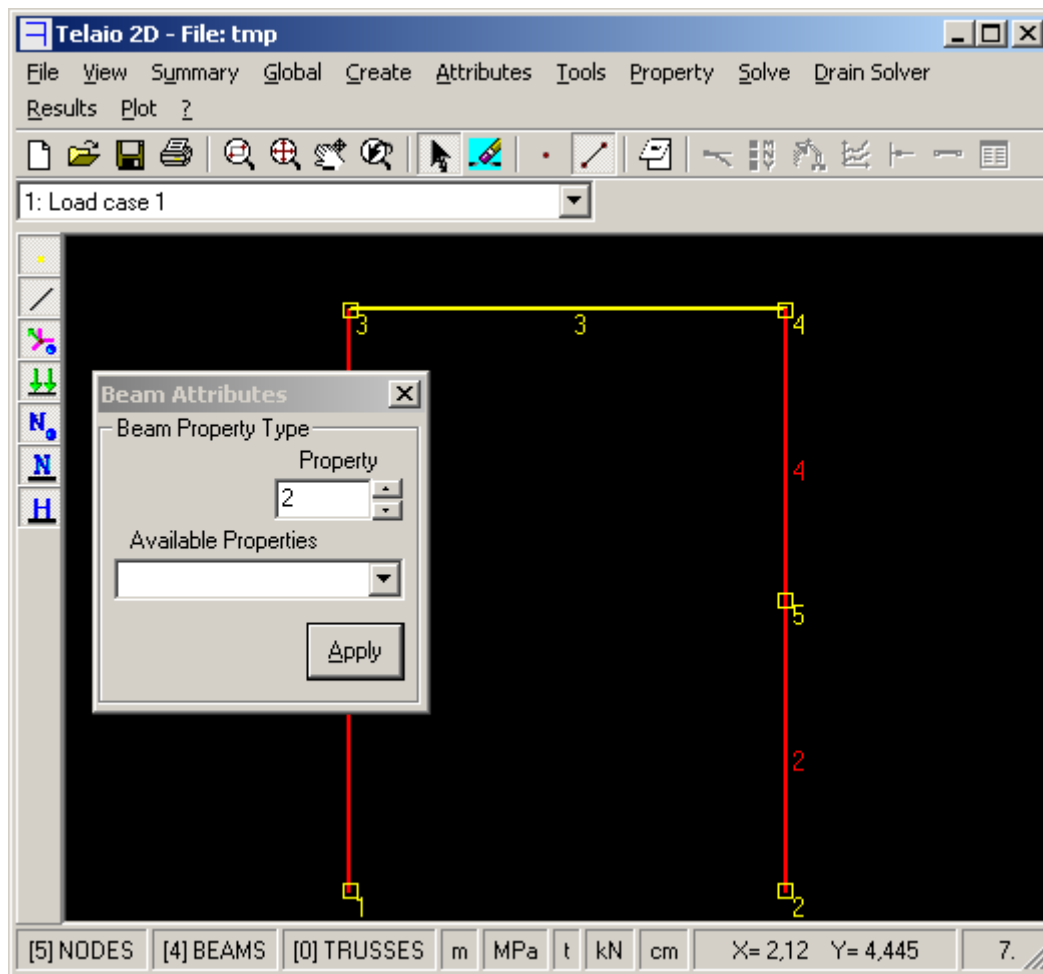


Fig. 5

**Definire le proprietà:**

- menu *Property*
- menu *Edit* per cambiare il nome (Fig. 6). *OK*
- pulsante *Materials ...*
- selezionare Concrete C25/30. *OK* (Fig. 7)
- scheda *Geometry*
- pulsante *Edit*
- selezionare il tipo di sezione (1 Rect.= 1 rettangolo)
- inserire base e altezza e cliccare sulla figura (Fig. 8). *OK*
- ripetere le operazioni per la proprietà 2 (Trave) con dimensioni 30x40

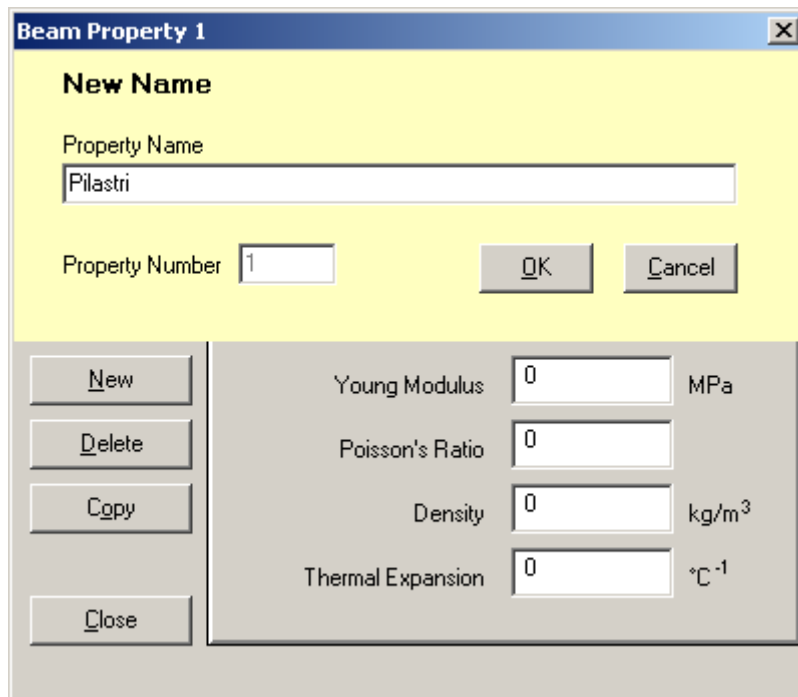


Fig. 6

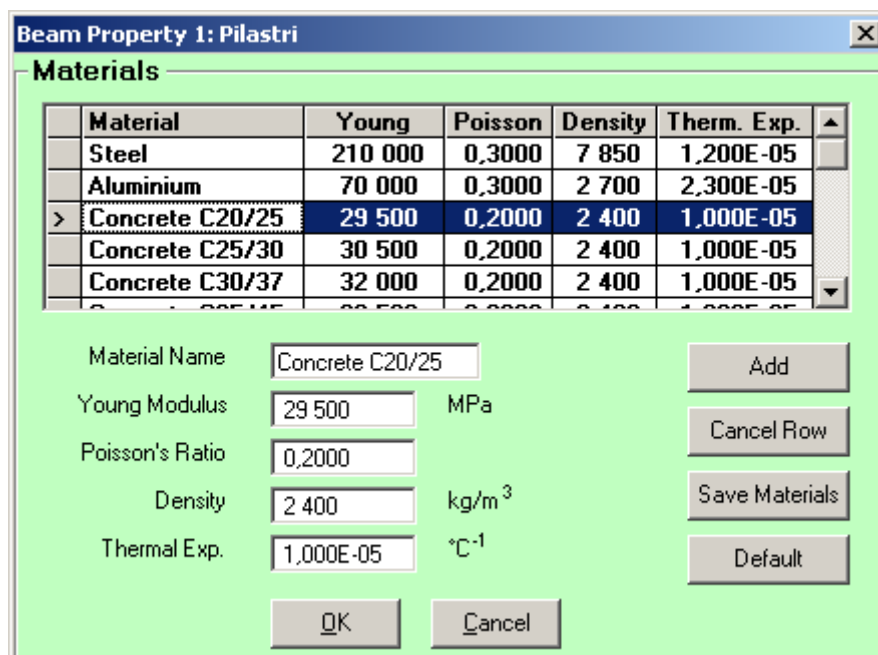


Fig 7

**N.B.** Il programma usa solo il modulo di Young, la densità (se viene impostata un'accelerazione nel menu *Global-Load Cases*) e il coefficiente di dilatazione termica. Il modulo di Poisson non viene usato perchè si trascura la deformabilità a taglio.

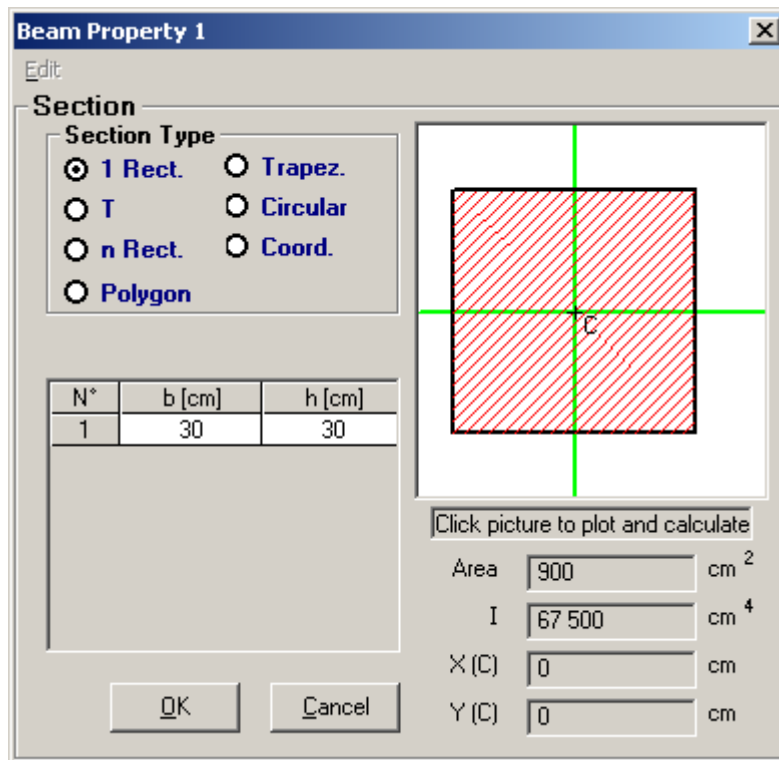


Fig 8

Verificare l'ingombro delle aste: menu *View – Solid Elemets.*



#### Inserire i vincoli:

- menu *Attributes – Node – Restraints*
- selezionare i nodi 1 e 2
- *Apply*





#### Inserire i carichi:

- menu *Attributes – Node – Force – Moment*
- $FX = 8 \text{ kN}$
- selezionare il nodo 3; *Apply*
- $FX = 0$ ;  $FY = -20$ ;  $M = -10$
- selezionare il nodo 5; *Apply*
- menu *Attributes – Beam – Distributed Loads*
- lasciare selezionato *q Start = q End*
- inserire  $-30$  in direzione *Y*
- selezionare l'elemento 3; *Apply*
- chiudere la finestra


**NB:** per richiamare i valori degli attributi di un nodo o di un elemento, **tenere premuto il tasto *Control* e cliccare sul nodo o sull'elemento.**

**Esplorare il modello:** tenendo premuto il tasto *Shift* (Mauscolo) appare una finestra con i dati del nodo o dell'elemento vicini al cursore. Devono essere attivi i pulsanti  e/o .

**Lancio dell'analisi statica lineare:** menu *Solve – Linear Static*

Il pulsante *Results File*  viene evidenziato e vengono abilitati i pulsanti   .



Premere  per settare la scala della **deformata**. Impostare la scala 10% (deformazione massima = 10% delle dimensioni del modello). La deformata è rappresentata in Fig. 9.

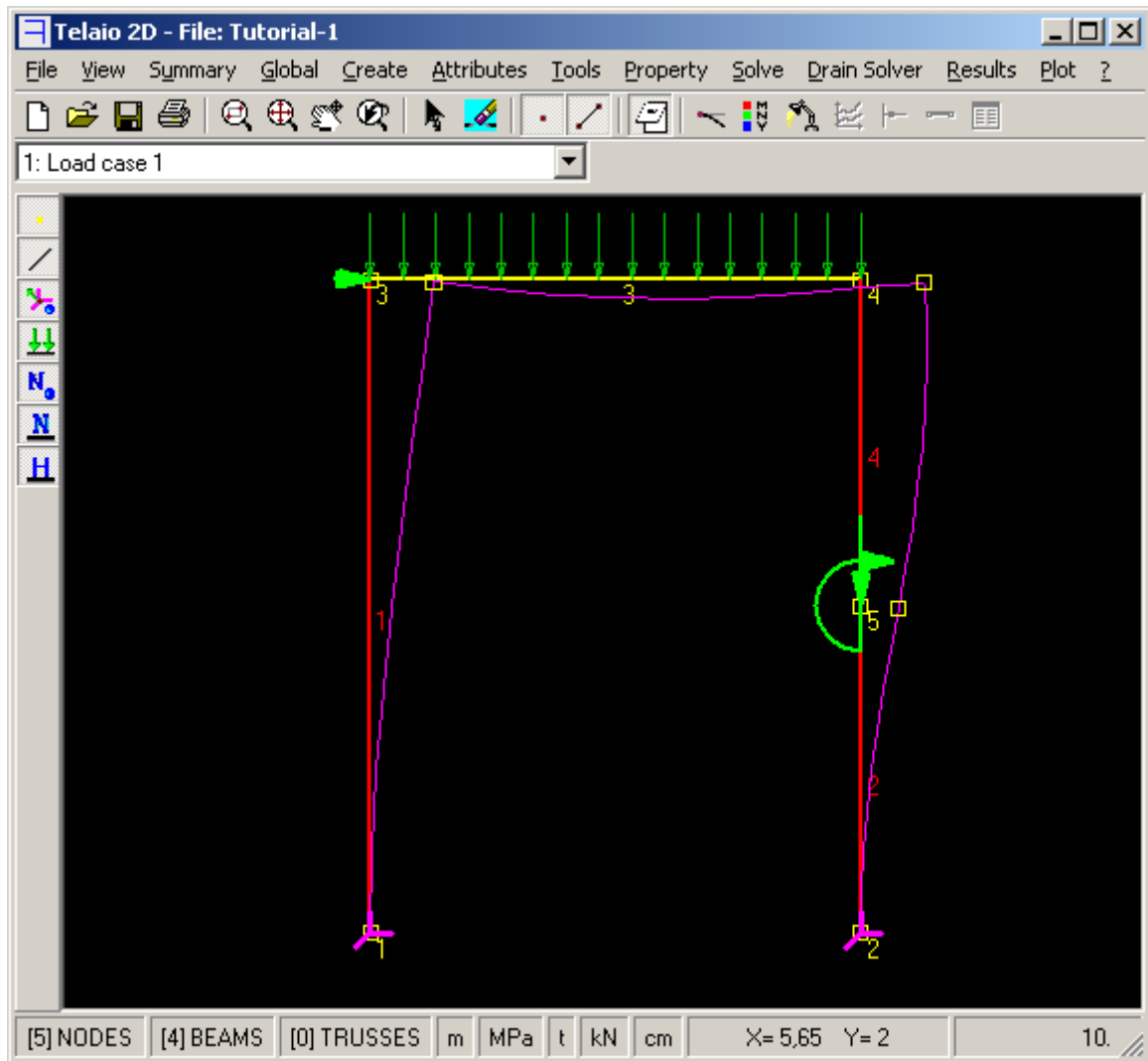


Fig. 9

Cliccare su  per visualizzare i **diagrammi** delle azioni interne (Fig. 10):

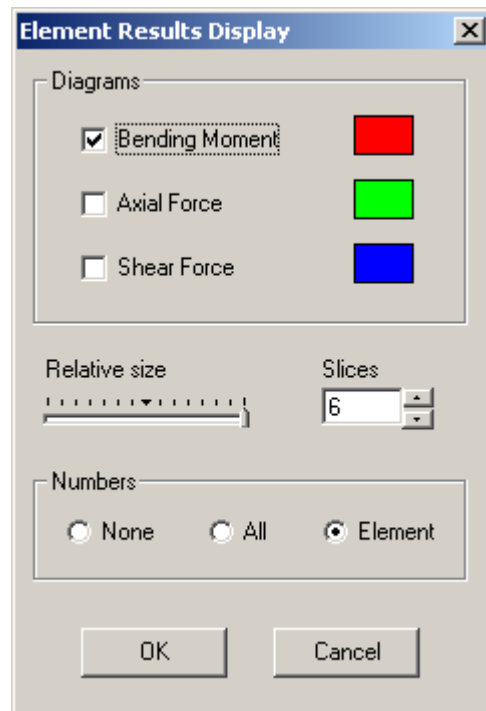


Fig. 10

Dopo aver impostato a 0 la scala della deformata, il diagramma del momento appare come in Fig. 11.

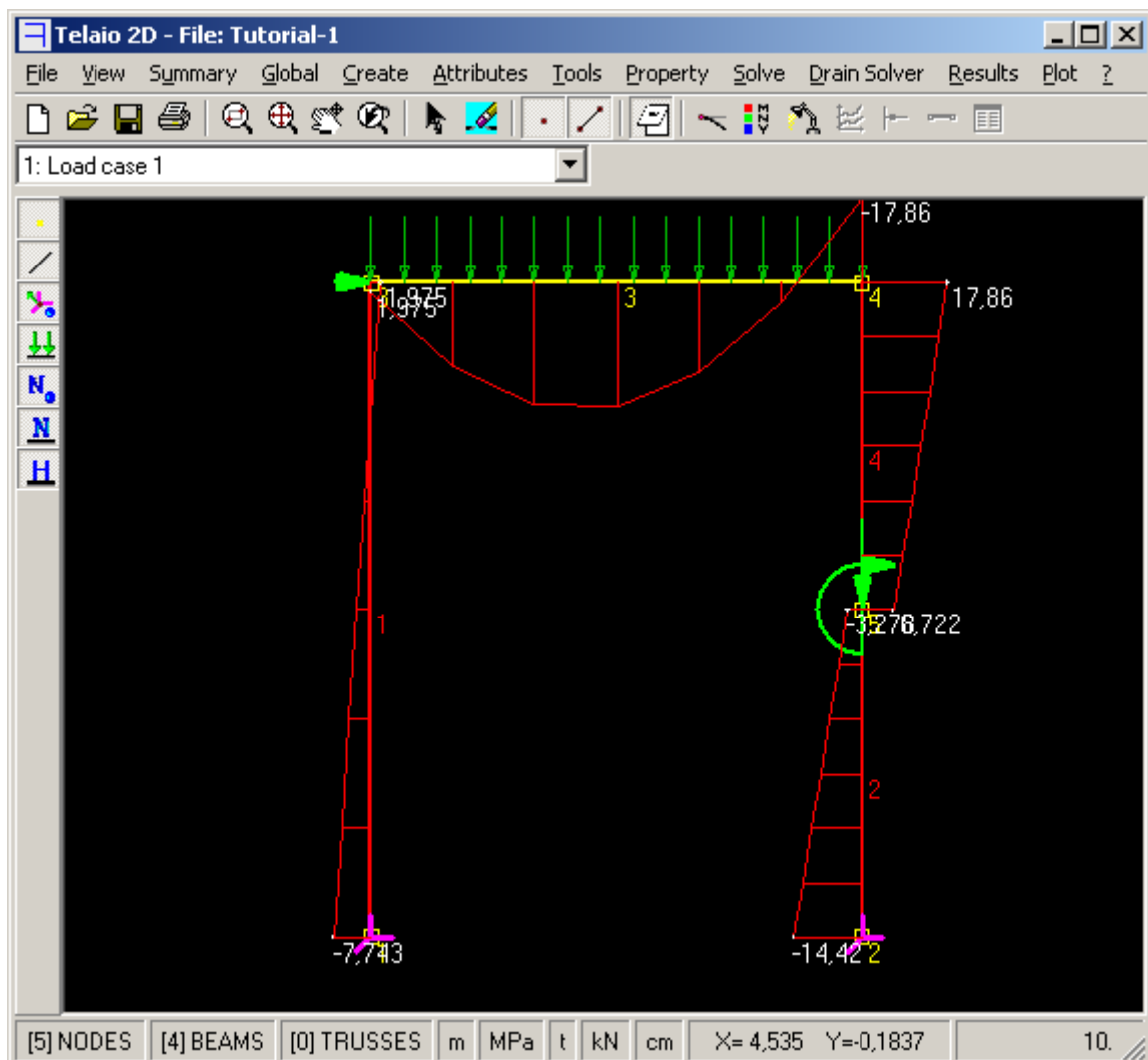





Fig 11

Usare i pulsanti della barra degli strumenti di sinistra per nascondere le entità che impediscono la lettura dei valori numerici. I pulsanti nascondono/visualizzano:

- i nodi
- gli elementi
- gli attributi dei nodi (vincoli, forze, momenti, masse)
- gli attributi delle aste (svincoli e carichi distribuiti)
- i numeri dei nodi.
- i numeri delle aste.
- gli elementi selezionati.

Particolarmente utile è lo strumento **H** (Hide Selected Elements) che permette di nascondere/visualizzare gli elementi selezionati. Usarlo nel modo seguente:

- attivare *Select*  e *Beam Select*  e cliccare sull'elemento 2 per selezionarlo. Cliccare su **H**: L'elemento 2 viene oscurato (Fig. 12) permettendo di leggere i valori dell'elemento 4. Cliccare sui vari elementi per oscurarli/visualizzarli. Cliccare nuovamente su **H** per visualizzare tutti gli elementi.

In alternativa usare lo strumento *Zoom in Window*  o il tasto F6 per ingrandire un particolare.

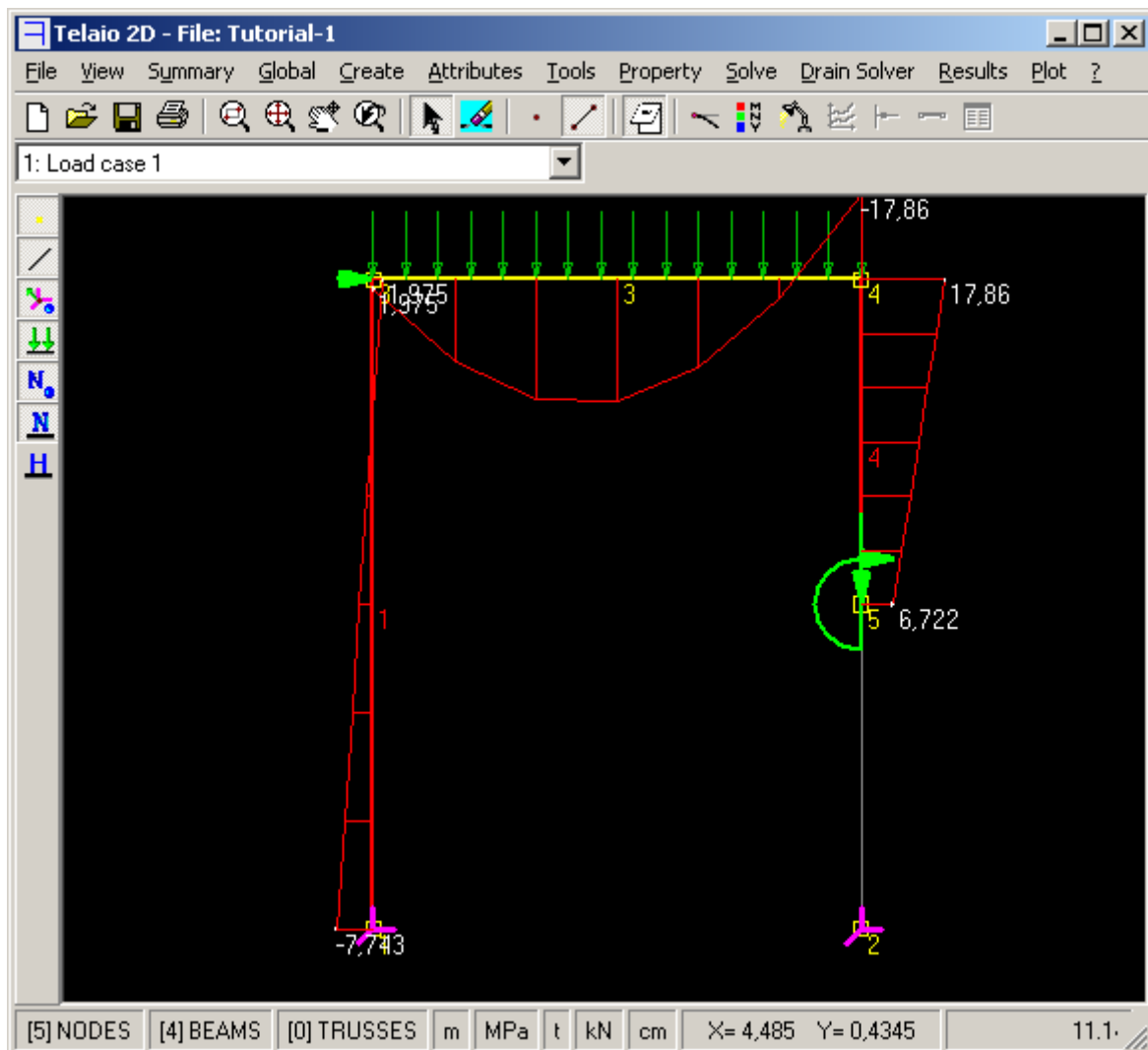



Fig 12

Usare lo strumento *Peek*  per l'analisi dettagliata dei risultati. Cliccare su un nodo per caricarne i valori degli spostamenti e delle coordinate. Per trovare i valori massimi e minimi di un parametro, selezionare la riga corrispondente e cliccare su uno dei pulsanti *Min Max*. In Fig. 13 si è trovato il valore massimo assoluto della rotazione che si ha al nodo 5.

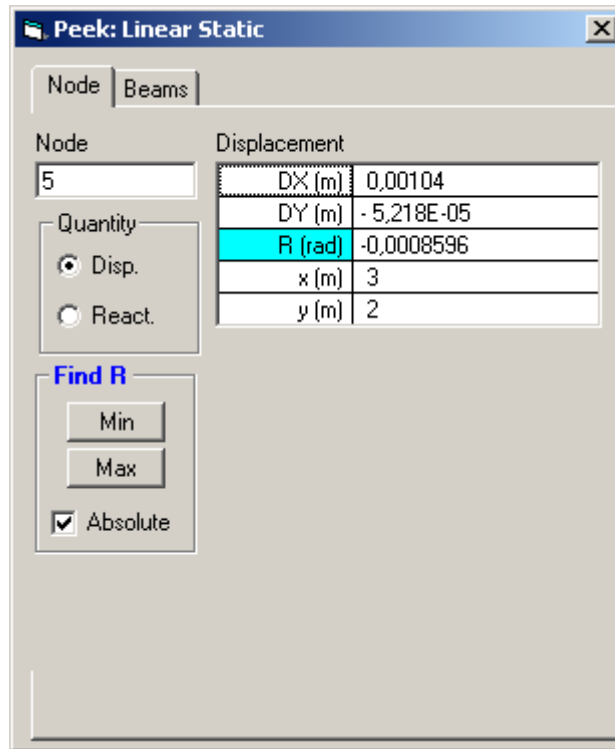
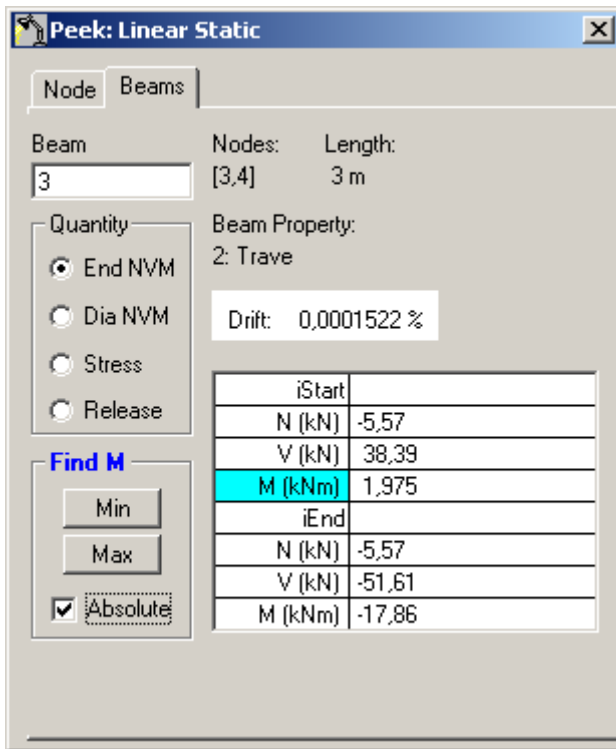


Fig. 13

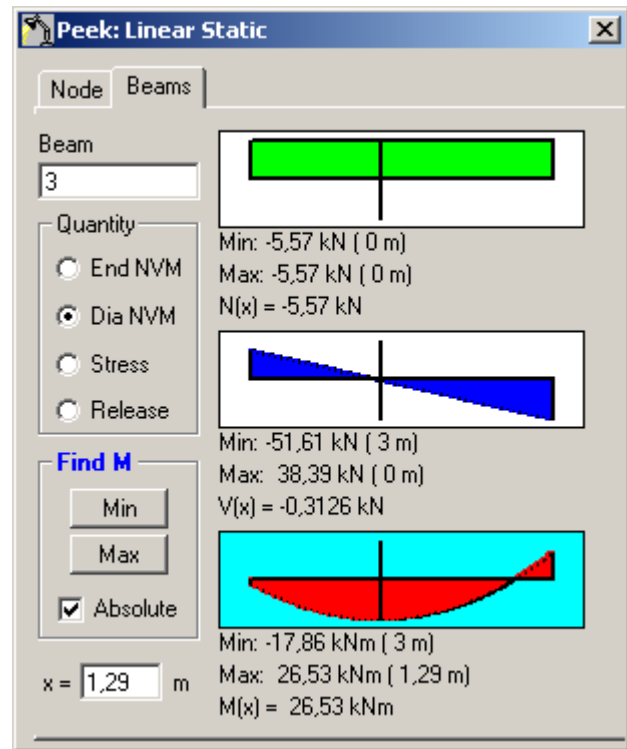
Selezionare *React.* per esaminare le reazioni. Si noti che le reazioni nei nodi non vincolati devono essere praticamente nulle.

La scheda *Beams* mostra i valori delle azioni interne agli estremi dell'elemento (Fig. 14 a) o i diagrammi (Fig. 14 b) con i valori massimi e minimi lungo l'asta, l'ascissa corrispondente e i valori  $N(x)$ ,  $V(x)$  e  $M(x)$  in corrispondenza dell'ascissa  $x$  ( $x=1,29$  nell'esempio). La ricerca dei valori massimi e minimi si riferisce all'azione interna evidenziata col colore ciano.

Il *Drift* (Fig. 14 a) è il rapporto fra la differenza di spostamento secondo  $x$  degli estremi e la lunghezza dell'asta; il suo utilizzo è illustrato nell'Esempio 4.

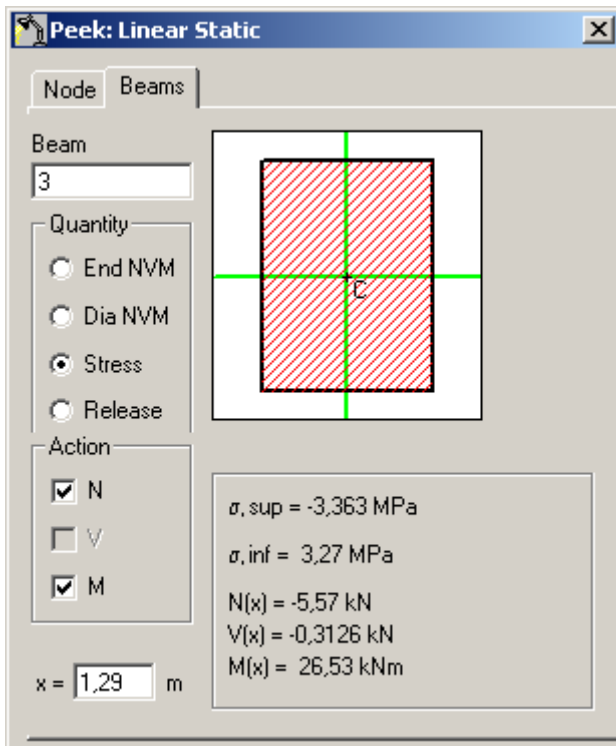


a)

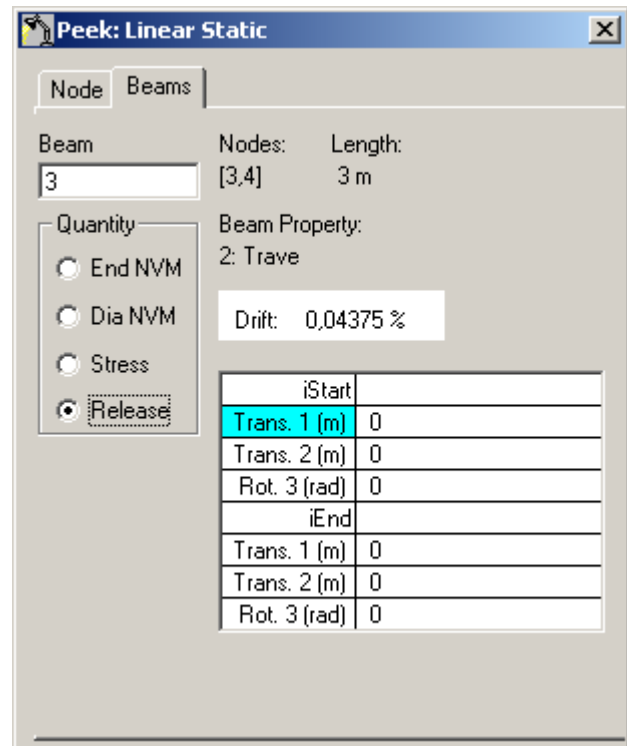


b)

Fig. 14



a)




b)


Fig. 15

L'opzione *Stress* mostra i valori delle tensioni al bordo superiore e inferiore della sezione, considerando le azioni interne N ed M selezionate (Fig. 15 a).

L'opzione *Release* (Fig. 15 b) visualizza gli spostamenti relativi in corrispondenza degli svincoli, nulli se non sono presenti svincoli.

Cliccare sul pulsante *Results File*  per uscire dalla modalità di visualizzazione dei risultati.

**Salvare il file per conservare le modalità di visualizzazione ed i vari settaggi delle analisi** che verranno usate quando si riapre il file dei risultati o si rilancia un'analisi.

Usare il menu *Results – Open Resul File* o il pulsante  per riaprire il file dei risultati (Fig. 16).

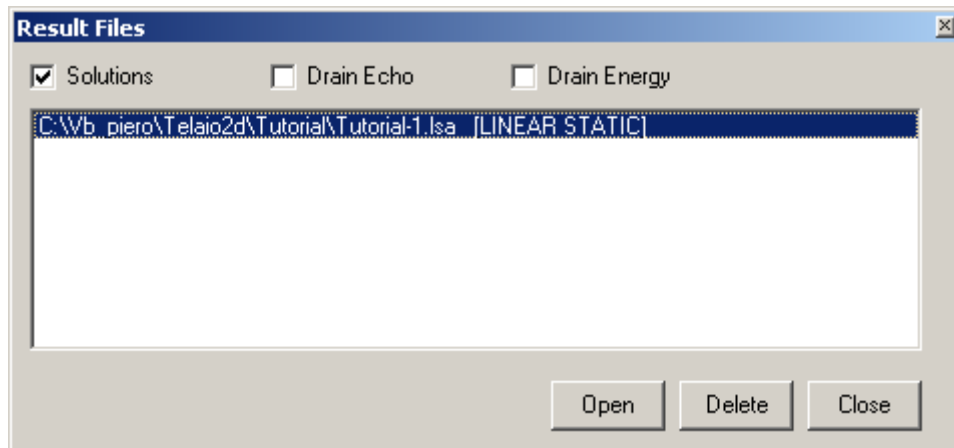


Fig. 16

Selezionare il file e cliccare su *Open* (oppure fare doppio click sul nome del file). Usare il comando *Delete* per cancellare il file dei risultati.

**Osservazione:** se si confrontano i risultati con un altro programma si tenga presente che Telaio2D **non considera la deformabilità a taglio** e quindi potrebbero esservi piccole differenze qualora l'altro programma ne tenga conto.

K+#\$ **ESEMPIO 2: INVILUPPO SOLLECITAZIONI**

**File dei dati: Tutorial-2.t2d**

La trave continua di Fig. 17 è soggetta al carico permanente caratteristico (valore di esercizio)  $g_k = 40 \text{ kN/m}$  ed al carico variabile  $q_k = 20 \text{ kN/m}$ . La sezione è rettangolare con  $b=100 \text{ cm}$ ,  $h=28 \text{ cm}$ , con calcestruzzo C25/30. Si vogliono tracciare i diagrammi inviluppo delle azioni interne allo stato limite ultimo (SLU).

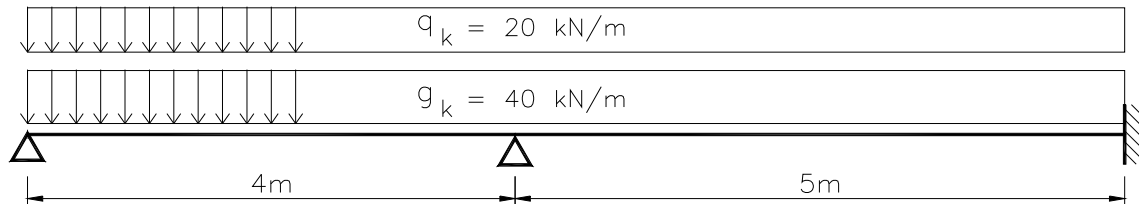


Fig. 17

Introdurre la geometria e la proprietà come illustrato nell'Esempio 1, utilizzando le unità di misura di default.

**Carichi:** Menu *Global – Load Cases*

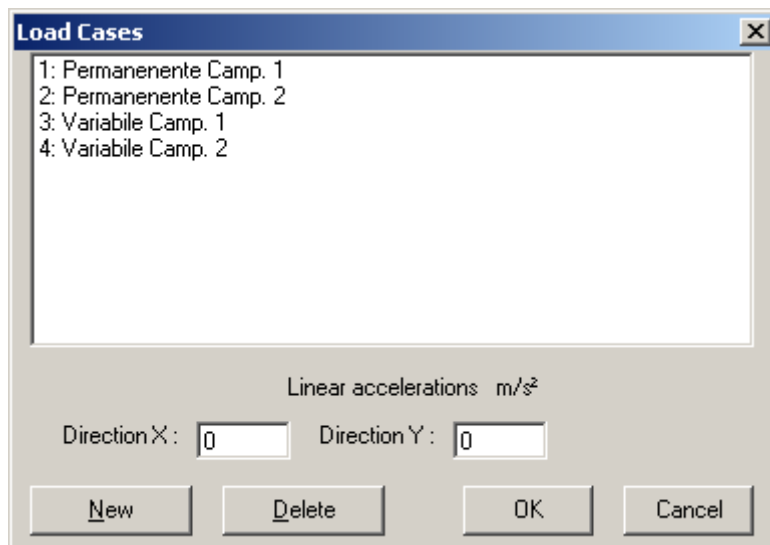


Fig. 18

Introdurre le quattro condizioni di carico di Fig. 18 usando il pulsante *New* e facendo doppio click su ciascun nome per modificarne la dizione di default.

Introdurre i valori dei carichi per ciascuna condizione (menu *Attributes – Beam – Distributed Loads*):

Load Case 1:  $q_Y = -40$  (elemento 1)

Load Case 2:  $q_Y = -40$  (elemento 2)

K Inviluppo sollecitazioni;

+ auto


# TUT\_020

\$ Esempio 2

Load Case 3:  $q_Y = -20$  (elemento 1)

Load Case 4:  $q_Y = -20$  (elemento 2)

**Soluzione:** menu *Solve – Linear Static*

Per visualizzare i diagrammi usare il pulsante . Esaminare le varie condizioni di carico selezionandole dalla casella combinata.

**Inviluppo:** menu *Results – Envelope*

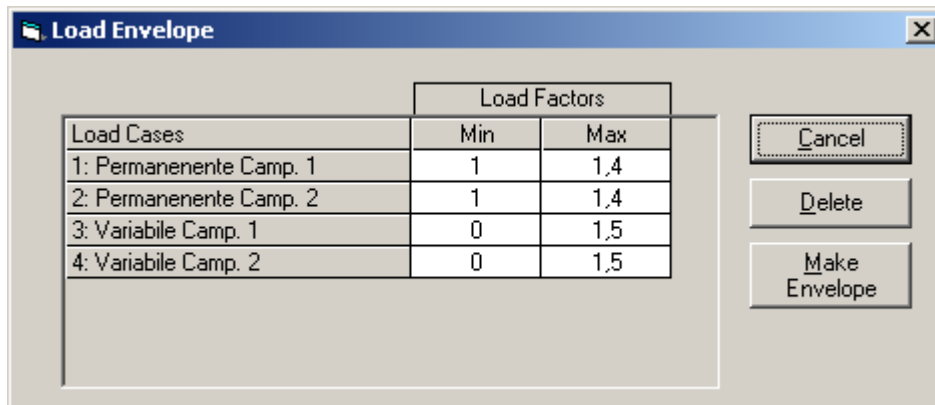


Fig. 19

Inserire i valori dei Load Factors (coefficienti parziali dei carichi) come illustrato in Fig. 19 e premere *Make Envelope*.

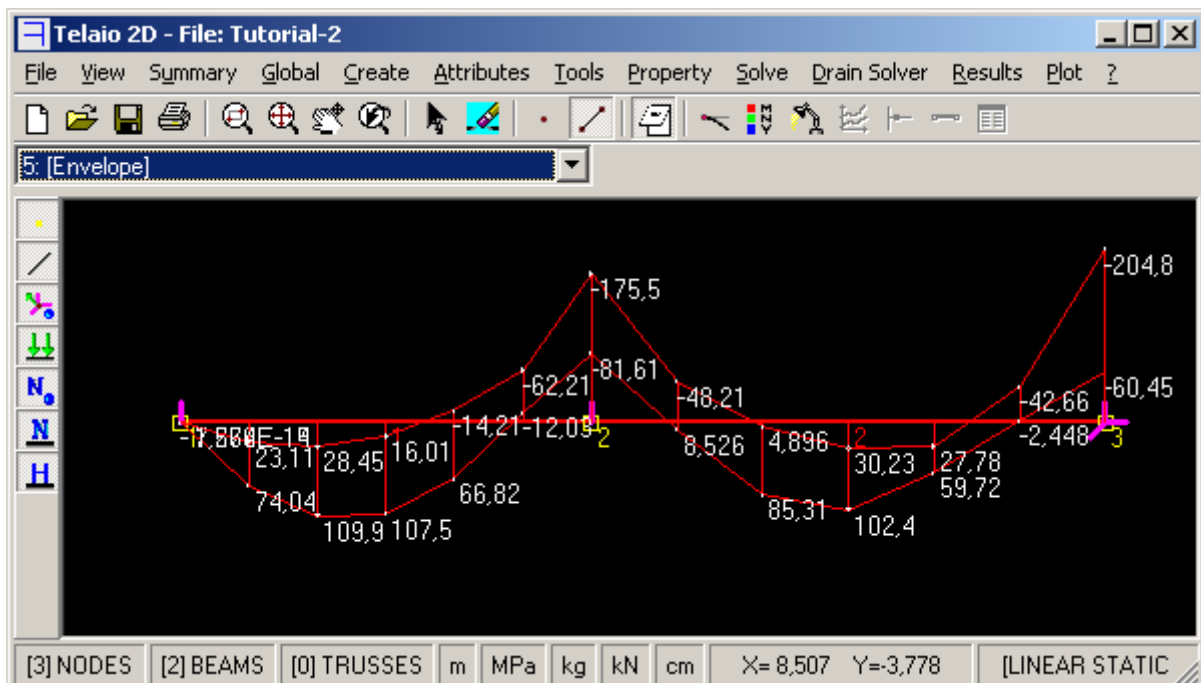



Fig. 20

In fig. 20 è mostrato il diagramma involuppo del momento (valori massimi e minimi). Usare lo strumento *Peek*  per analizzare i dettagli:



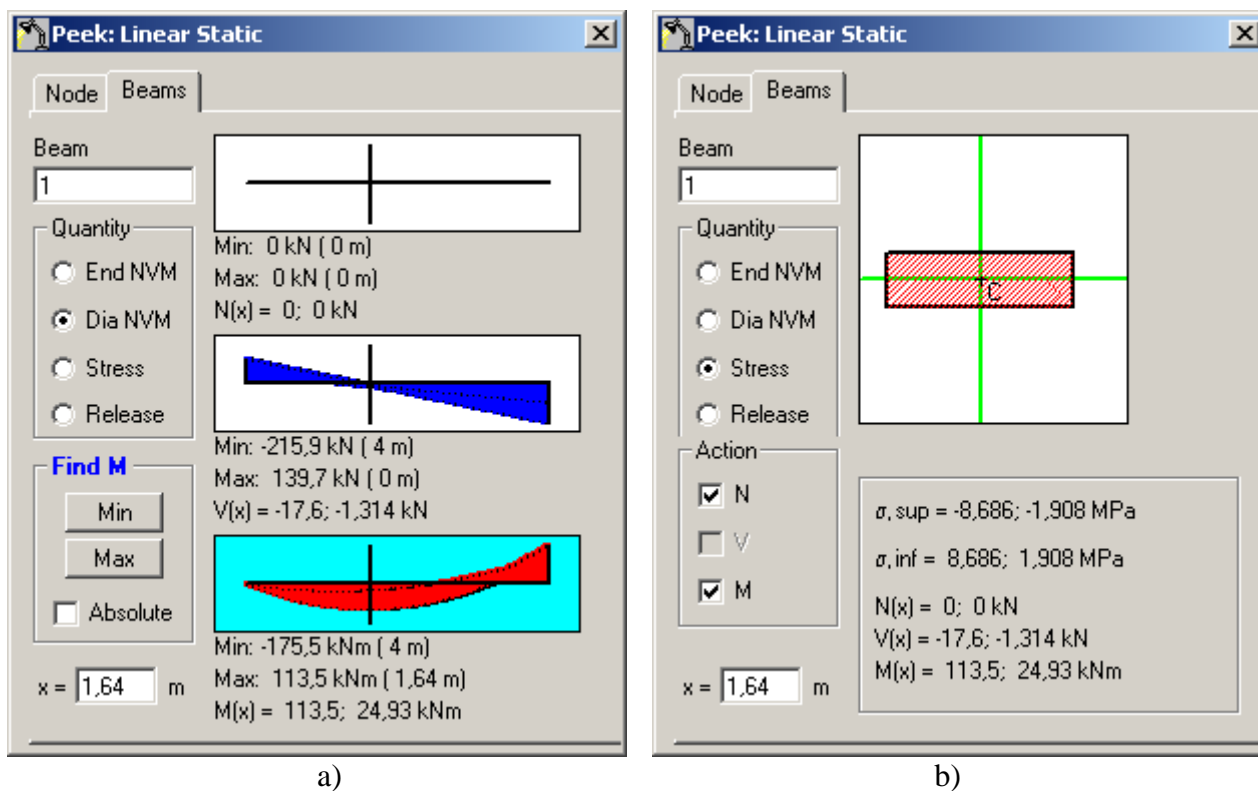


Fig. 21

In Fig. 21 a) è stato individuata la sezione con il valore massimo positivo del momento flettente cliccando sulla figura del momento (lo sfondo diventa ciano) e sul pulsante *Max*. Nella Fig. 21 b) sono mostrati i valori delle tensioni all'ascissa  $x=1,64$  m per entrambi i valori massimo e minimo del momento.

K+#\$ **ESEMPIO 3: ANALISI DI BUCKLING E ANALISI STATICA DEL SECONDO ORDINE**

**File dei dati: Tutorial-3.t2d**

Si illustrano le analisi di Buckling e del Secondo Ordine con l'esempio semplice della mensola di Fig. 22 per la quale si possono eseguire i calcoli manualmente.

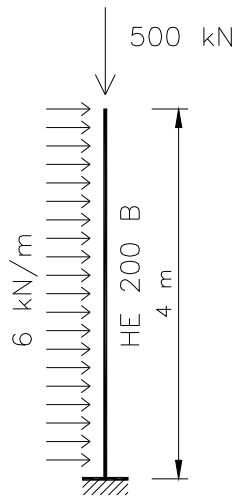


Fig. 22

Introdurre la geometria come illustrato nell'Esempio 1 con le unità di misura di default.

Menu *Property*:

- scheda *Material* - pulsante *Materials ...* selezionare Steel – OK
- scheda *Geometry* – pulsante *Profili* . Viene avviato il programma profili (è necessaria la versione 6.2 o successiva). Deselezionare IPE, selezionare HEB e cliccare su *Aggiorna Tabella*. Selezionare HE 200 B (Fig. 23).
- scheda *Section*: visualizza i dati della sezione
- pulsante *Close*

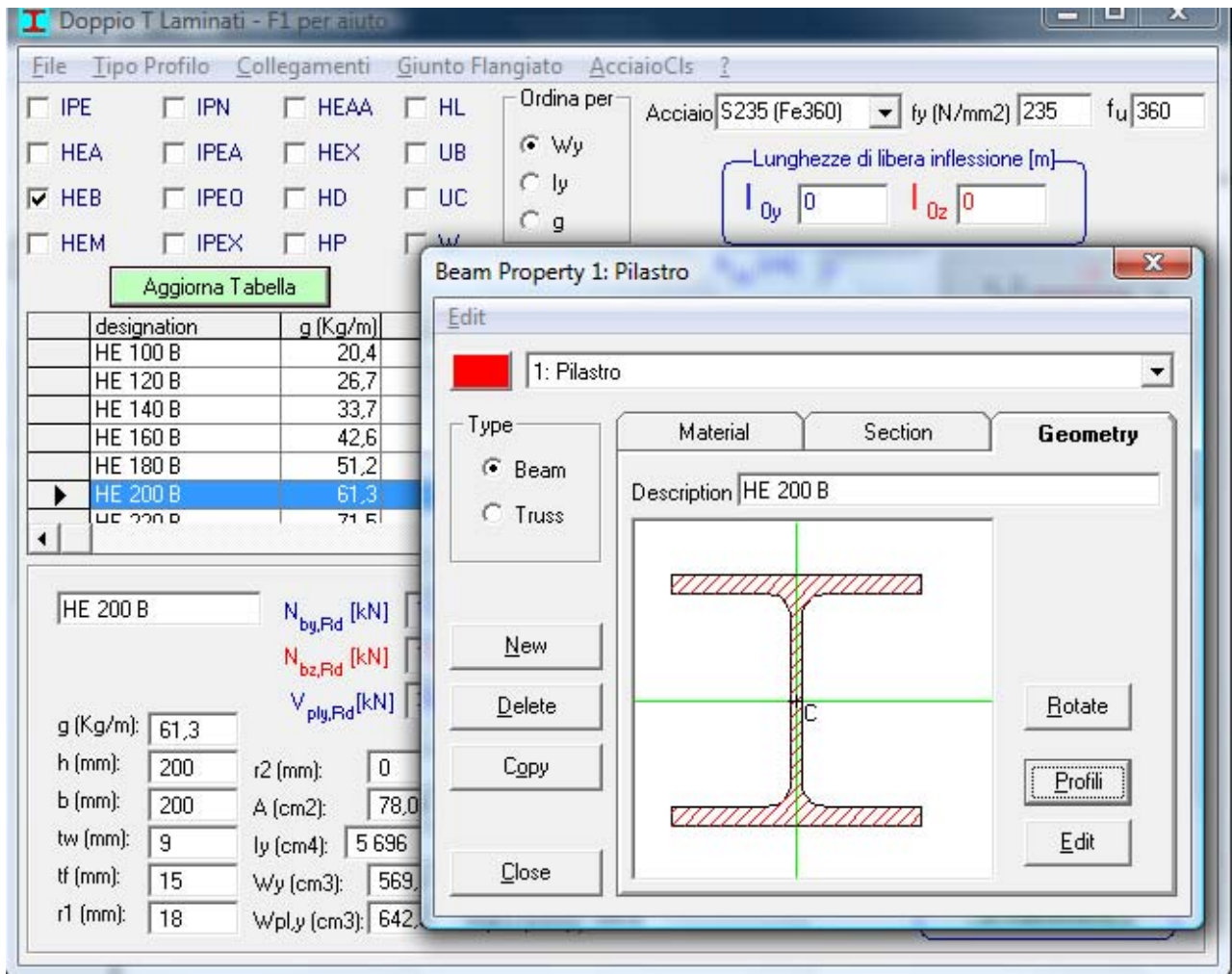


Fig. 23

Se si vuole eseguire successivamente la verifica di stabilità, aprire la scheda *Section* (Fig. 23').

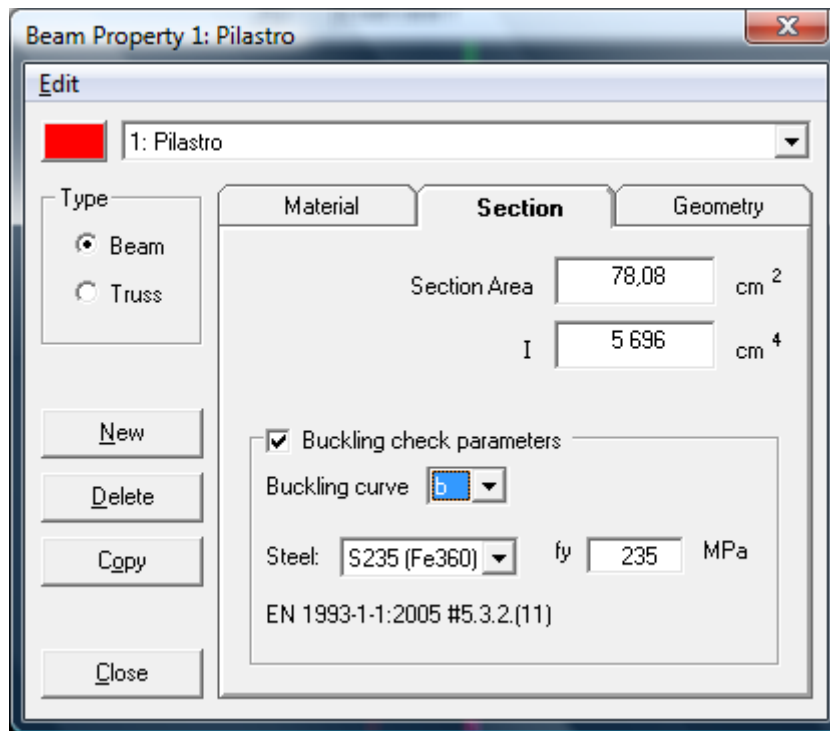


Fig. 23'

Selezionare *Buckling check parameters* ed introdurre la curva di stabilità (che viene caricata automaticamente dal programma Profili) ed il tipo di acciaio (il valore dello snervamento  $f_y$  può essere introdotto indipendentemente).

### Analisi Linear Buckling

Menu *Solve – Linear Static*: è necessario eseguire prima l'analisi statica lineare perchè per l'analisi successiva sono necessarie le azioni assiali.

Menu *Solve – Linear Buckling*

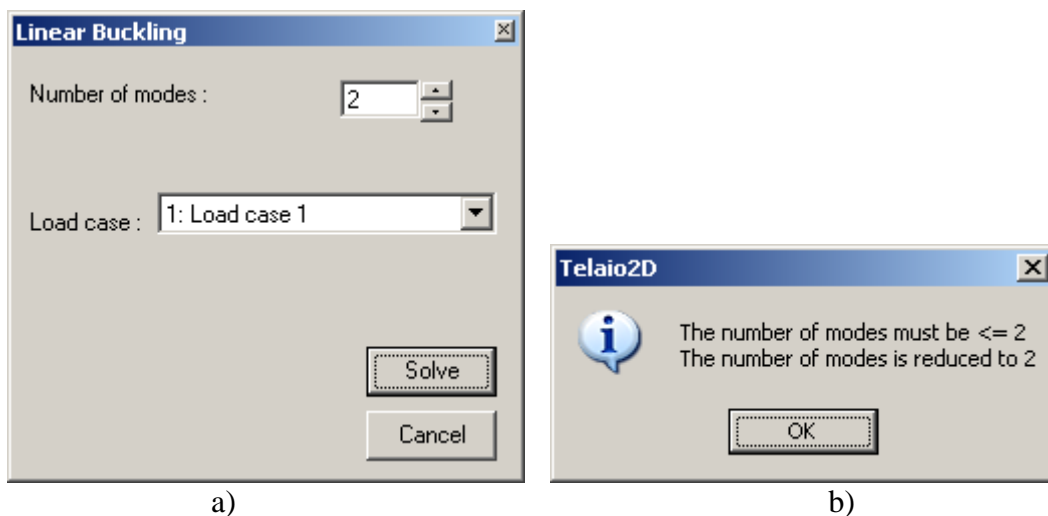


Fig. 24

Inserire il numero di modi da calcolare (se è maggiore del numero di autovalori compare il messaggio di Fig. 24 b). Scegliere il caso di carico per il quale calcolare il moltiplicatore critico delle azioni assiali (*Load case*).

Pulsante *Solve*:

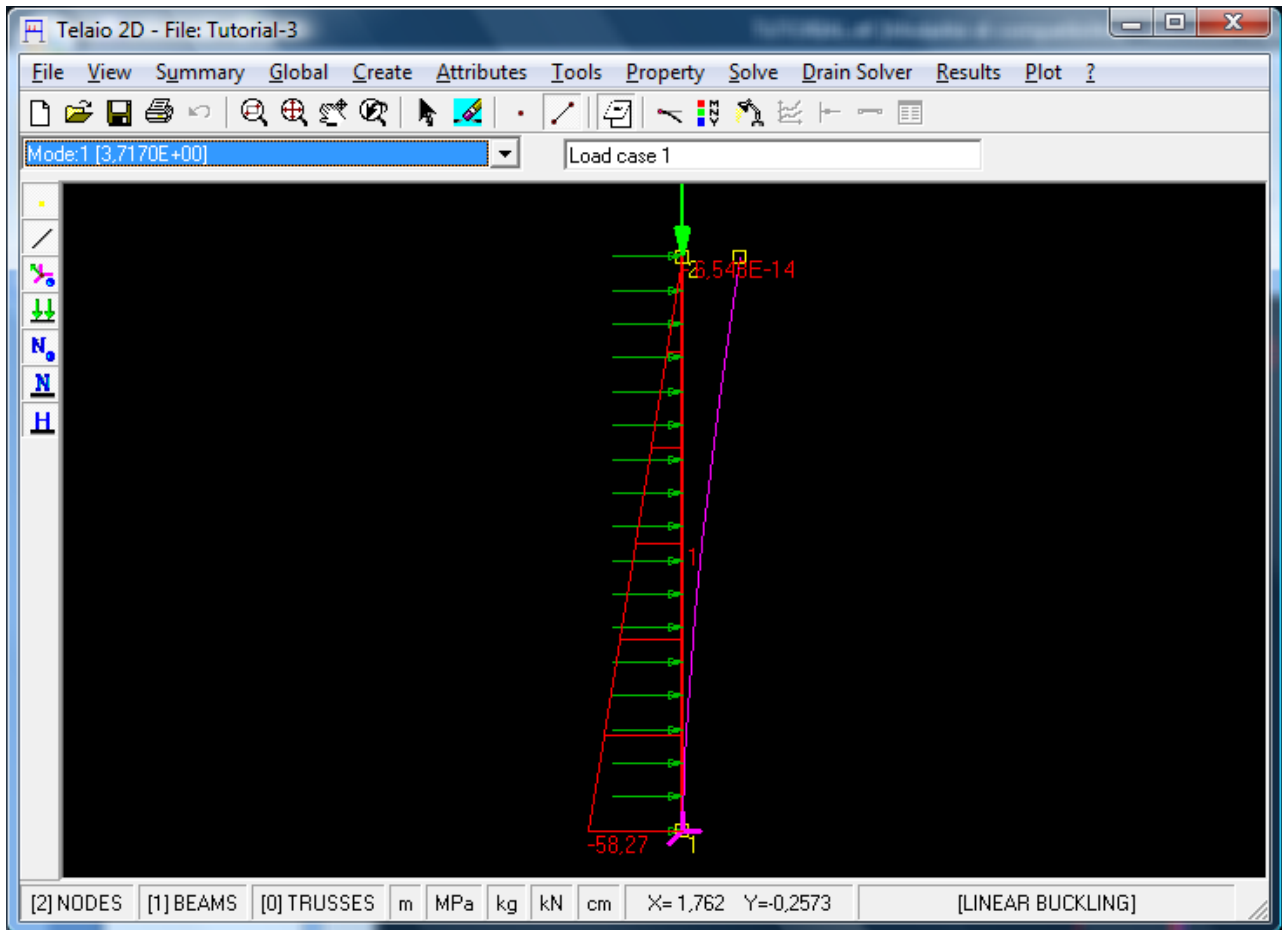


Fig. 25

Viene mostrato il primo modo (prima forma di instabilità): la biforcazione dell'equilibrio avviene con azioni assiali pari a 3,7170 volte quelle dell'analisi statica (500 kN), cioè per  $N=1858,5\text{kN}$ .

Il carico critico euleriano vale:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_0^2} = \frac{\pi^2 210000 \cdot 5696 \cdot 10^4}{8000^2} / 1000 = 1845 \text{ kN}$$


invece del valore 1858,5 fornito dal programma.


L'analisi agli elementi finiti, basata sull'utilizzo della matrice di rigidità geometrica anziché delle funzioni di stabilità, sovrastima leggermente il moltiplicatore critico; la soluzione migliora aumentando la discretizzazione.

Nell'esempio il problema di buckling si riduce a trovare l'autovalore della matrice:

$$\begin{bmatrix} 12 + 36\lambda & 6L + 3L\lambda \\ 6L + 3L\lambda & 4L^2 + 4L^2\lambda \end{bmatrix} \text{ con } \lambda = -\frac{PL^2}{30EI}$$

Poichè il valore dell'autovalore è  $\lambda = -0,082865$ , si ha  $P_{cr} = 1858,5$  kN

Il pulsante  permette di tracciare i diagrammi delle sollecitazioni del secondo ordine corrispondenti agli spostamenti dei nodi (le sollecitazioni non hanno significato fisico perché gli spostamenti dei nodi sono definiti nei mutui rapporti ma hanno ampiezza indeterminata). In Fig. 25 è tracciato il diagramma del momento che alla base vale 58,27 kNm. Questo valore corrisponde al prodotto dello spostamento in sommità (DX=0,03136 m) per il carico critico 1858,5 kN.

Il pulsante  permette di esaminare gli spostamenti dei nodi (i cui valori hanno significato solo considerando i loro mutui rapporti) e le sollecitazioni del secondo ordine corrispondenti (Fig. 25').

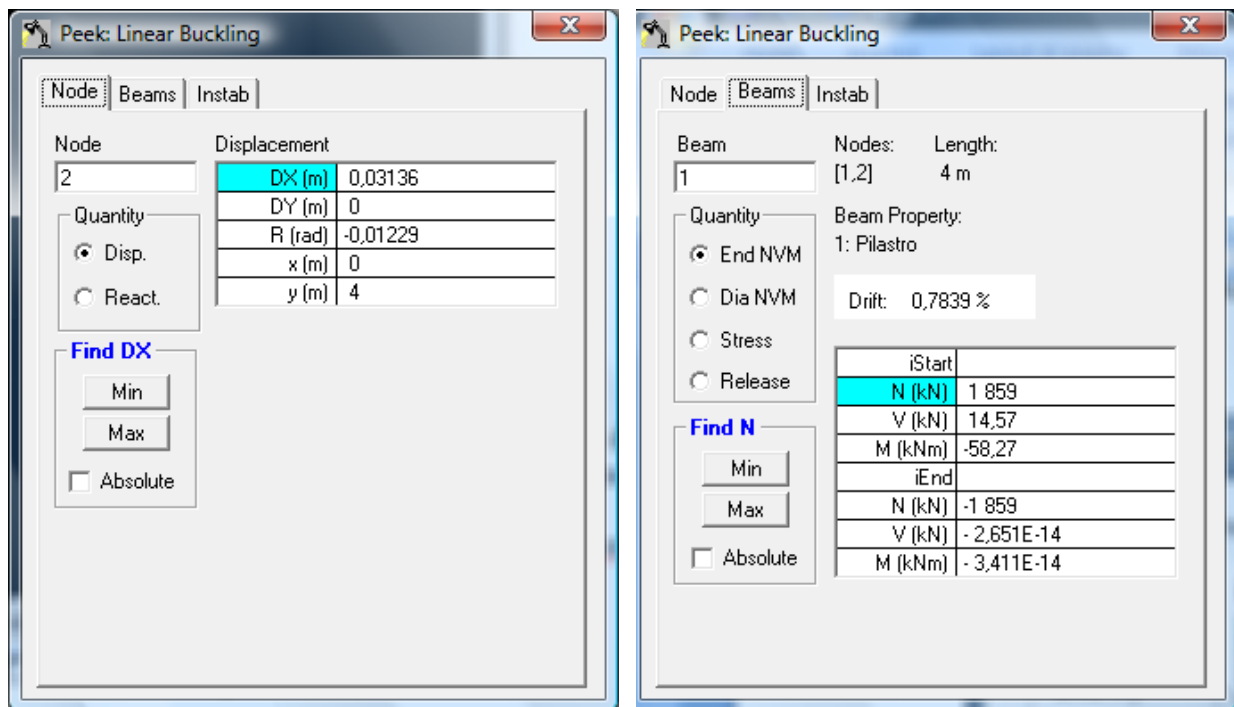


Fig. 25'

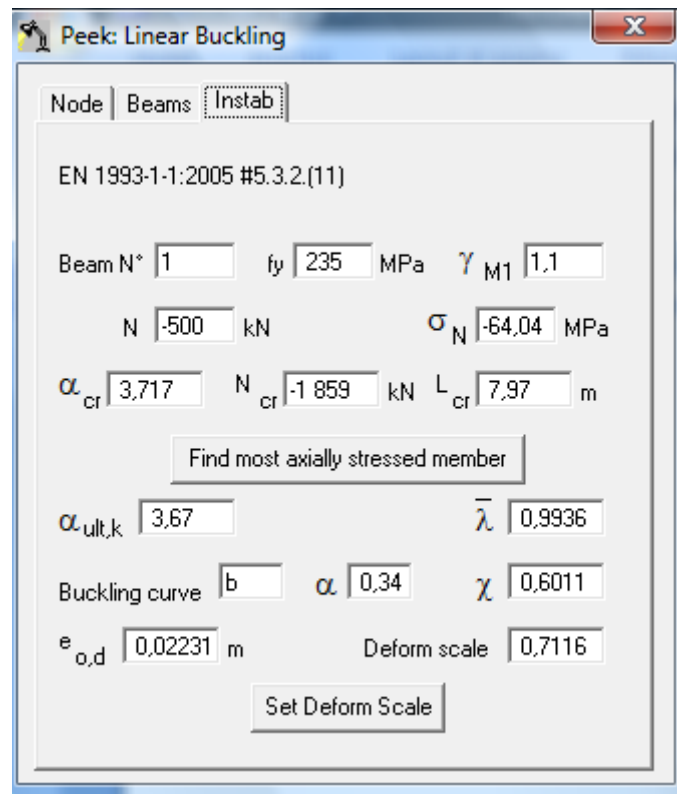


Fig. 25''

La scheda *Instab* (Fig. 25'') serve per impostare la verifica di stabilità secondo l'Eurocodice 3, edizione 2005, #5.3.2(11) utilizzando l'analisi del secondo ordine eseguita sulla struttura con deformata proporzionale alla deformata critica.

Nella scheda sono presenti i seguenti parametri:

- $\gamma_{M1}$  = coefficiente parziale di sicurezza
- $L_{cr}$  = lunghezza di libera inflessione equivalente dell'asta selezionata
- $\alpha_{ult,k} = f_y/\sigma_N$  = moltiplicatore dell'azione assiale per raggiungere la resistenza plastica
- $\bar{\lambda}$  = snellezza adimensionale
- $\alpha$  = fattore di imperfezione relativo alla curva di stabilità
- $\chi$  = coefficiente di riduzione per carico di punta relativo alla curva di stabilità
- $e_{o,d}$  = imperfezione geometrica di progetto

Il pulsante *Find most axially stressed member* permette di individuare l'asta con il valore massimo del rapporto  $\sigma_N/f_y$ , in base alla quale viene impostata la scala della deformata. Fra le varie aste con lo stesso rapporto  $\sigma_N/f_y$  viene selezionata quella col valore massimo del momento flettente.

Cliccare sul pulsante *Set Deform Scale* per impostare la scala della deformata (visualizzata nella casella di testo *Deform scale*, che può essere modificata solitamente per cambiarne il segno) prima di salvare la struttura (menu – *Save Deform*).

Viene proposto per il nuovo file il nome di default. Cliccare su *Salva*.

Nella nuova struttura il nodo 2 ha ascissa 0.02231 m.

## Analisi del secondo ordine

Menu *Solve* - *Linear Static*

Menu *Solve* - *Second Order Static*

Se si desidera modificare la scala della deformata.

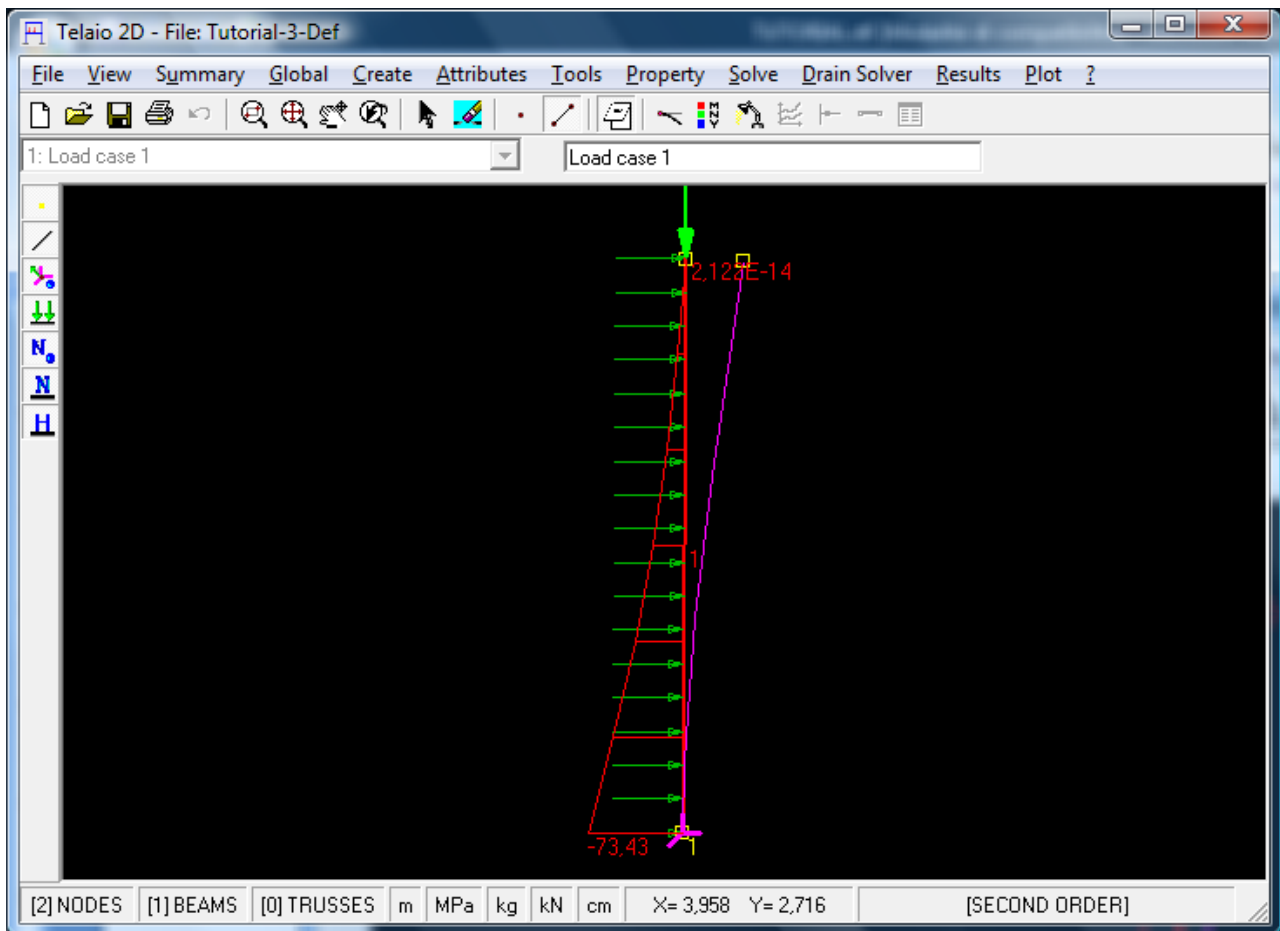
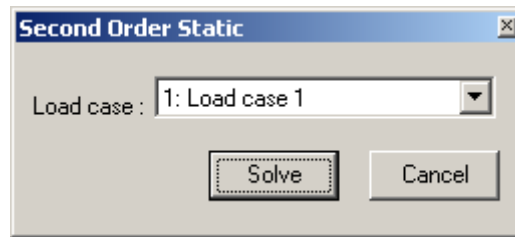


Fig. 26

Lo spostamento orizzontale del secondo ordine  $DX_2$  in sommità (strumento *Peek*) è di 0,02855 m contro il valore  $DX_1=0,02102$  dell'analisi del primo ordine. Il calcolo manuale, con la formula approssimata, fornirebbe:

$$DX_2 = \frac{DX_1}{1 - P/P_{cr}} = \frac{DX_1}{1 - 1/\alpha_{cr}} = \frac{0,02102}{1 - 1/3,717} = 0,02876 \text{ m}$$

Alla base il momento del secondo ordine vale  $M_2=73,43$  kNm (l'analisi linear static fornisce invece  $M_1=59,16$  kNm).



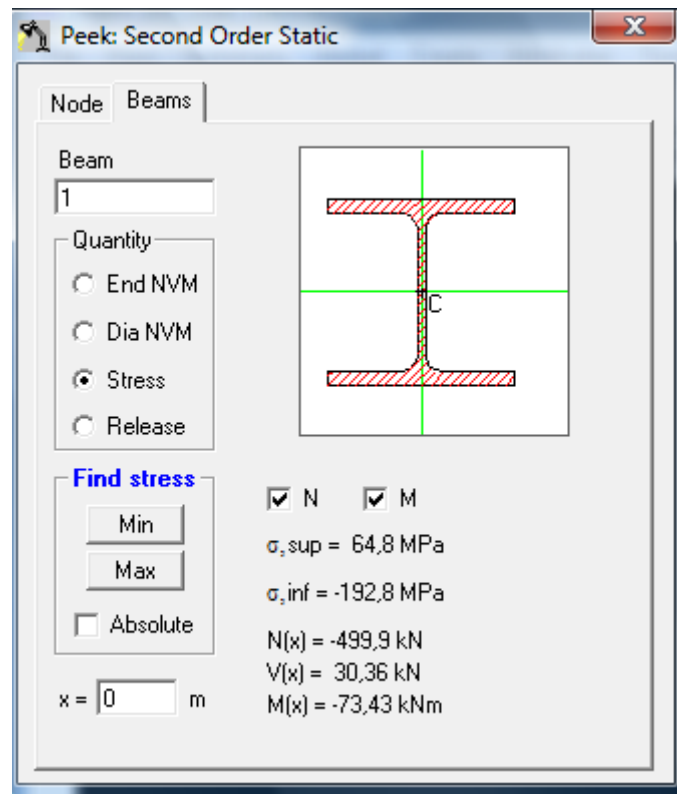


Fig. 26'

La tensione massima di compressione pari a 192,8 MPa (Fig. 26') è inferiore al valore della resistenza di progetto  $f_{yd} = f_y / \gamma_{M1} = 235 / 1,1 = 213,6$  MPa. La verifica di stabilità è quindi soddisfatta.

**Osservazione:** le analisi di Buckling e del Secondo Ordine sono entrambe basate sull'ipotesi di piccoli spostamenti. Pertanto l'analisi del Secondo Ordine non fornisce risultati corretti quando la distribuzione delle azioni assiali si avvicina al valore critico ( $m_{cr}$  tende a 1) perchè le deformazioni tenderebbero all'infinito.

K+#\$ **ESEMPIO 4: FREQUENZE NATURALI E SPETTRO DI RISPOSTA**

**File dei dati: Tutorial-4.t2d**

I dati geometrici, i carichi verticali da combinare con l'azione sismica e le masse di piano sono indicati in Fig. 27.

Inserire la geometria e i carichi come indicato nell'Esempio 1, utilizzando le unità di misura di default.

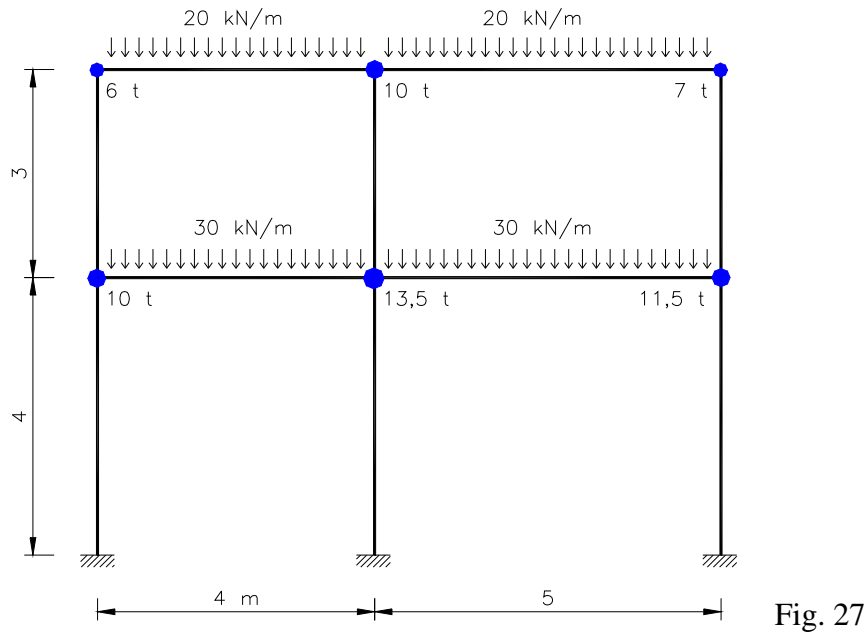


Fig. 27

**Assegnare le masse:** menu *Attributes – Node – Translational Mass* (Fig. 28).

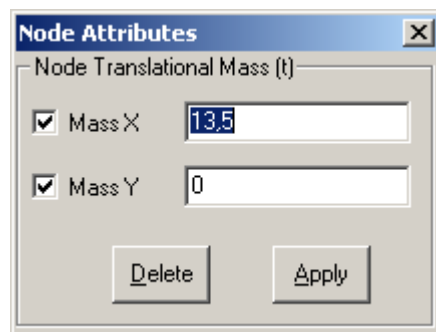


Fig. 28

Il telaio appare come in Fig. 29.

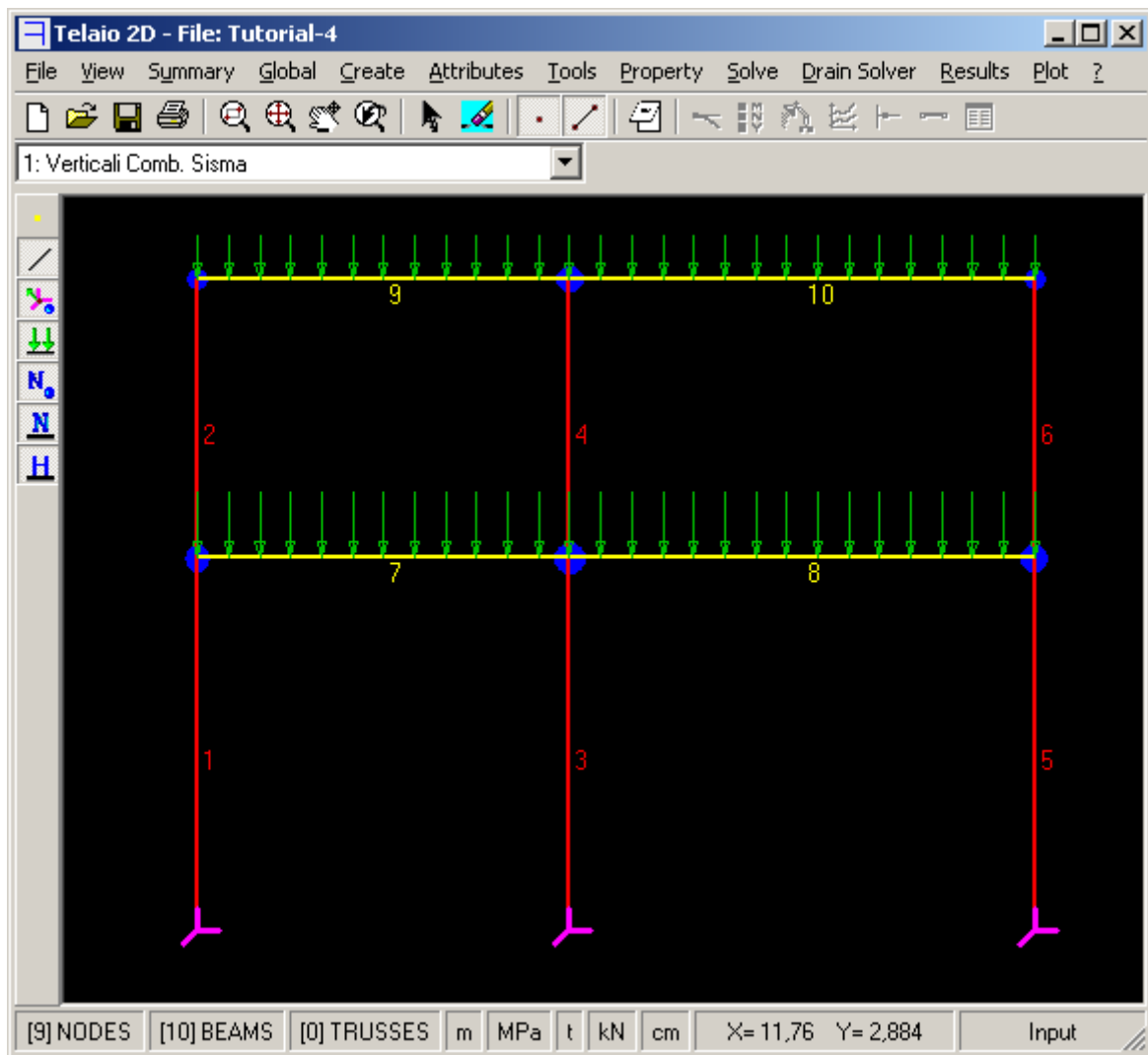


Fig. 29

Assegnare le proprietà:

- 1: Pilastrini – Steel – HE 200 B
- 2: Travi – Steel – IPE 240

Lanciare l'analisi *Linear Static*

### Frequenze proprie

Menu *Solve – Natural Frequencies*

Nella finestra di dialogo di Fig. 30 selezionare il numero di modi (4 è il valore default), selezionare l'opzione *Mode Participation* che fa calcolare i coefficienti di partecipazione, inserire  $X=1$ ,  $Y=0$  per definire la direzione del sisma.

Normalmente lasciare deselezionata l'opzione *Second order effects*.

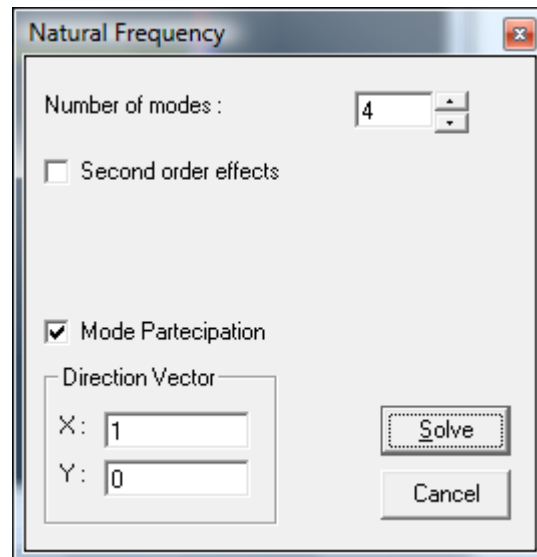


Fig. 30

The 'Natural Frequency List' window displays the following data:

**FREQUENCY RESULTS**

Mode	Eigenvalue	Frequency (rad/s)	Frequency (Hertz)	Period (s)
1	5,5496E+01	7,4495E+00	1,1856E+00	8,4343E-01
2	6,8535E+02	2,6179E+01	4,1666E+00	2,4001E-01
3	1,6721E+04	1,2931E+02	2,0580E+01	4,8590E-02
4	2,7119E+04	1,6468E+02	2,6210E+01	3,8154E-02

**MODE PARTICIPATION**

Mode	Frequency (Hz)	Period (s)	PF+ (%)
1	1,186E+00	0,84343	94,940
2	4,167E+00	0,24001	5,060
3	2,058E+01	0,04859	0,000
4	2,621E+01	0,03815	0,000

TOTAL MASS PARTICIPATION FACTORS 100,000 %  
 \* Excitation direction: (1,000 0,000)

Fig. 31

In Fig. 31 è mostrato l'output numerico dell'analisi. Si nota che la somma dei coefficienti di partecipazione PF dei primi 2 modi è il 100%.

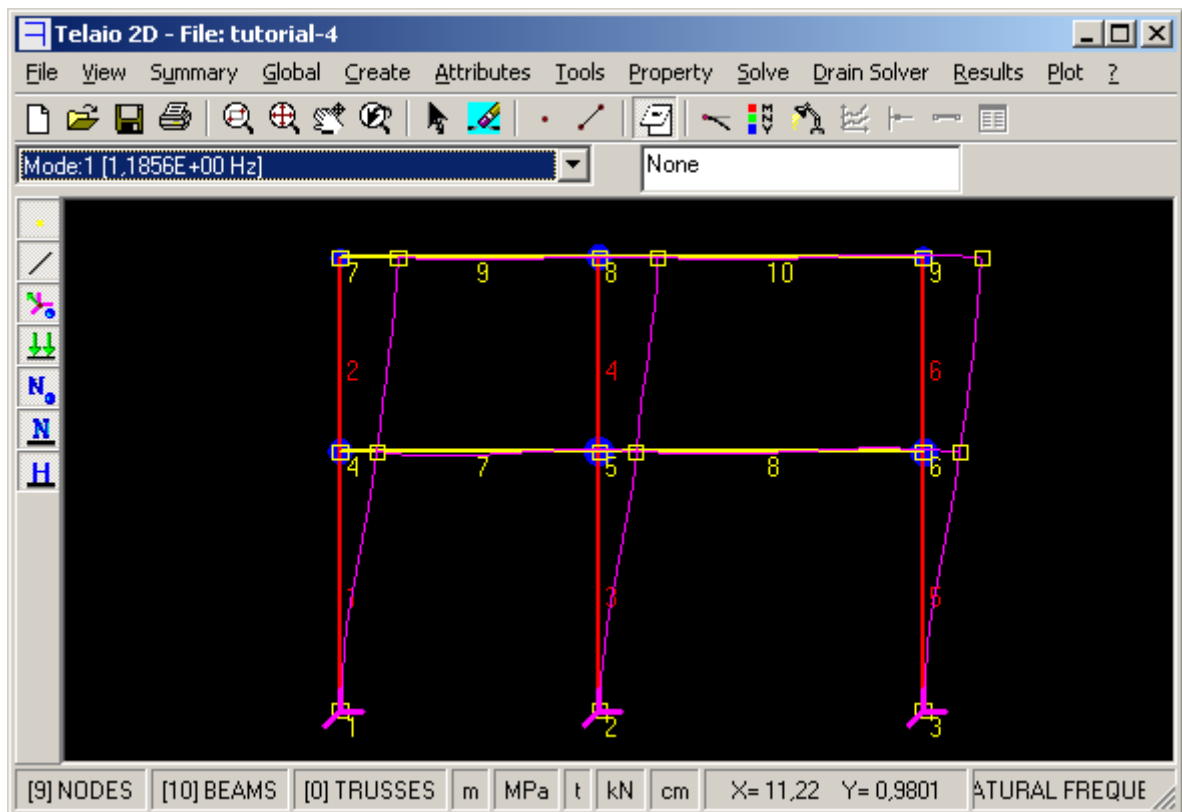


Fig. 32

In Fig. 32 è mostrata la deformata del primo modo.

## Analisi Spetto di Risposta

Menu *Solve* – *Spectral Response*

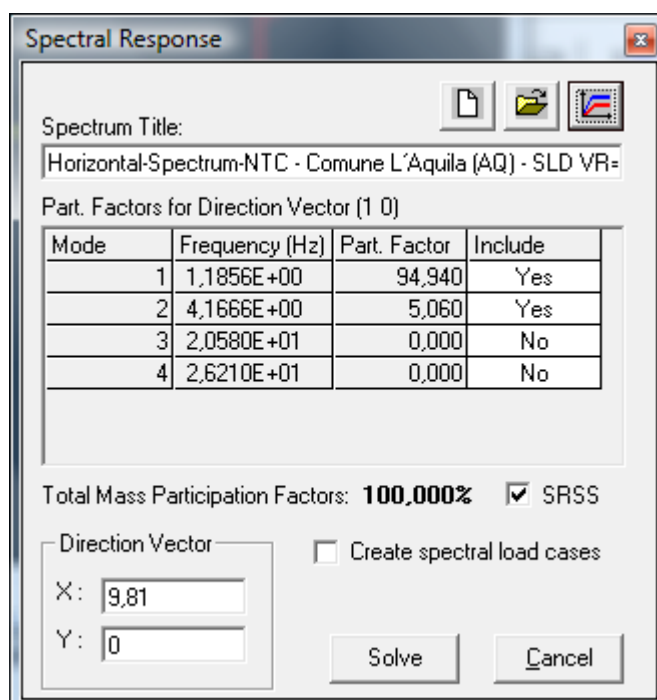





Fig. 33

L'opzione *Create spectral load cases* permette di creare condizioni di carico con forze orizzontali i cui effetti sono equivalenti a quelli dell'analisi a spettro di risposta. Cliccare su  per **importare** i dati dello spettro da un file di testo con estensione \*.Srf. Cliccare su  per visualizzare lo spettro.

### Creazione dello spettro di risposta secondo la normativa Stato Limite di danno

Cliccare su  per aprire la finestra di Fig. 34 che permette di calcolare lo spettro di risposta secondo le NTC 2008 o l'Ordinanza 3274. Selezionare SLD (**Stato Limite di Danno**). Il fattore di struttura  $q$  per lo SLD deve essere impostato su 1.

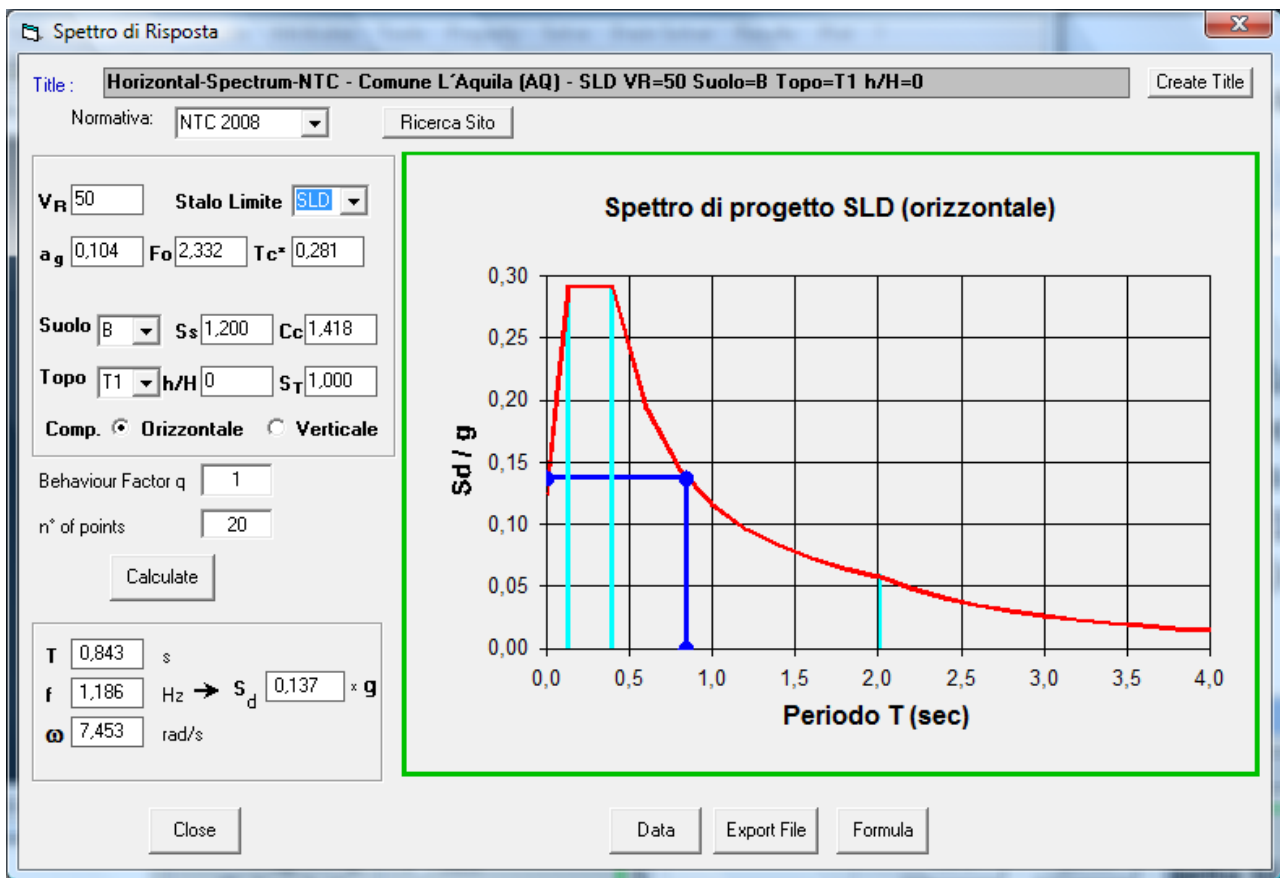


Fig. 34

Cliccare su *Create Title* per creare automaticamente il titolo che può essere successivamente editato.

Cliccare su *Close* per tornare alla Fig. 33.

Con riferimento alla Fig. 33 cliccare sulla colonna **Include** per selezionare i modi da includere nell'analisi. Inserire i valori in *Direction Vector*. Selezionare la combinazione dei modi SRSS.

Selezionare *Create spectral load cases* per creare load cases con carichi statici orizzontali equivalenti, che possono essere impiegati in successive analisi statiche. Questi carichi vengono denominati automaticamente Spectral loads i.

Click su *Solve*.

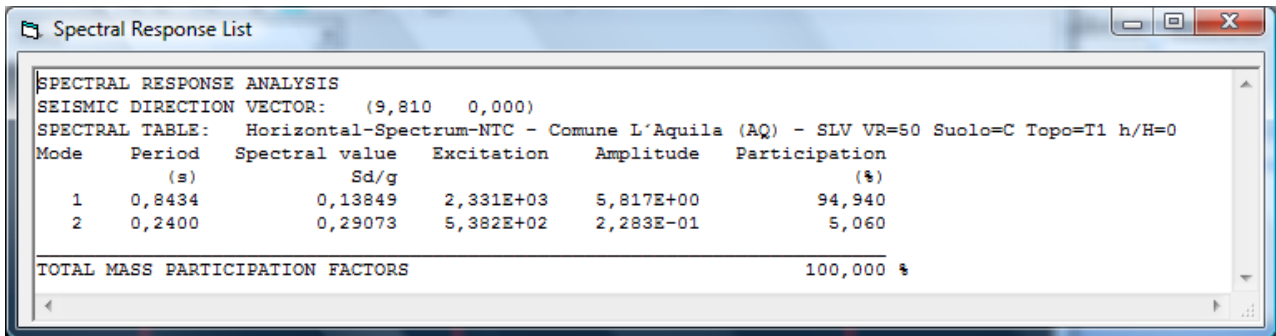


Fig. 35

In fig. 35 sono riportati i risultati numerici dell'analisi. I valori di Excitation e Amplitude hanno il seguente significato:

Excitation = Direction Vector · Coefficiente di partecipazione

Amplitude = Excitation · Spectral value / autovalore

Spostamento spettrale = Amplitude · autovettore

Il Coefficiente di partecipazione  $\Gamma$  è dato da:

$$\Gamma = \frac{\sum m_i \phi_i}{\sum m_i \phi_i^2}$$

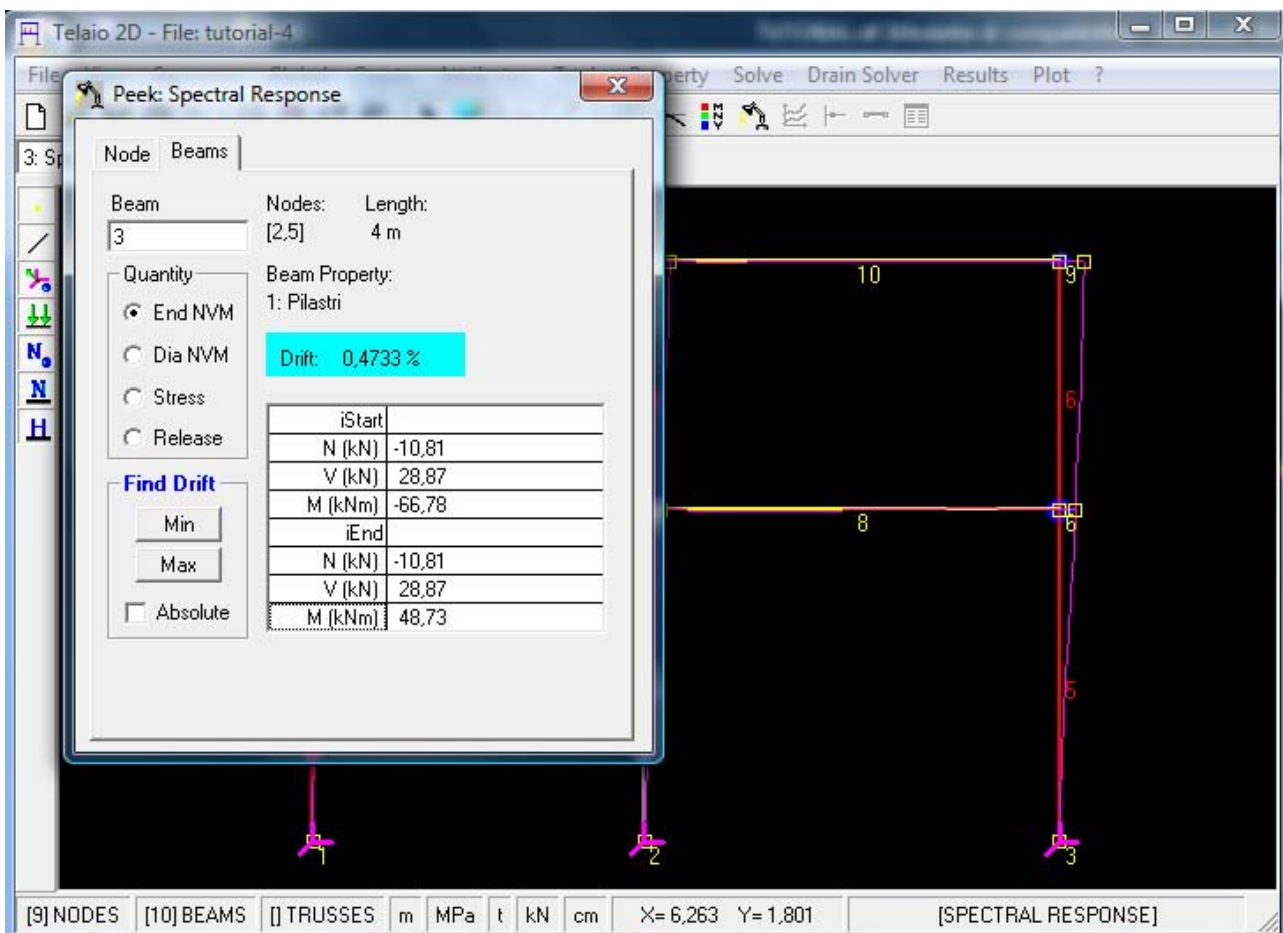



Fig. 36

In Fig. 36 è riportata la deformata della combinazione SRSS (scala 10) ed il valore massimo del *drift* (rapporto fra lo spostamento  $d_r$  di piano e la sua altezza  $h$ ). Per ottenere questo valore selezionare la casella *drift* (viene evidenziata in ciano) e cliccare sul pulsante *Max*. L'elemento col valore massimo viene evidenziato in grigio. Secondo le NTC e l'Ordinanza 3274 deve essere comunque:  $d_r/h < 1\%$ .

### Stato Limite Ultimo

Fattore di struttura  $q = q_0 k_D k_R = 6,5$  con:

$$q_0 = 5 \alpha_u / \alpha_1 = 5 \cdot 1,3 = 6,5 \quad k_D = 1 \quad k_R = 1$$

Con riferimento alla Fig. 33 cliccare su  per aprire la finestra di Fig. 37. Selezionare SLV e inserire il fattore di struttura  $q$ . Premere *Close*.

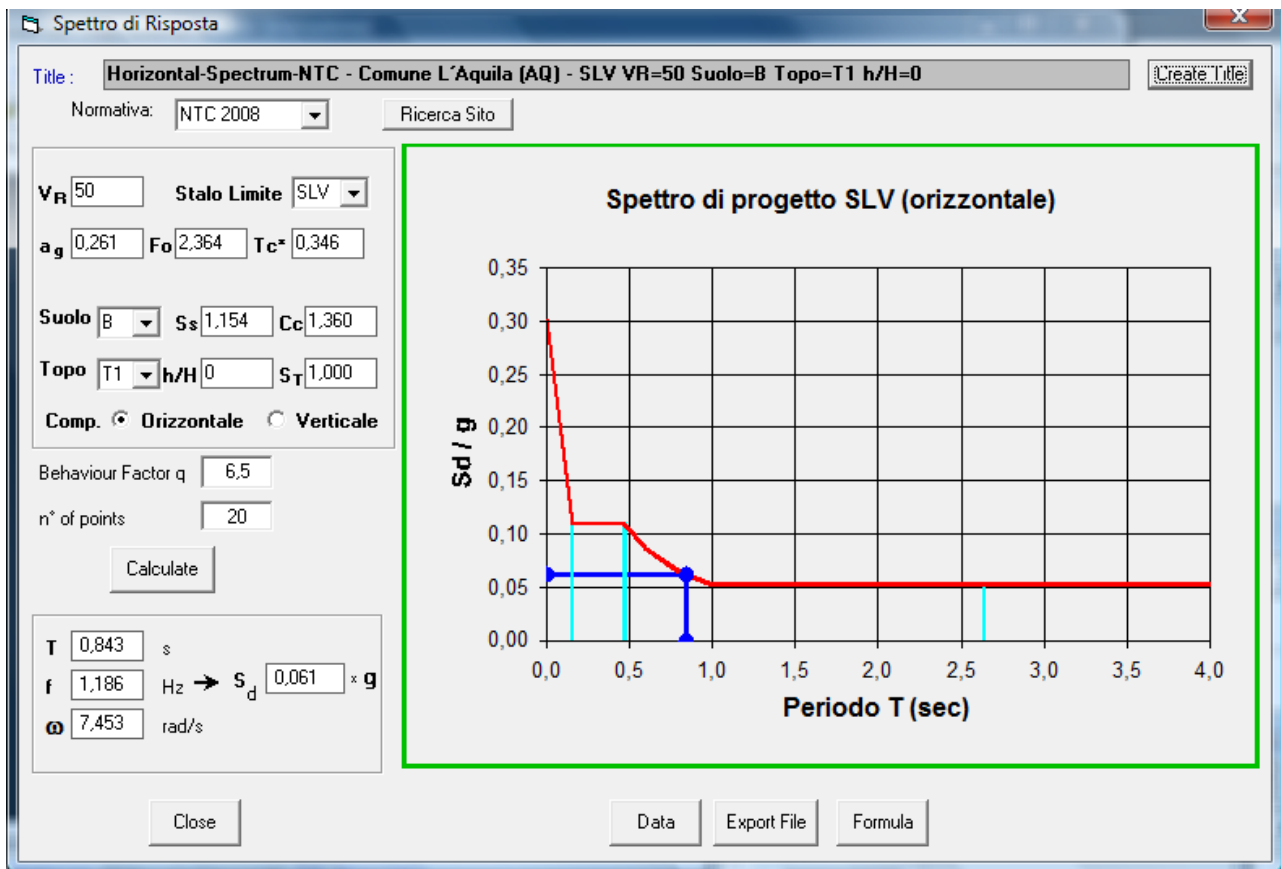


Fig. 37

Con riferimento alla Fig. 33 cliccare su *Solve*.

### Combinazione dei carichi sismici con i carichi verticali statici:

Menu *Solve* – *Combine Spectral+Static*



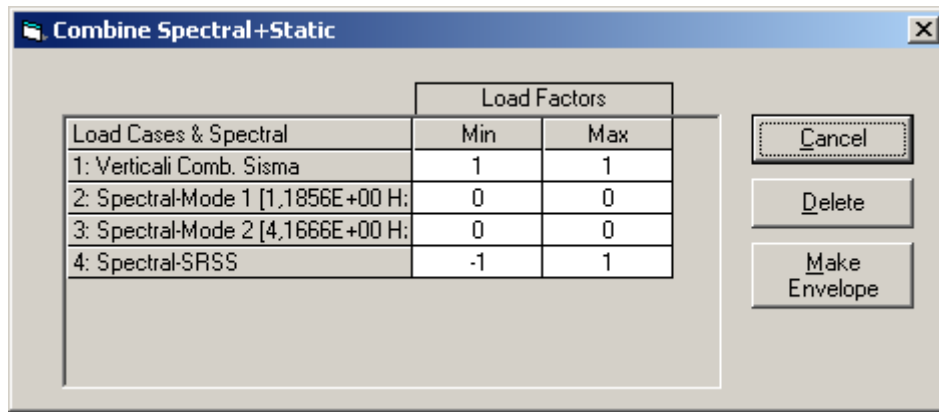


Fig. 38

Inserire i *Load Factors* come in Fig. 38. Premere *Make Envelope*.  
Visualizzare i diagrammi (Fig. 39).

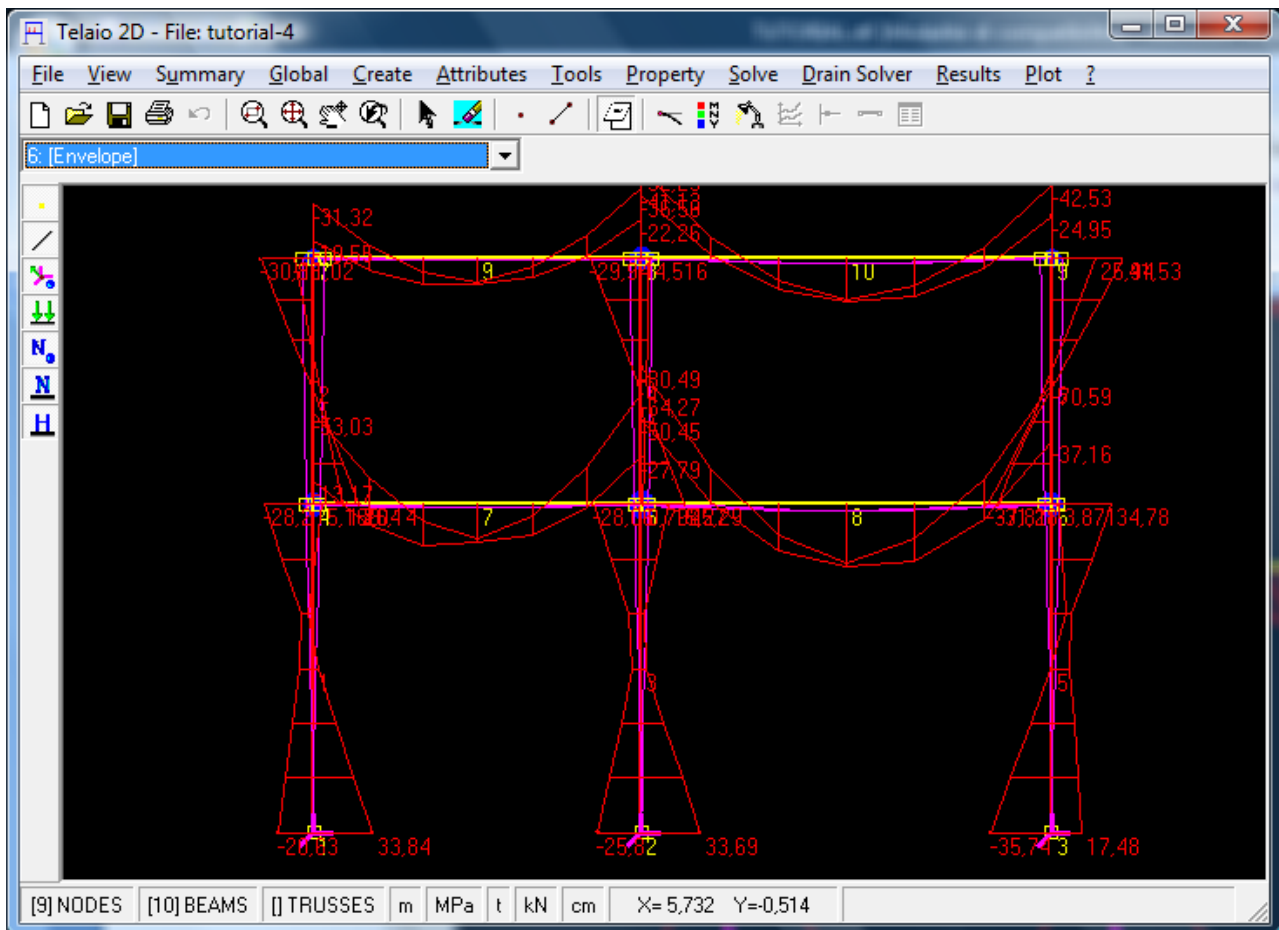


Fig. 39

K+#\$ **ESEMPIO 5: NON LINEAR STATIC**

**File dei dati: Tutorial-5.t2d**

I dati geometrici e i carichi sono indicati in Fig. 1. La trave è un IPE 300.

**Inserire la geometria e i carichi** come indicato nell'Esempio 1, utilizzando le unità di misura di default.

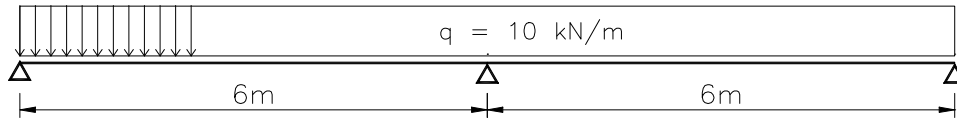


Fig. 1

Si vuole analizzare il comportamento non lineare fino a collasso, utilizzando il solutore *Non Linear Static* del menu *Drain Solver*.

Poiché il solutore non lineare di *Drain* prevede solo carichi applicati ai nodi e quindi il carico distribuito viene trasformato in forze concentrate applicate ai nodi, è necessario inserire nodi intermedi suddividendo le campate (Menu *Tools-Subdivide*). Come prima approssimazione nel file di esempio le campate sono state suddivise in due parti. Per un confronto è stata inoltre inserita una copia della struttura caricata con le forze nodali equivalenti ( $FY = -10 \cdot 3 = -30 \text{ kN}$ ).

**Definire le proprietà**

Menu *Property*: inserire il materiale acciaio e il profilo IPE 300 (Fig. 2 a).

---

<sup>K</sup> Non Linear Static;Analisi statica non lineare;Cerniere plastiche  
<sup>+</sup> auto  
<sup>#</sup> TUT\_050  
<sup>\$</sup> Esempio 5

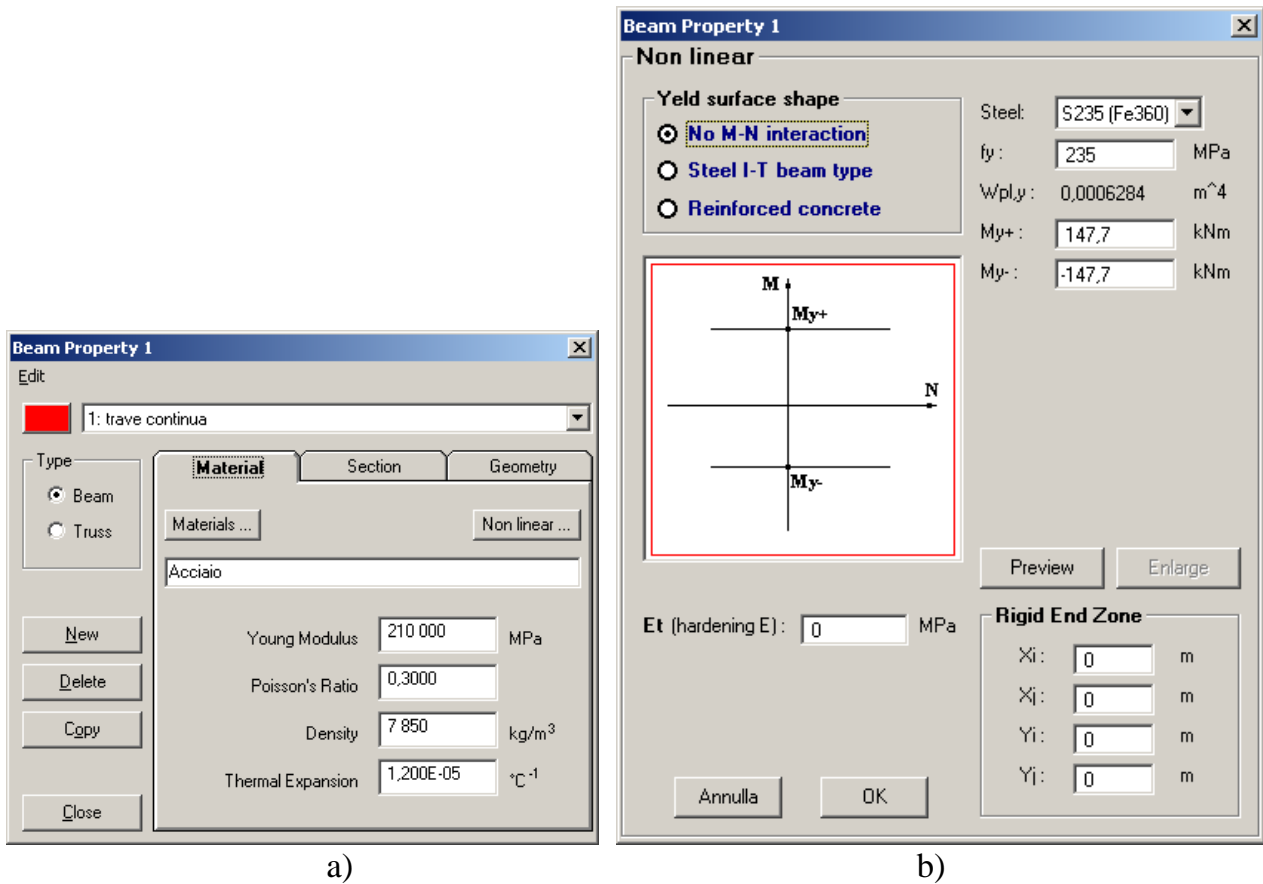


Fig. 2

Click su *Non linear...* : come superficie di snervamento scegliere *No M-N interaction* e selezionare il tipo di acciaio (Fig. 2 b). Nelle caselle *My+* e *My-* vengono automaticamente caricati i valori dei momenti plastici positivo e negativo ( $M_y = f_y \cdot W_{ply,y}$ ), che possono comunque essere cambiati manualmente. Uscire premendo *OK* e *Close*.

**Lancio dell'analisi statica non lineare:** menu *Drain Solver – Non Linear Static*

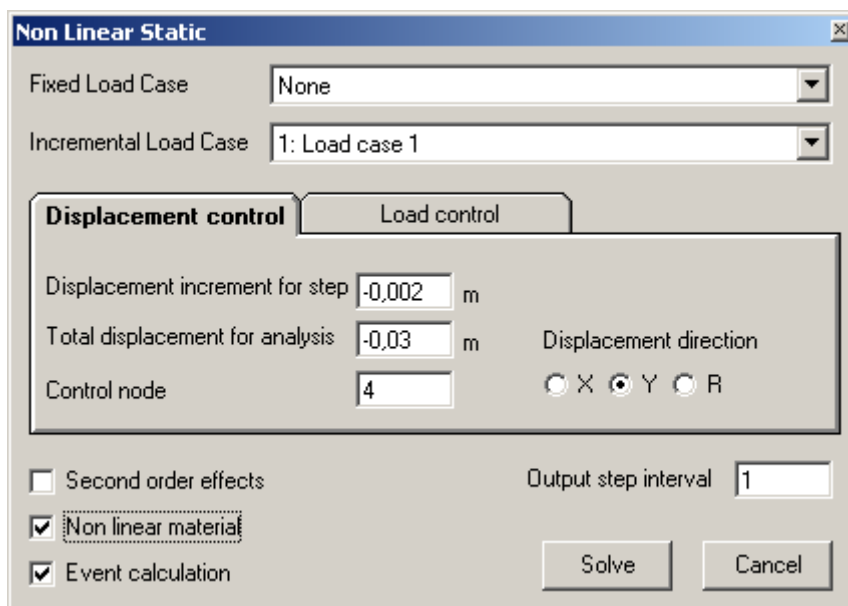


Fig. 3

Il solutore prevede la possibilità di sovrapporre gli effetti di una condizione di carico iniziale che rimane costante (*Fixed Load Case*) agli effetti di una condizione di carico che viene variata (*Incremental Load Case*). In questo esempio si considera solo la seconda condizione di carico (Fig. 3).

Si sceglie l'**analisi a controllo di spostamento** (*Displacement control*) che permette di eseguire l'analisi anche oltre il collasso. Selezionare Y come direzione dello spostamento (*Displacement direction*) e cliccare sul nodo 4 a metà campata per inserirlo come *Control node*.

Inserire l'incremento di spostamento ad ogni passo di calcolo (*Displacement increment for step*) e lo spostamento totale dell'analisi (*Total displacement for analysis*).

Selezionare le opzioni materiale non lineare (*Non linear material*) e calcolo degli eventi (*Event calculation*). Con quest'ultima opzione Drain inserisce automaticamente passi intermedi quando necessario (quando cambia significativamente la matrice di rigidezza).

Inserire l'intervallo dei passi in output (*Output step interval*). Nell'esempio i risultati di tutti i passi verranno mostrati in output.

Click su *Solve*: appare la finestra di Fig. 4 con l'echo dell'output a schermo di Drain. Notare la scritta COMPLETED che indica l'esito positivo dell'analisi.

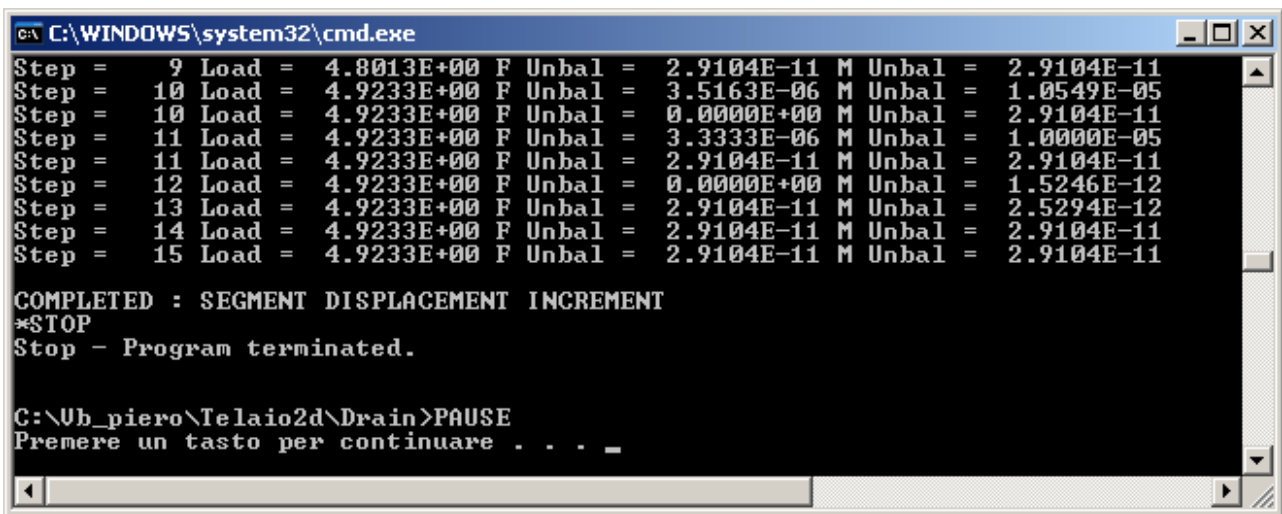


Fig. 4

Premere un tasto per continuare. Appare il messaggio di Fig. 5. Premere invio per continuare.



Fig. 5

Se l'analisi non ha avuto esito favorevole appare il messaggio di Fig. 6.

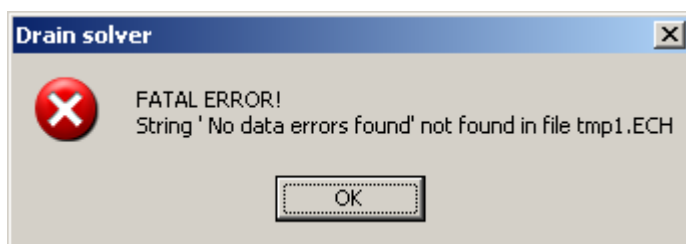


Fig. 6

I risultati vengono caricati automaticamente dal file di output di Drain. Cliccare sulle frecce (o usare la rotella del mouse) per scorrere gli incrementi di carico. In Fig. 7 è mostrato il diagramma del momento flettente corrispondente al moltiplicatore 4,541 dei carichi. Questo passo di carico è il secondo incremento col numero 8: il primo è stato introdotto da Drain in corrispondenza del raggiungimento del momento plastico sull'appoggio centrale.

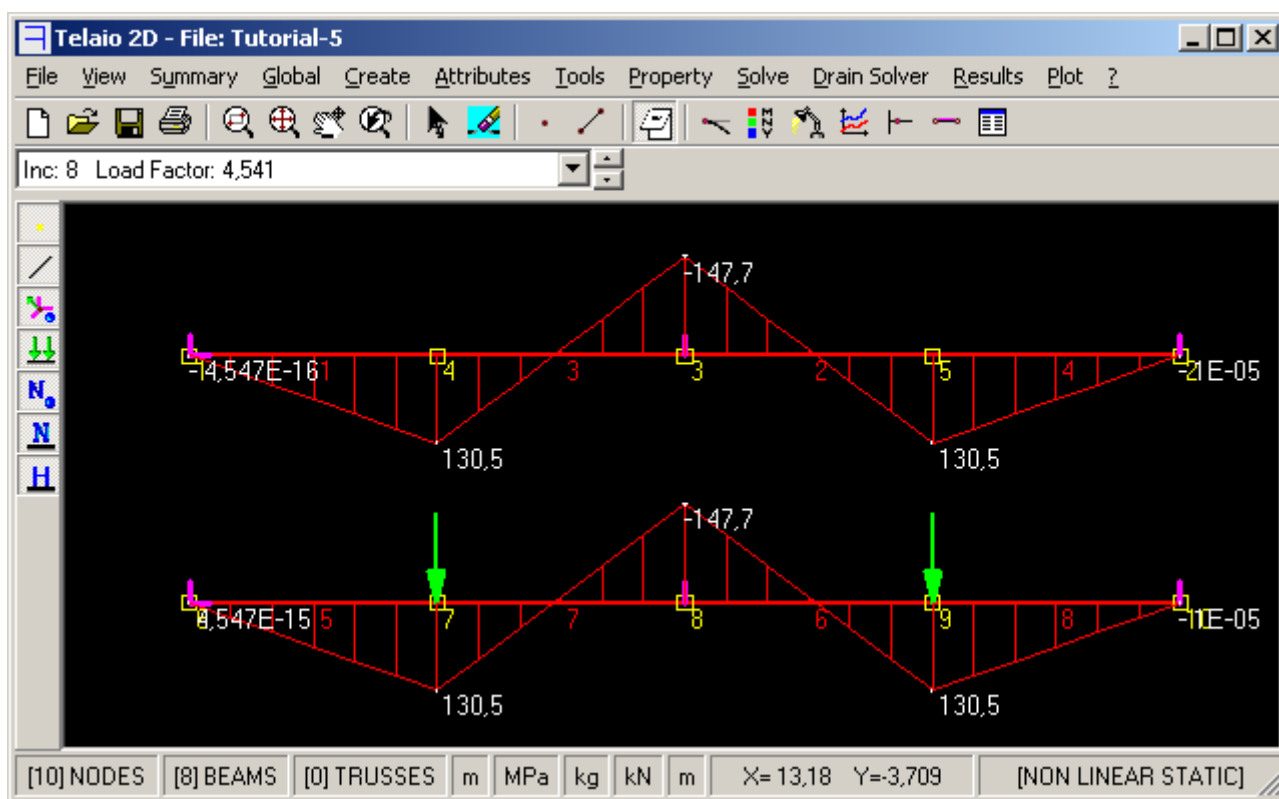


Fig. 7

### Grafici (Graphs)

In Fig. 8 è mostrato il grafico dello spostamento verticale del nodo 4 (cliccare sul nodo per inserirne il numero nella casella). Selezionare *Change X sign* dal menu *Graph Options*. Il grafico evidenzia il cambiamento di rigidità in corrispondenza della formazione della cerniera plastica sull'appoggio e la trasformazione della trave in meccanismo.

Dal menu *File* si possono copiare i dati del grafico negli appunti di Windows per incollarli in un'altra applicazione (se si usa "Incolla Speciale" si può scegliere se incollare i dati o l'immagine del grafico).

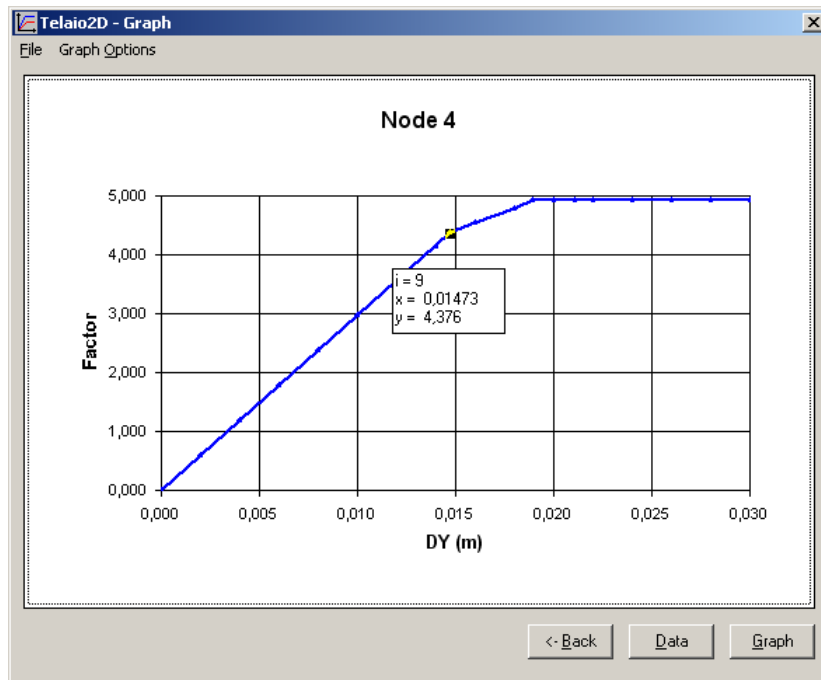
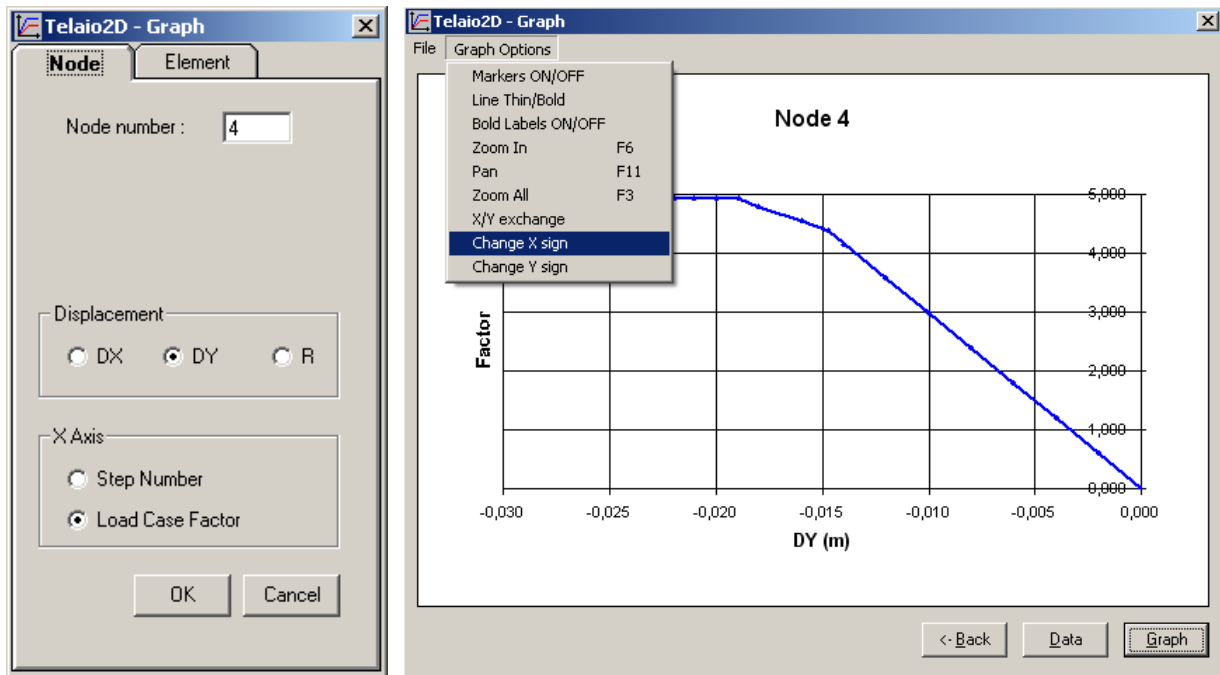


Fig. 8

Cliccando su un punto del diagramma appare una casella con i valori numerici di x e y (v. Fig. 8).

Cliccando su *Data* si apre la finestra di Fig. 9 nella quale si possono leggere i dati numerici del diagramma.

Il collasso si ha per un moltiplicatore  $m_u = 4,923$ , cioè per un carico:

$$q_u = 49,23 \text{ kN/m}$$

Poichè il momento plastico della sezione vale  $M_{pl}=147,7 \text{ kNm}$  si ha:

$$q_u = \frac{49,23 \cdot 6^2}{147,7} \frac{M_{pl}}{L^2} = 12,0 \frac{M_{pl}}{L^2} \text{ contro il valore teorico esatto: } q_u = 11,65 \frac{M_{pl}}{L^2}$$

Un valore del moltiplicatore più vicino a quello teorico (4,780) si può ottenere con una maggiore discretizzazione: si veda l'esempio del file Tutorial-5-1 che dà  $m=4,783$ .

i	DY (m)	Factor
1	0	0
2	-0,002000	0,5942
3	-0,004000	1,188
4	-0,006000	1,783
5	-0,008000	2,377
6	-0,01000	2,971
7	-0,01200	3,565
8	-0,01400	4,159
9	-0,01473	4,376
10	-0,01600	4,541
11	-0,01800	4,801
12	-0,01894	4,923
13	-0,02000	4,923
14	-0,02104	4,923
15	-0,02200	4,923
16	-0,02400	4,923
17	-0,02600	4,923
18	-0,02800	4,923
19	-0,03000	4,923

Fig. 9

### Visualizzazione cerniere plastiche (*Plastic hinges*)

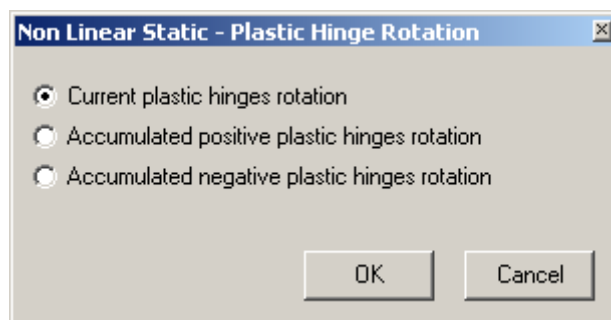


Fig. 10

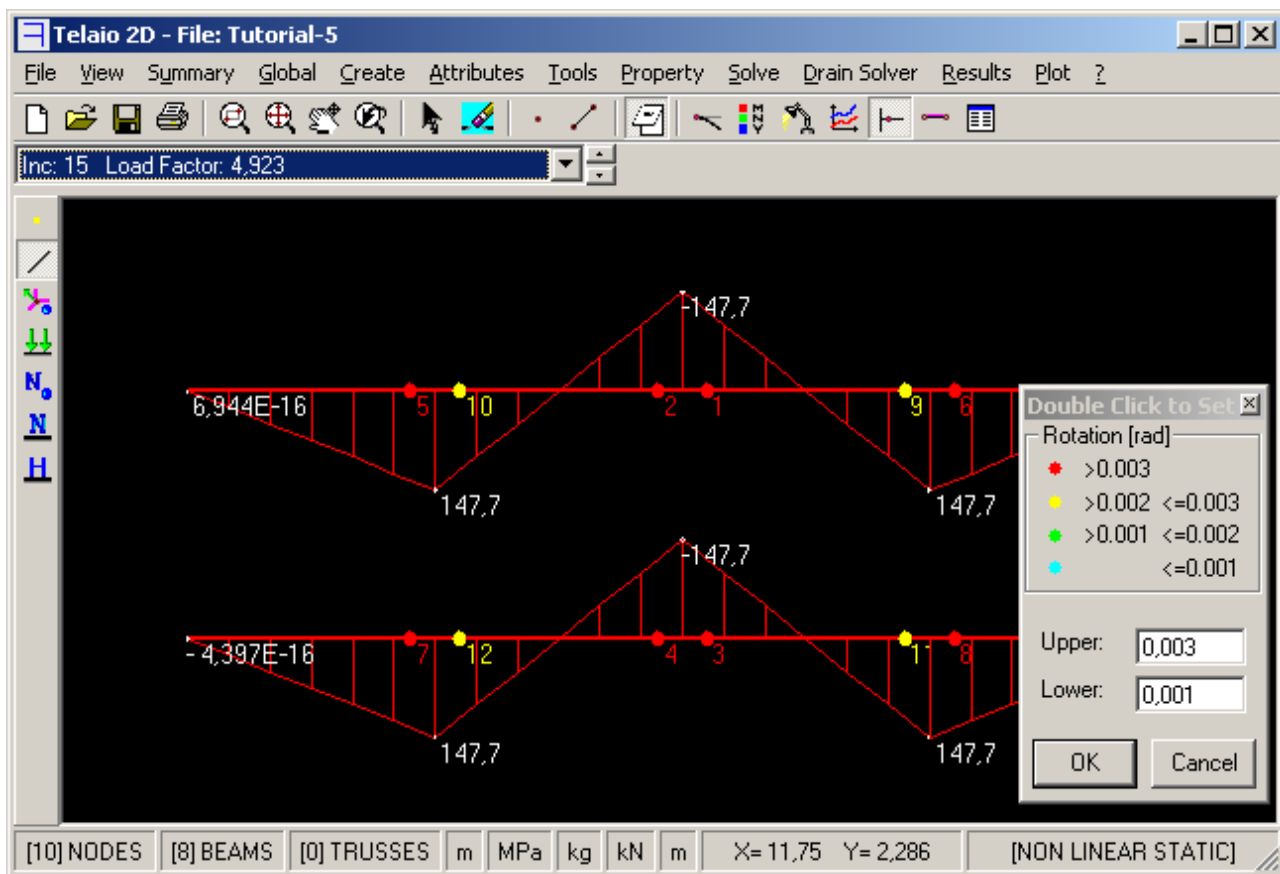



Fig. 11

In Fig. 11 è rappresentata la distribuzione delle cerniere plastiche nell'ultimo passo di carico. I numeri rappresentano l'ordine di formazione delle cerniere. I colori indicano l'entità delle rotazioni plastiche, secondo la corrispondenza della legenda, nella quale si possono variare i limiti superiore ed inferiore dopo aver fatto doppio click su di essa.

Si noti che Drain considera la possibilità di formazione delle cerniere plastiche solo agli estremi degli elementi.

Per visualizzare i valori numerici delle rotazioni plastiche usare il pulsante  (*Plastic Deformation Listing*).

Se si sceglie l'**analisi a controllo di carico** (*Load control* Fig. 12), Drain esegue l'analisi applicando un valore minimo di  $E_t$  pari a  $E/1E6$  e lo spostamento  $DY$  tende all'infinito (Fig. 13).



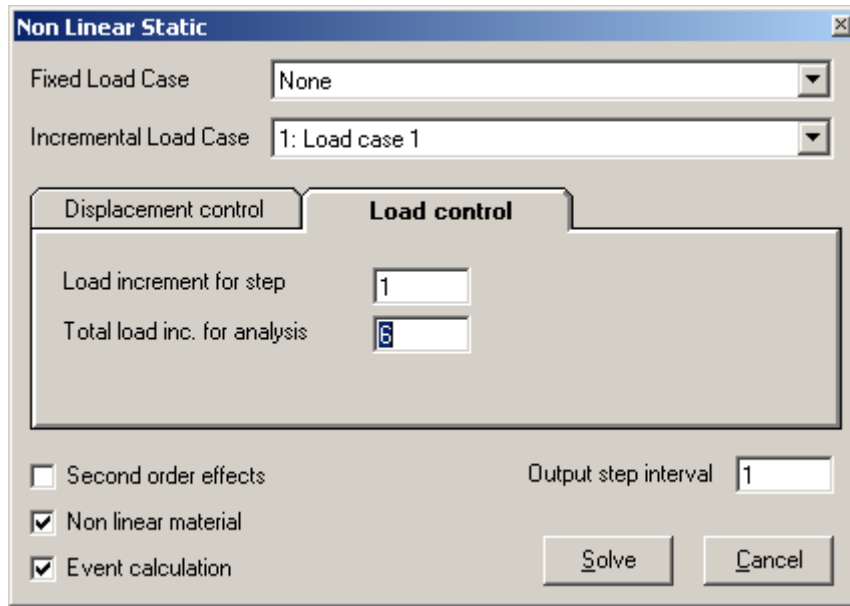


Fig. 12

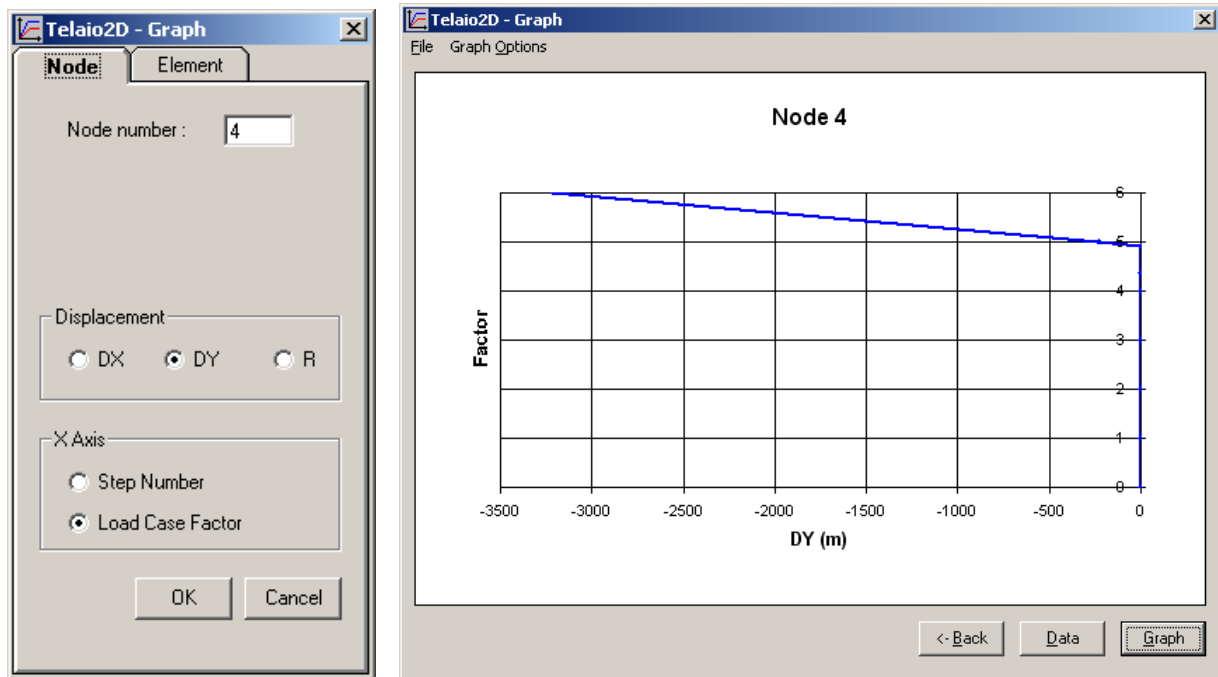


Fig. 13

K+#\$ **ESEMPIO 6: NON LINEAR STATIC - P-Delta**

**File dei dati: Tutorial-6.t2d**

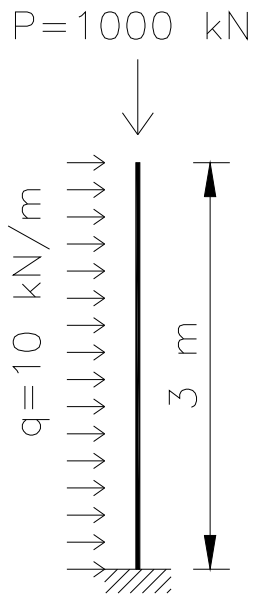


Fig. 52

I dati geometrici e i carichi sono indicati in Fig. 52.

La trave è un HEB 200 in acciaio.

Studiare il comportamento al variare del carico P (effetto P- $\Delta$  o effetto del secondo ordine.).

Per calcolare un valore di P di riferimento per l'analisi non lineare, lanciare il solutore *Linear Static* e poi il solutore *Linear Buckling* (menu *Solve*). Il moltiplicatore critico è  $m_{cr} = 3,281$ .

Menu *Drain Solver – Non Linear Static*

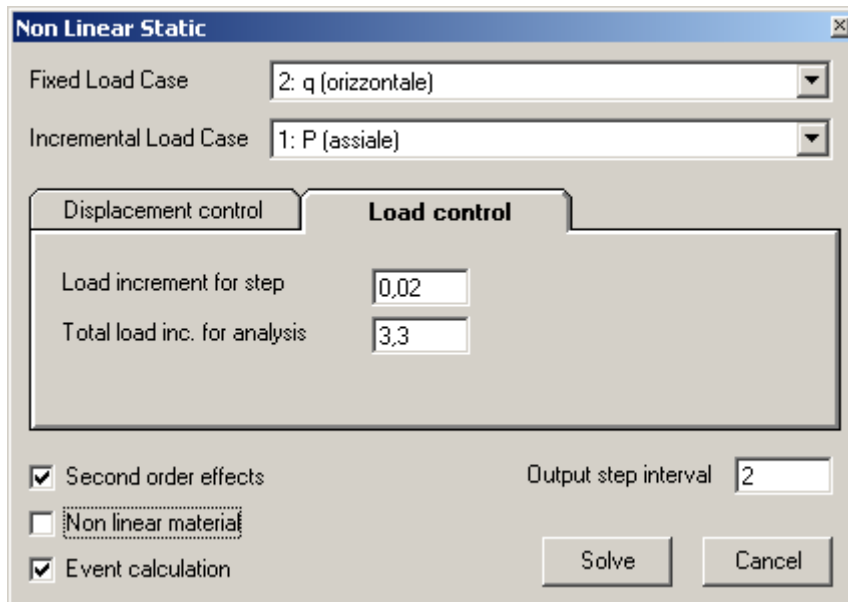


Fig. 53

Il carico orizzontale  $q$ , che verrà mantenuto costante, determina la condizione iniziale della struttura che precede l'applicazione del carico  $P$ . Drain esegue un'analisi statica lineare della struttura soggetta a  $q$  (e quindi ammette carichi distribuiti) e sulla configurazione deformata applica i successivi incrementi di  $P$ .

Scegliere la scheda Load Control ed inserire un valore sufficientemente piccolo per l'incremento di carico ad ogni step (l'incremento 0,02 significa che ad ogni step l'incremento di  $P$  è  $0,02 \cdot 1000 = 20$  kN). L'incremento totale 3,3 è di poco superiore al moltiplicatore critico ottenuto con l'analisi Linear Buckling.

Selezionare *Second order effects* e *Event calculation* e lasciare deselezionata la casella *Non linear material* (comportamento indefinitamente elastico).

Inserire 2 nella casella Output step interval per limitare il numero di risultati in output.

Premere *Solve* e successivamente *OK* (vedi Esempio 5 per lo svolgimento dell'analisi di Drain).

## Grafici (Graphs)

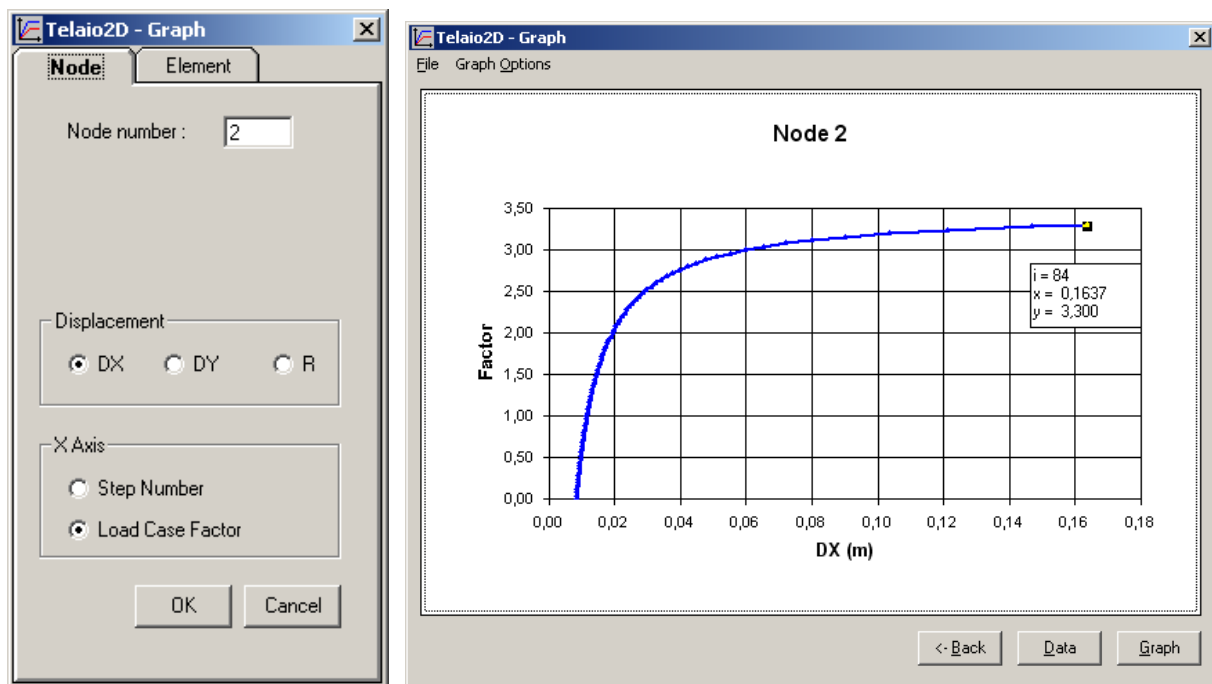


Fig. 54

In Fig. 54 è mostrato il grafico dello spostamento orizzontale del nodo di sommità al variare del moltiplicatore del carico assiale  $P$ . Lo spostamento tende all'infinito in prossimità del carico critico.

## Momento del secondo ordine

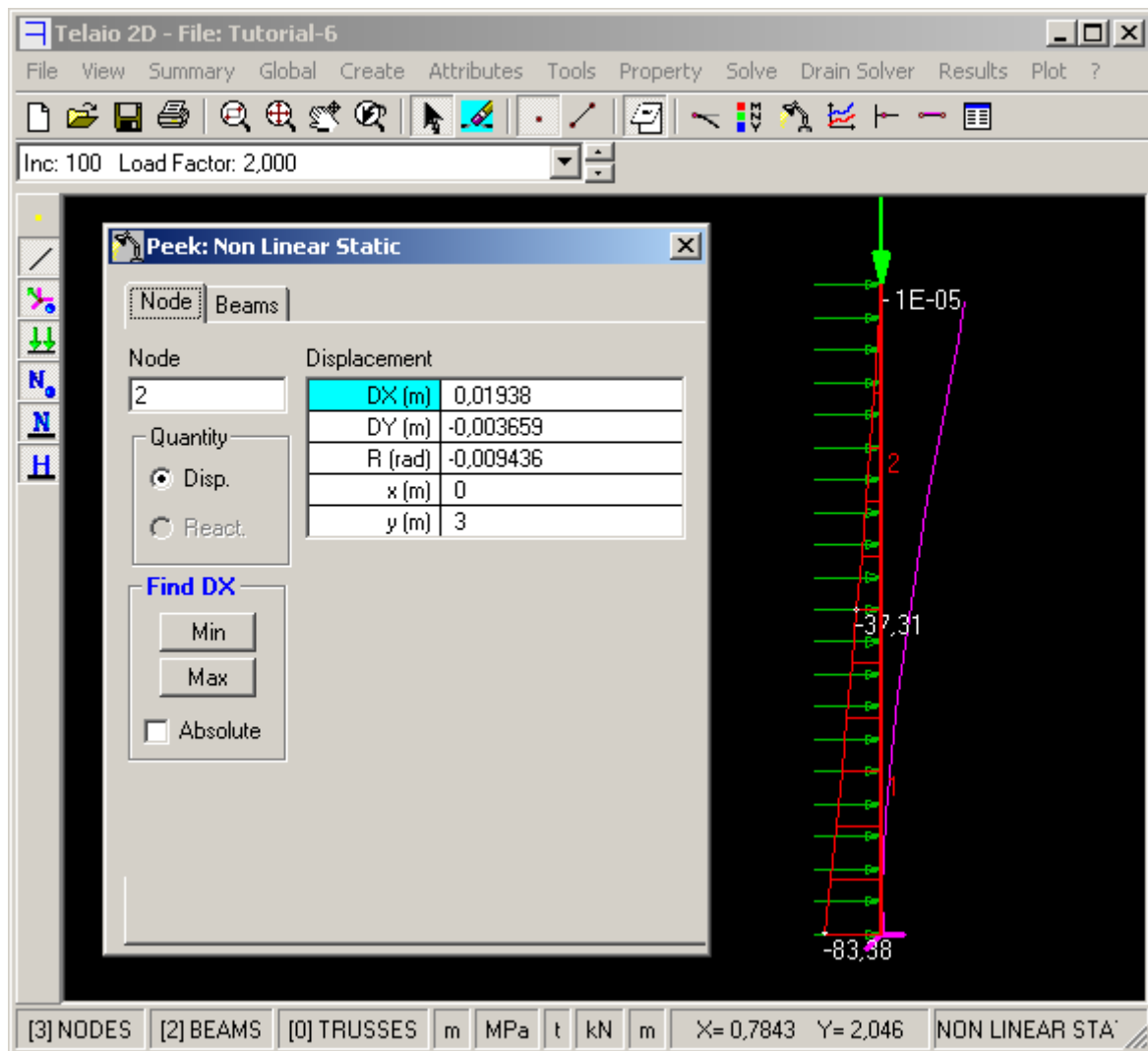


Fig. 55

In Fig. 55 sono rappresentati la deformata ed il momento del secondo ordine corrispondenti al valore del moltiplicatore del carico pari a 2, cioè a  $P = 2000$  kN. Poichè il momento indotto dal carico orizzontale è di 45 kNm, il momento del secondo ordine al piede, calcolato a partire dai carichi esterni, vale:

$$M = 45 + 2000 \cdot 0,01938 = 83,76 \text{ kNm}$$

in buon accordo col valore 83,38 fornito da Drain.

K+#\$ **ESEMPIO 7: NON LINEAR STATIC - PUSHOVER**

File dei dati: Tutorial-7.t2d

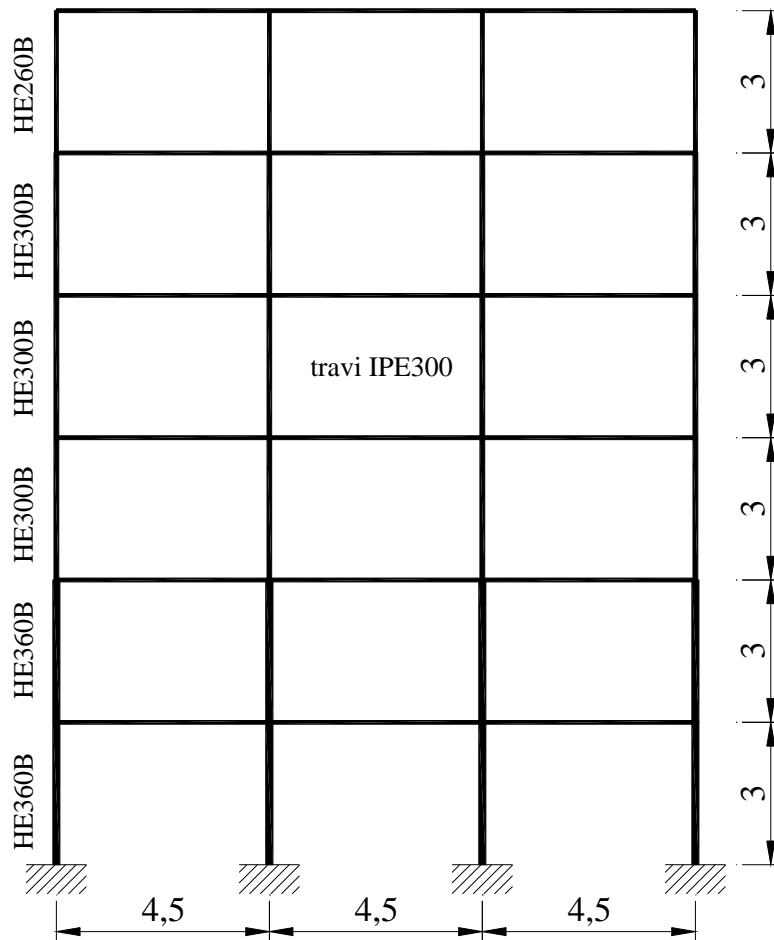


Fig. 56

La struttura utilizzata in questo esempio è presa dall'articolo (Federico M. Mazzolani, Vincenzo Piluso, *Progettazione a duttilità e collasso dei telai sismo-resistenti*, in *Costruzioni Metalliche*, n. 2, Marzo-Aprile 1995) in cui viene presentato un metodo per dimensionare telai in acciaio capaci di garantire, sotto l'azione di forze sismiche orizzontali, un meccanismo di collasso di tipo globale.

Il telaio è illustrato in Fig. 56. L'acciaio utilizzato è l'Fe430. Le travi hanno sezione IPE 300 con carico verticale uniformemente distribuito pari a  $35 \text{ kN/m}$  mentre le colonne hanno sezione HE 360 B per i primi due livelli, HE 300 B per i successivi tre livelli e HE260B per l'ultimo livello.

Il peso per piano da considerare per l'analisi sismica, comprensivo del peso delle facciate, è:

$$W_p = 35 \cdot 4,5 \cdot 3 = 472,5 \text{ kN.}$$

Per semplicità si considerano i valori delle masse di piano corrispondenti ( $\alpha = 1$ ):

---

K Pushover  
+ auto  
# TUT\_070  
\$ Esempio 7

$$M_p = 472,5/9,81 = 48,2 \text{ t}$$

Nei nodi esterni si applica la massa  $M_e = 8 \text{ t}$  e nei nodi interni  $M_i = 16,1 \text{ t}$ .

La trave IPE 300 è scelta in modo da soddisfare la condizione  $q < 4M_{pl}/L^2$ ; si ha infatti:

$$4M_{pl}/L^2 = 4 \cdot 157,1 \cdot 1,1/4,5^2 = 34,1 \text{ kN/m} \sim 35$$

per assicurare la formazione delle cerniere plastiche solo alle estremità delle travi.

La struttura è progettata per la zona sismica 1, terreno tipo B, C, D, secondo le definizioni dell'Ordinanza 3274/2003.

**Si vuole eseguire l'analisi statica non lineare (Pushover)** secondo le indicazioni dell'ordinanza.

Si deve eseguire prima la ricerca delle frequenze proprie per poter costruire la distribuzione di forze orizzontali proporzionali al primo modo:

Menu *Solve – Natural Frequency*

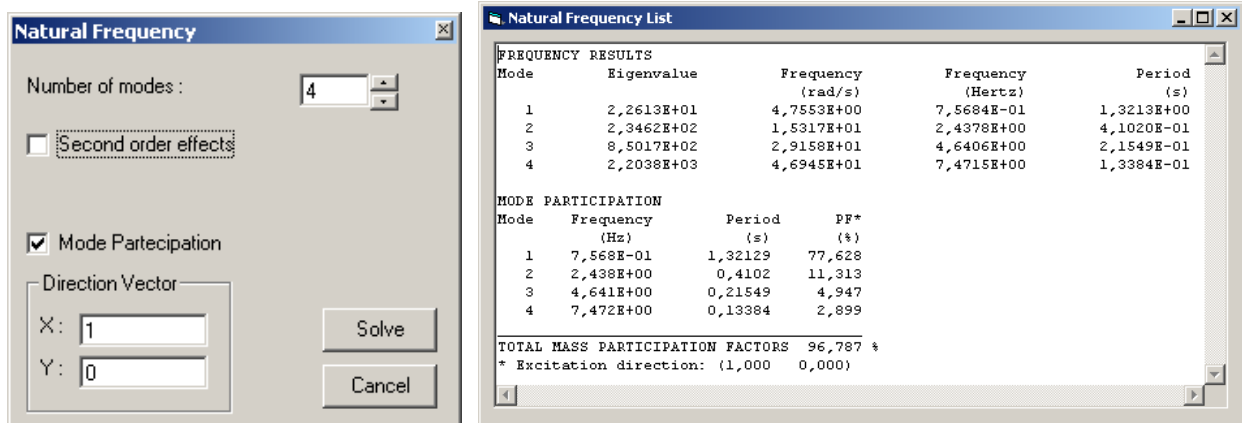
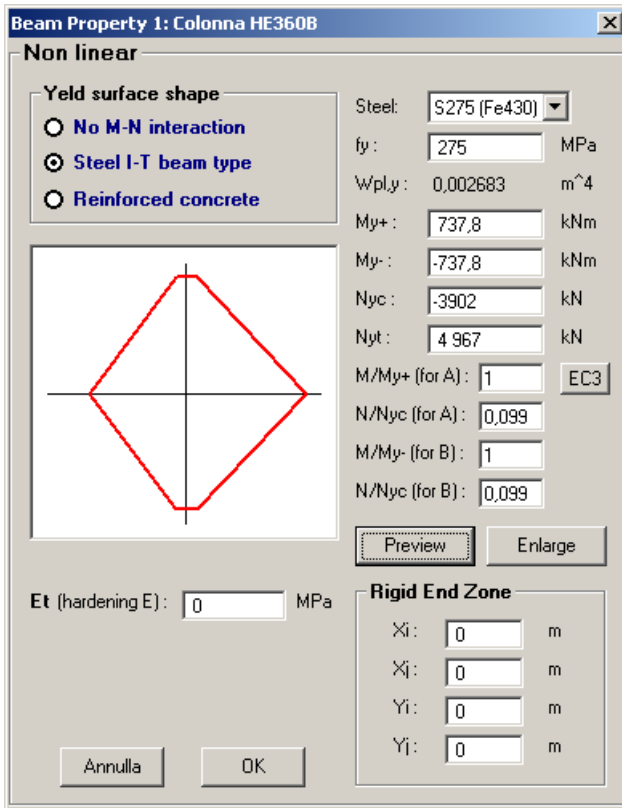
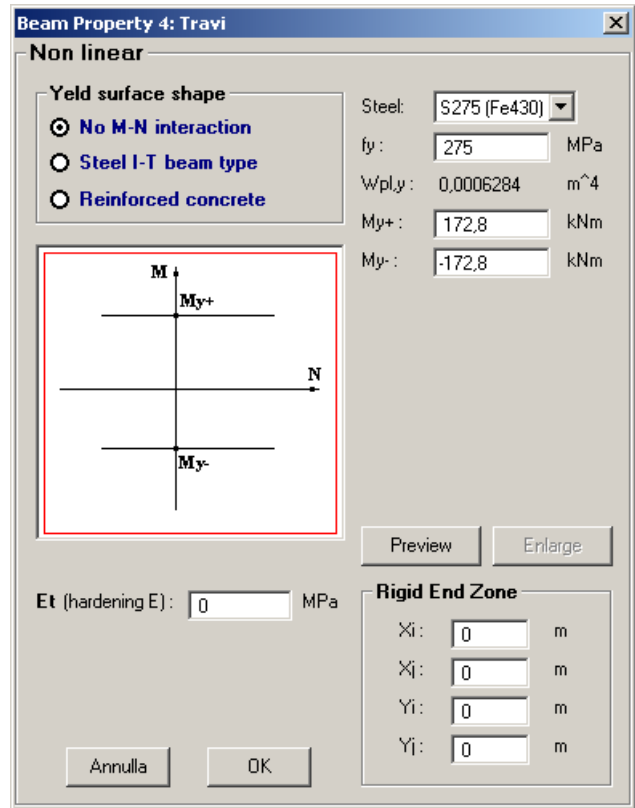


Fig. 57

**Caratteristiche non lineari:**



a)

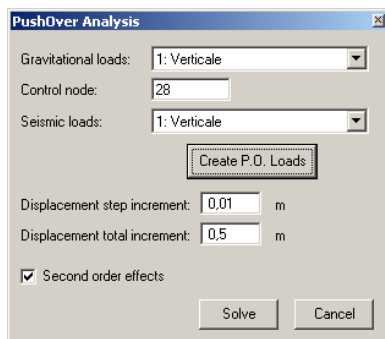


b)

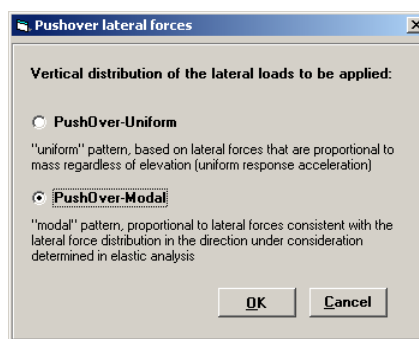
Fig. 58

In Fig. 58 a) sono mostrate le caratteristiche non lineari delle colonne inferiori ottenute automaticamente premendo il pulsante EC3 (vedi menu *Property Non linear ...*). Si è poi inserito manualmente il valore della resistenza a compressione  $N_{yc}$  considerando l'instabilità intorno all'asse debole con lunghezza di libera inflessione pari all'interpiano (3 m). Per le travi si è scelta una superficie di snervamento senza interazione M-N (Fig. 58 b). A favore di sicurezza non si considera l'incrudimento ( $E_t = 0$ ) e si trascurano le zone rigide.

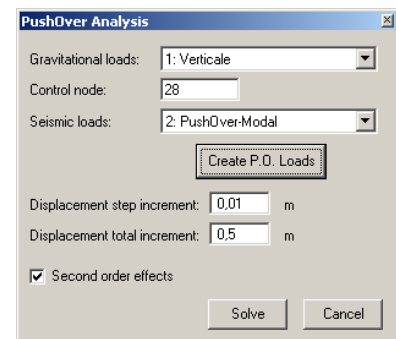
### Menu *Drain Solver - PushOver*



a)



b)



c)

Fig. 59

Selezionare la condizione di carico corrispondente ai carichi verticali da considerare nella combinazione sismica (*Gravitational loads* in Fig. 59 a) ed il nodo di controllo (cliccare sul

nodo). Cliccare sul pulsante *Create P.O. Loads* per generare automaticamente le distribuzioni di forze orizzontali previste dall'Ordinanza (Fig. 59 b) che verranno aggiunte alle condizioni di carico e saranno salvate nel file dei dati del telaio.

Introdurre l'incremento di spostamento del nodo di controllo ad ogni step e lo spostamento totale dell'analisi (Fig. 59 c).

Click su *Solve*. Procedere come nell'esempio 5.

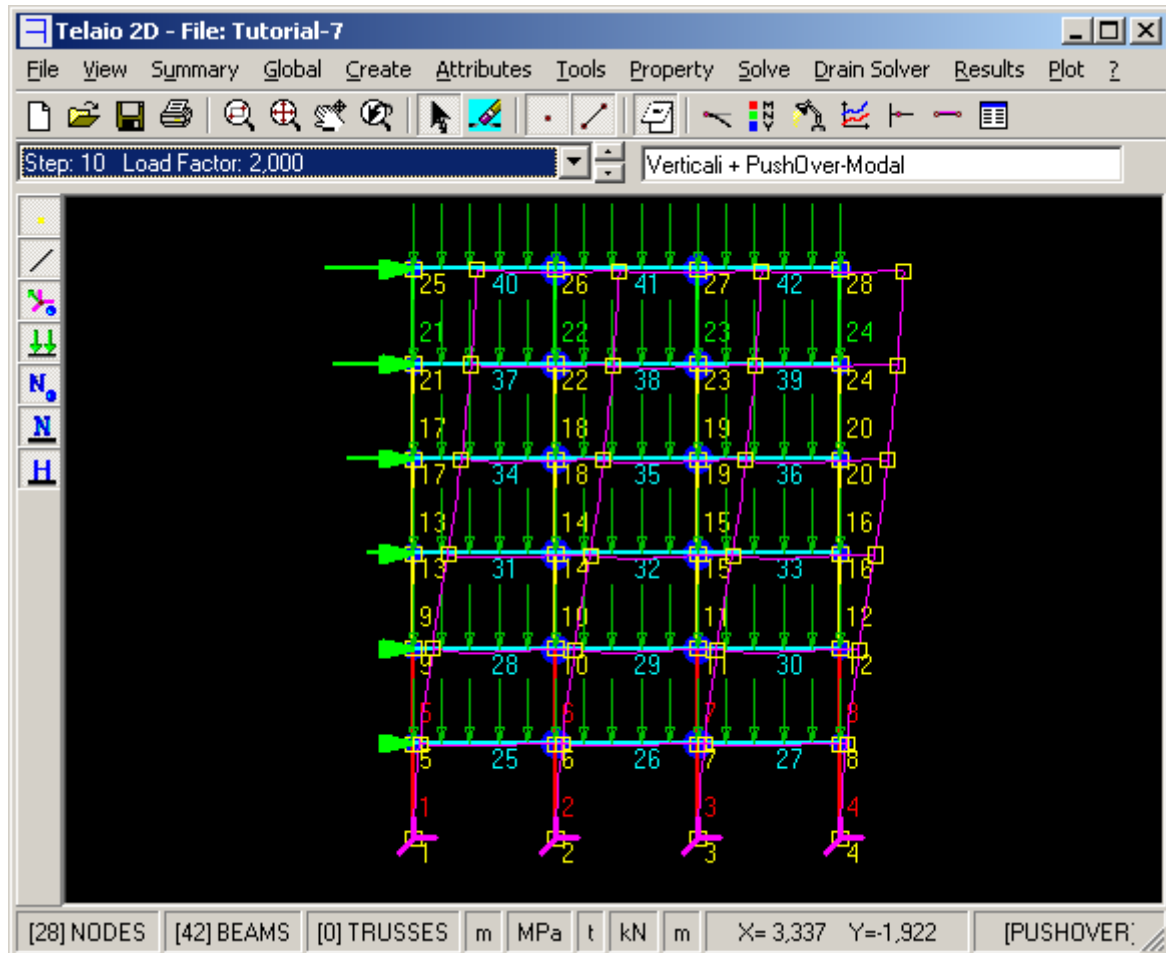


Fig. 60

In Fig. 60 è mostrata la deformata corrispondente al moltiplicatore 2 delle forze orizzontali.

### Grafici (Graphs)

In Fig. 61 è mostrato il diagramma dello spostamento del nodo di controllo. E' riportato il valore  $\alpha,1$  del moltiplicatore in corrispondenza della formazione della prima cerniera plastica, il valore  $\alpha,u$  del moltiplicatore ultimo e il valore del rapporto  $\alpha,u / \alpha,1$  utile per calcolare il fattore di struttura  $q$ .



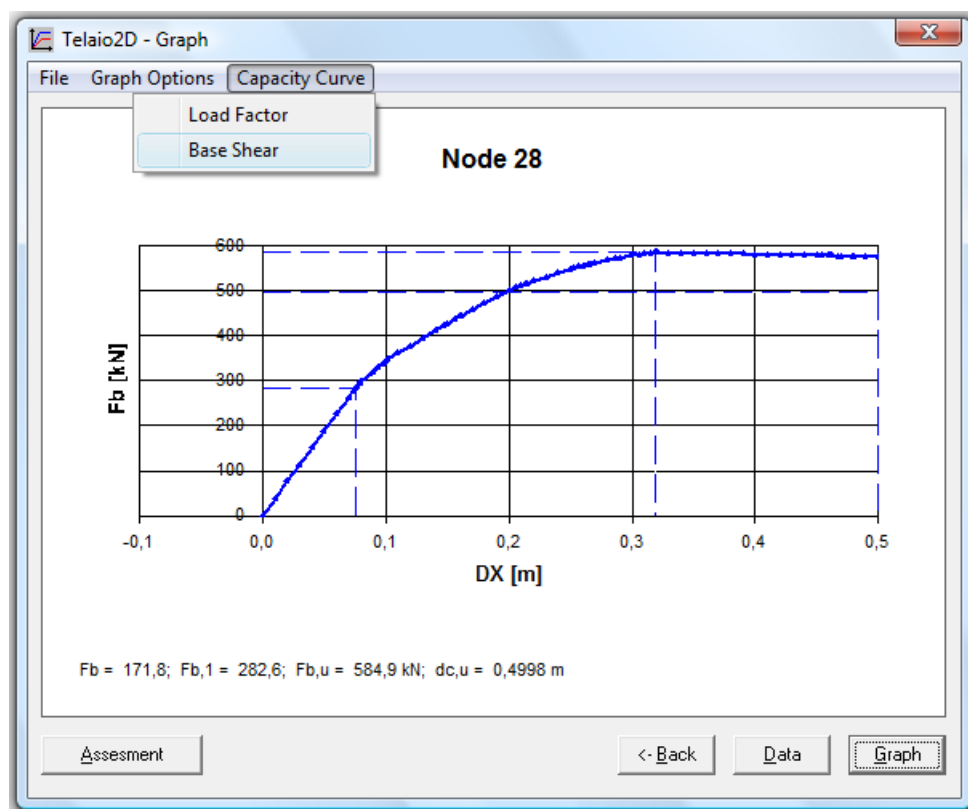
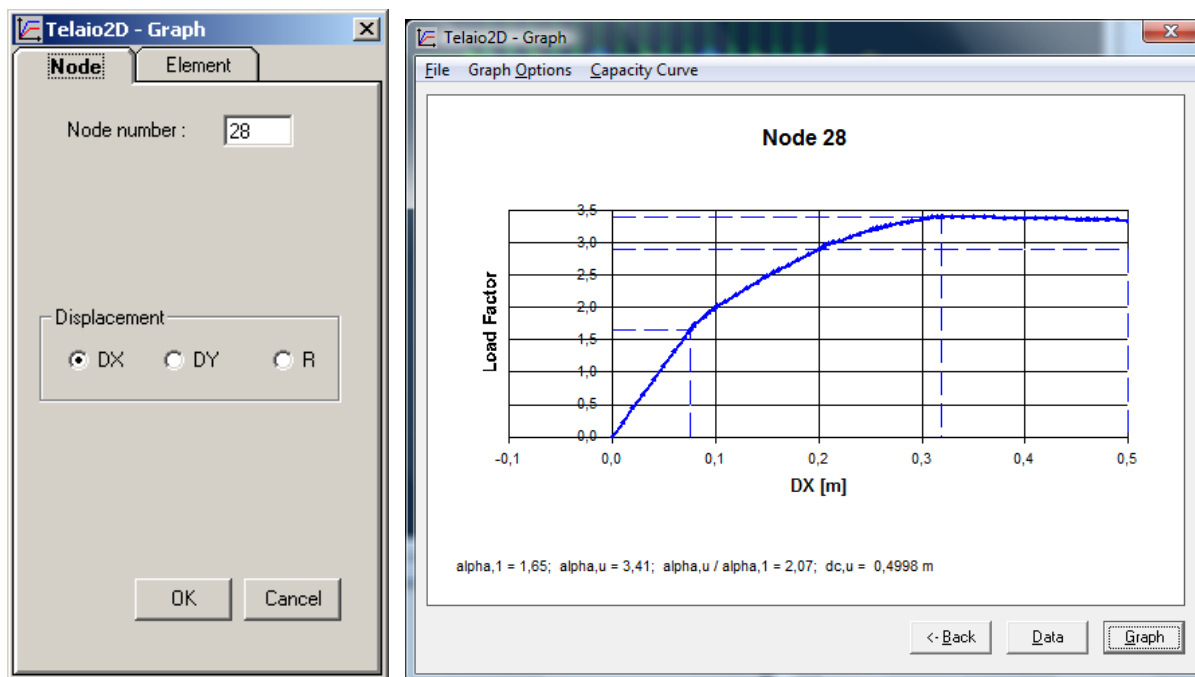


Fig. 61

Dal menu *Capacity Curve* si può selezionare la rappresentazione in funzione del taglio alla base nella quale compaiono il valore  $F_b$  del taglio alla base corrispondente al moltiplicatore unitario, il valore  $F_{b,1}$  corrispondente alla formazione della prima cerniera plastica, il valore ultimo  $F_{b,u}$  del taglio alla base e il valore  $dc,u$  dello spostamento ultimo del nodo di controllo. Il valore di  $dc,u$  dovrebbe corrispondere ad una riduzione del 15% del taglio ultimo (linea orizzontale tratteggiata); poiché in corrispondenza dello spostamento massimo

imposto per l'analisi (0,5 m) la riduzione del taglio è inferiore al 15%, lo spostamento ultimo viene posto, a favore di sicurezza, pari a 0,5 m.

Dal menu *File* si possono copiare i dati del grafico negli appunti di Windows per incollarli in un'altra applicazione (se si usa "Incolla Speciale" si può scegliere se incollare i dati o l'immagine del grafico).

Il pulsante *Data* mostra i valori numerici.

Il pulsante *Assesment* apre la finestra di Fig. 62 con la verifica secondo le NTC 2008. Il pulsante è abilitato solo se l'analisi è stata condotta per una delle due condizioni di carico previste dalla normativa (Fig. 59 b).

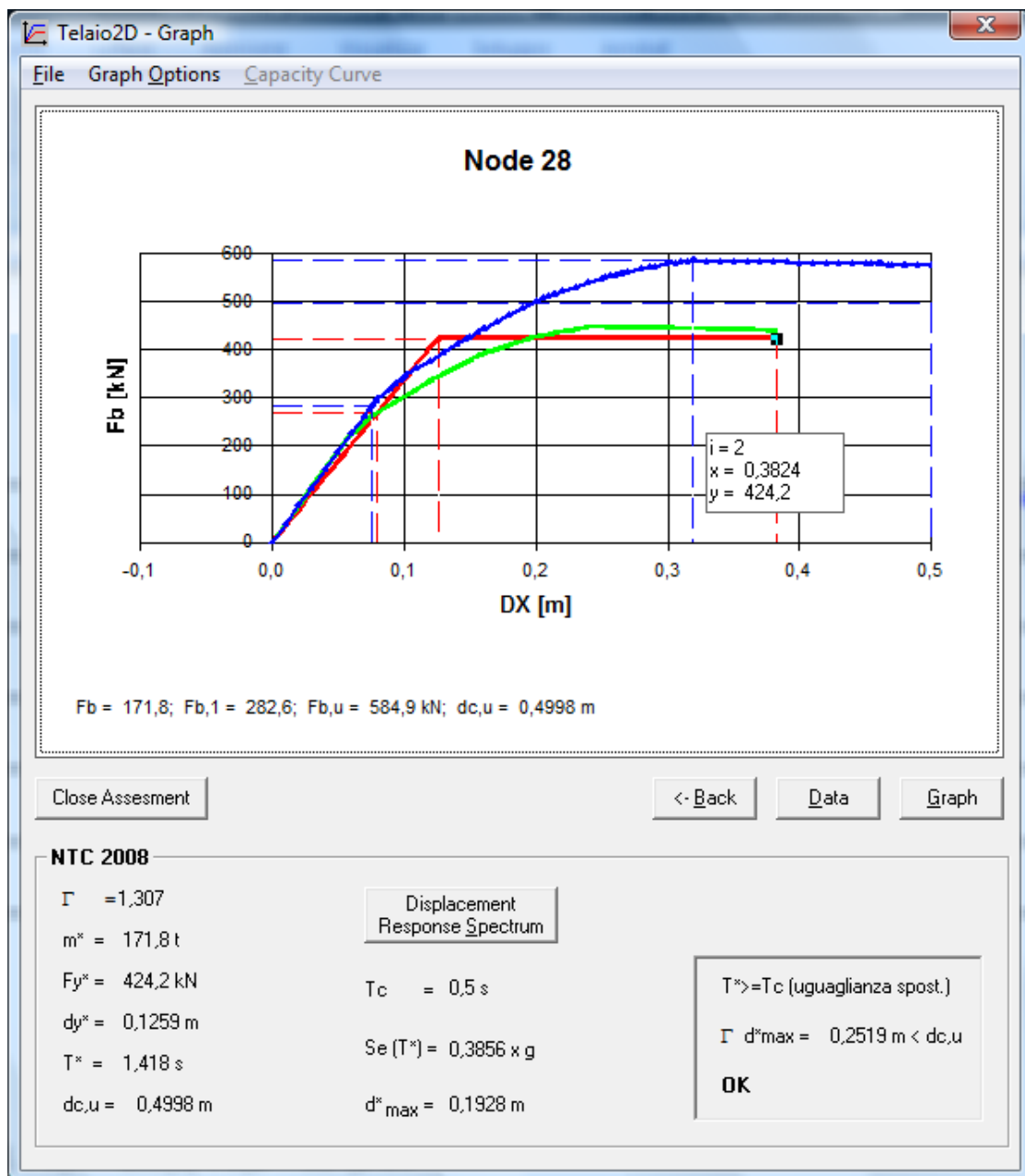
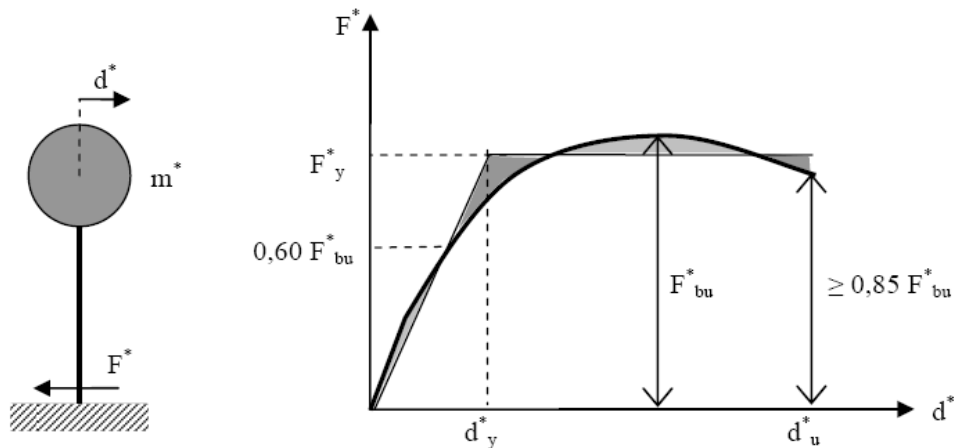


Fig. 62

La curva verde è la curva di capacità del sistema equivalente ad un grado di libertà. La curva bilineare rossa sottende la stessa area della curva verde, secondo le indicazioni delle NTC.



**Figura C7.3.1** – Sistema e diagramma bilineare equivalente

La verifica è soddisfatta perché lo spostamento ultimo  $d_{c,u} = 0,4998$  m del nodo di controllo è maggiore dello spostamento richiesto dal sisma  $\Gamma d_{max}^* = 0,2519$  m.

La verifica deve essere ripetuta per la distribuzione di forze orizzontali proporzionali alle masse.

**N.B.** Se per la struttura in esame non sono stati impostati i dati del sisma, per esempio in seguito all'esecuzione di un'analisi a spettro di risposta, viene aperta automaticamente la finestra di Fig. 63, che mostra il diagramma dello spettro degli spostamenti dell'oscillatore elastico equivalente, per l'impostazione della zona sismica e del tipo di terreno. In ogni caso è bene controllare che i dati siano quelli del problema cliccando sul pulsante *Displacement Response Spectrum*. Salvare il file \*.t2d dopo aver eseguito la verifica per memorizzare le impostazioni e renderle disponibili in seguito.

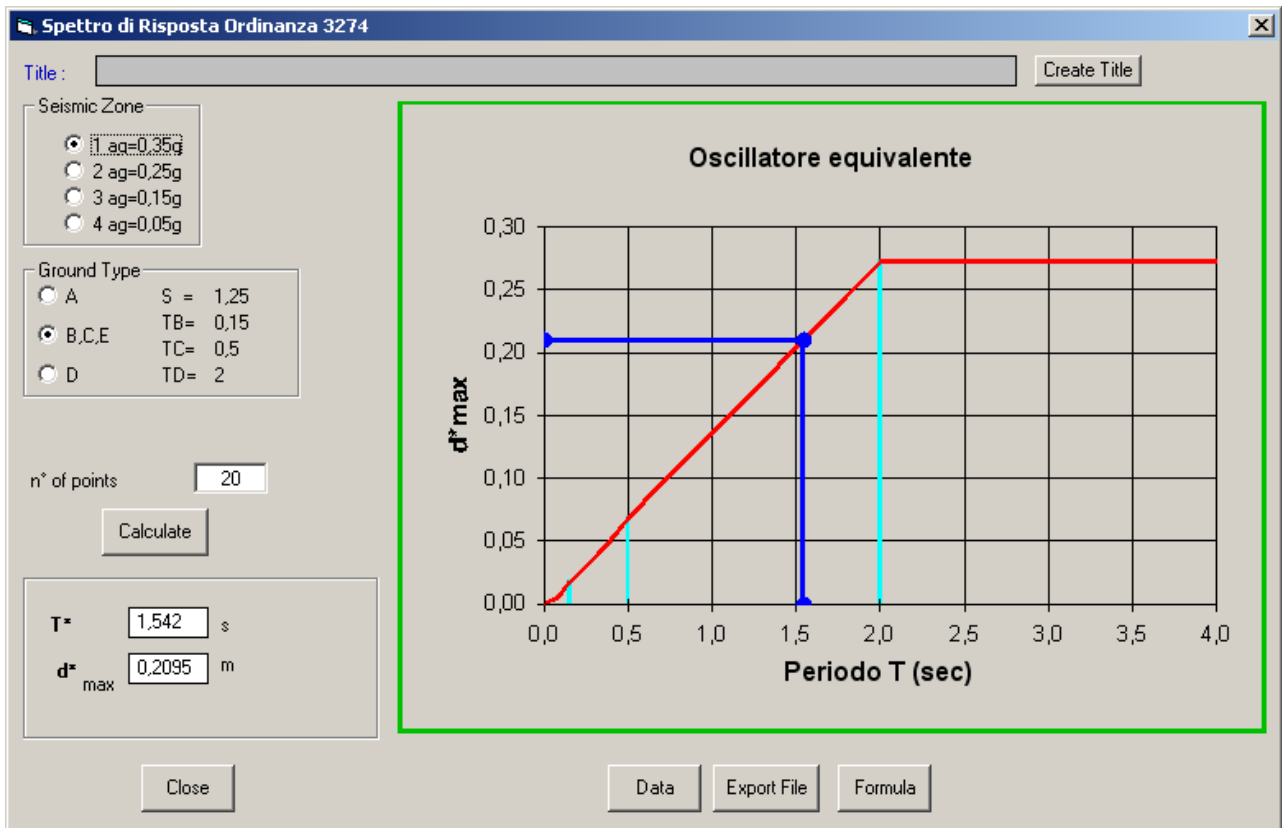



Fig. 63

L'esame dei risultati può essere completato con la Visualizzazione delle cerniere plastiche  (vedi [esempio 5](#)).

K+#\$ **ESEMPIO 8: LINEAR DYNAMIC**

**File dei dati: Tutorial-8.t2d**

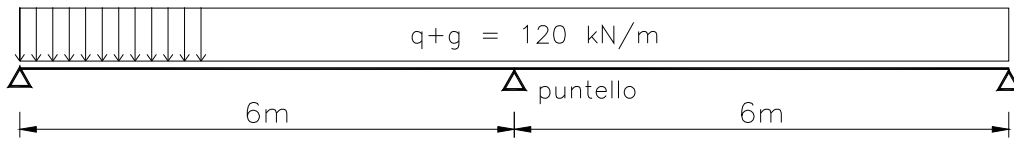


Fig. 64

La trave dell'esempio, in c.a. con sezione rettangolare di 50x100 cm, ha una luce di 12 m ed in fase di costruzione è puntellata in mezzaria. Si vuole analizzare il comportamento dinamico lineare per effetto della rimozione improvvisa del puntello.

Introdurre la geometria (Fig. 65) creando i nodi estremi 1 e 2 e l'elemento che li collega. Suddividere l'elemento in 8 parti. Vincolare i nodi 1 e 2 con cerniera e carrello.

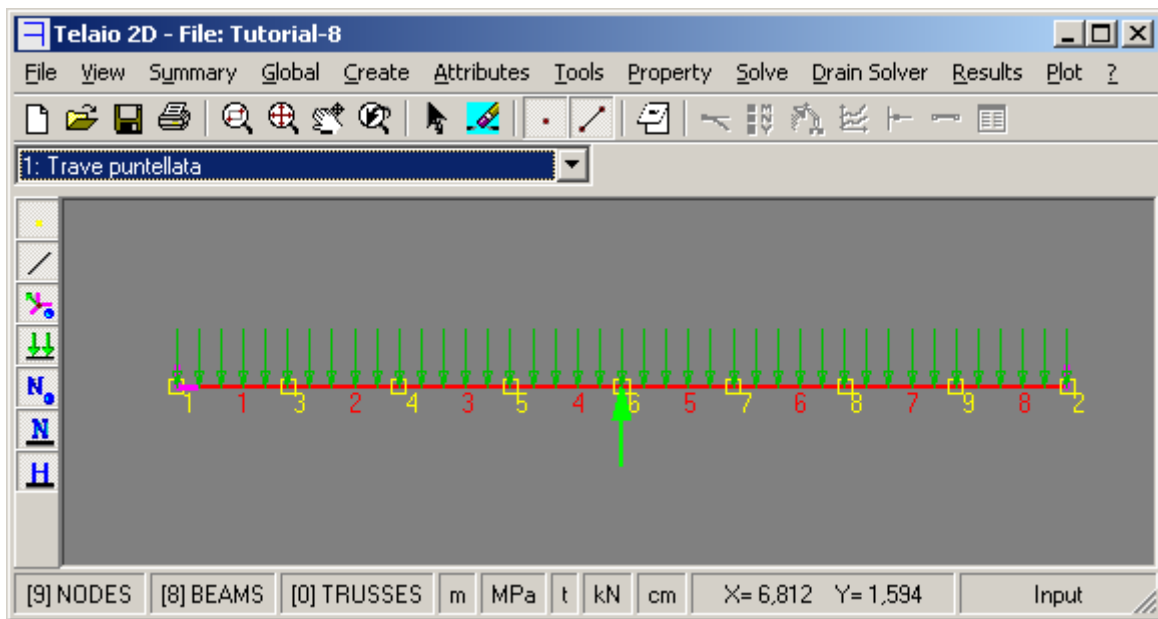


Fig. 65

Creare le 3 condizioni di carico di Fig. 66. Nella prima inserire il carico distribuito di 120 kN/m e la reazione vincolare di 937,5 kN esercitata dal puntello (la reazione può essere calcolata inserendo temporaneamente il vincolo). Nella seconda condizione di carico inserire nel nodo 6 una forza uguale ed opposta alla reazione del puntello. Nella terza condizione di carico inserire solo il carico distribuito: l'analisi lineare con questa condizione di carico fornisce le sollecitazioni nel caso di rimozione lenta del puntello.

<sup>K</sup> Linear Dynamic; Rimozione puntello; Forzante dinamica; Dynamic force  
<sup>+</sup> auto  
<sup>#</sup> TUT\_080  
<sup>\$</sup> Esempio 8: Linear Dynamic

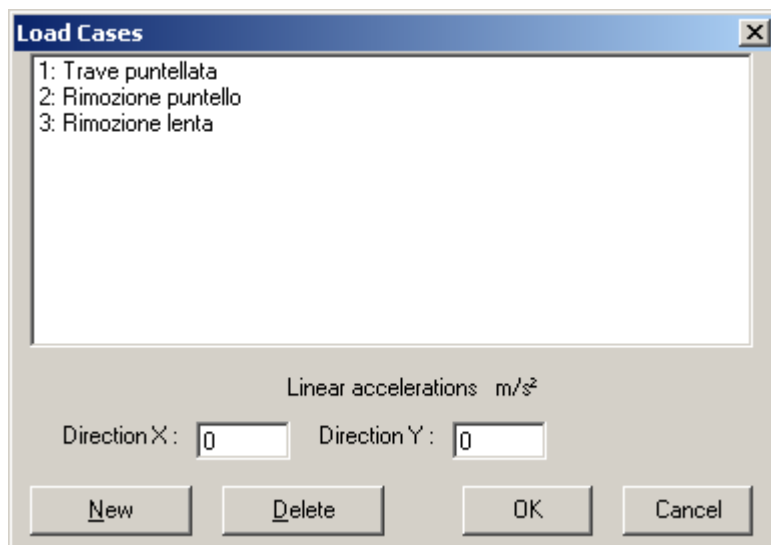


Fig. 66

Introdurre le proprietà della sezione (Fig. 67):

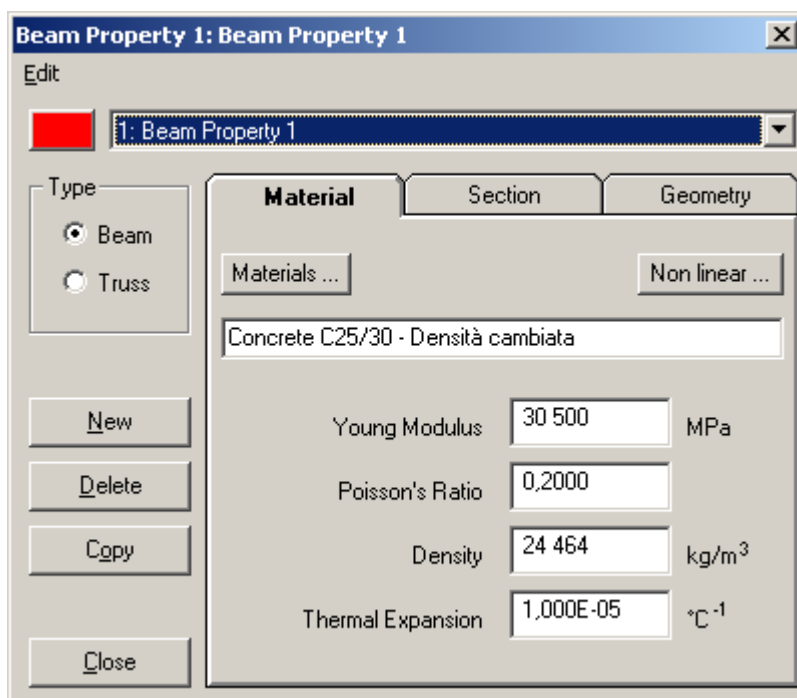


Fig. 67

Per la densità inserire manualmente il valore corrispondente al carico applicato:

$$Density = 120000 / (0,5 \cdot 9,81) = 24464 \text{ kg/mc}$$

In questo modo Drain terrà conto nell'analisi dinamica dell'intera massa della struttura, concentrandola nei nodi.

Lanciare l'analisi dinamica: *Drain Solver – Linear Dynamic*

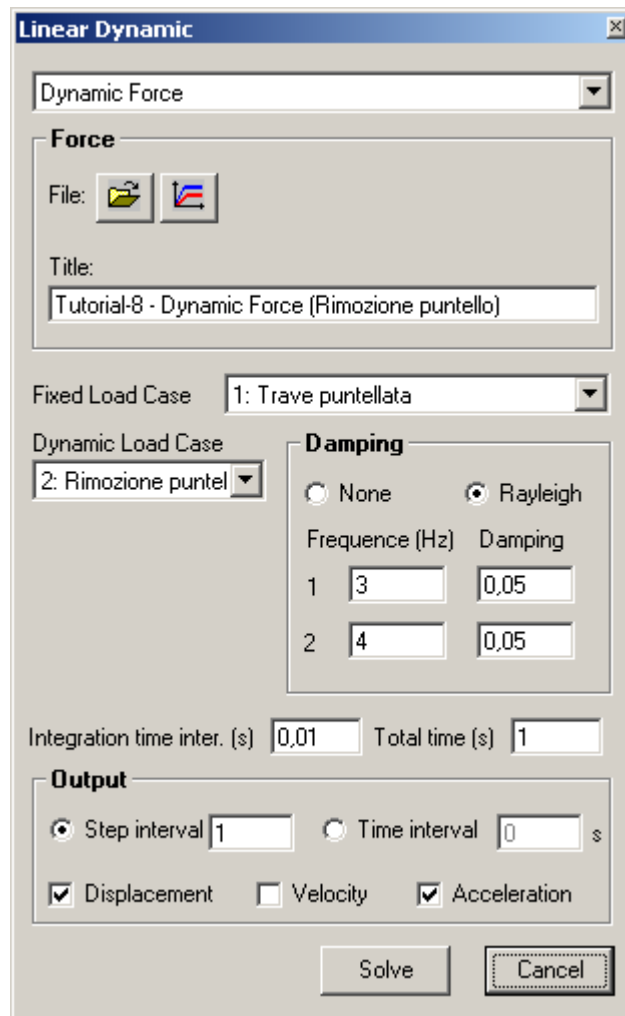


Fig. 68

Scegliere *Dynamic Force*

Impostare la condizione di carico iniziale che rimarrà costante per tutta l'analisi (*Fixed Load Case*). Scegliere *None* se la struttura è scarica all'inizio dell'analisi.



Scegliere la condizione di carico alla quale applicare il moltiplicatore variabile nel tempo (*Dynamic Load Case*).

Se si vuole applicare uno smorzamento (*Damping*), inserirne i valori per due frequenze significative. In questo esempio si è considerato uno smorzamento costante del 5% per due valori vicini alla frequenza del primo modo, il cui valore (ottenuto dal solutore *Solve - Natural Frequency*) è di 3,24 Hz ( $T=0,309$  s).

Scegliere l'intervallo di integrazione (*Integration time inter.*) e il tempo totale dell'analisi (*Total time*).

Per l'output scegliere l'intervallo dei risultati, in termini di numero di passi (*Step interval*) o di numero di secondi (*Time interval*), e il tipo di risultati (*Displacement, Velocity, Acceleration*).

La storia di carico, in termini di valori del moltiplicatore della condizione di carico *Dynamic Load Case* in funzione del tempo, può essere introdotta in due modi:

- con il pulsante  si possono caricare i dati da un file di testo. Nel file le prime due righe contengono il titolo ed un commento; le righe successive contengono i valori del tempo e del moltiplicatore, separati da spazi o da tab. Il separatore decimale può essere il punto o la virgola; non è ammesso alcun separatore delle migliaia.
- con il pulsante  si può visualizzare il diagramma (Fig. 69). Il diagramma sarà vuoto se il file dei dati \*.t2d è nuovo: in tal caso premere il pulsante *Data* (Fig. 69) per accedere alla griglia editabile di Fig. 70.

**Tutti i dati ed i settaggi delle analisi vengono salvati nel file \*.t2d del telaio: è quindi opportuno salvare il modello dopo ogni analisi.**

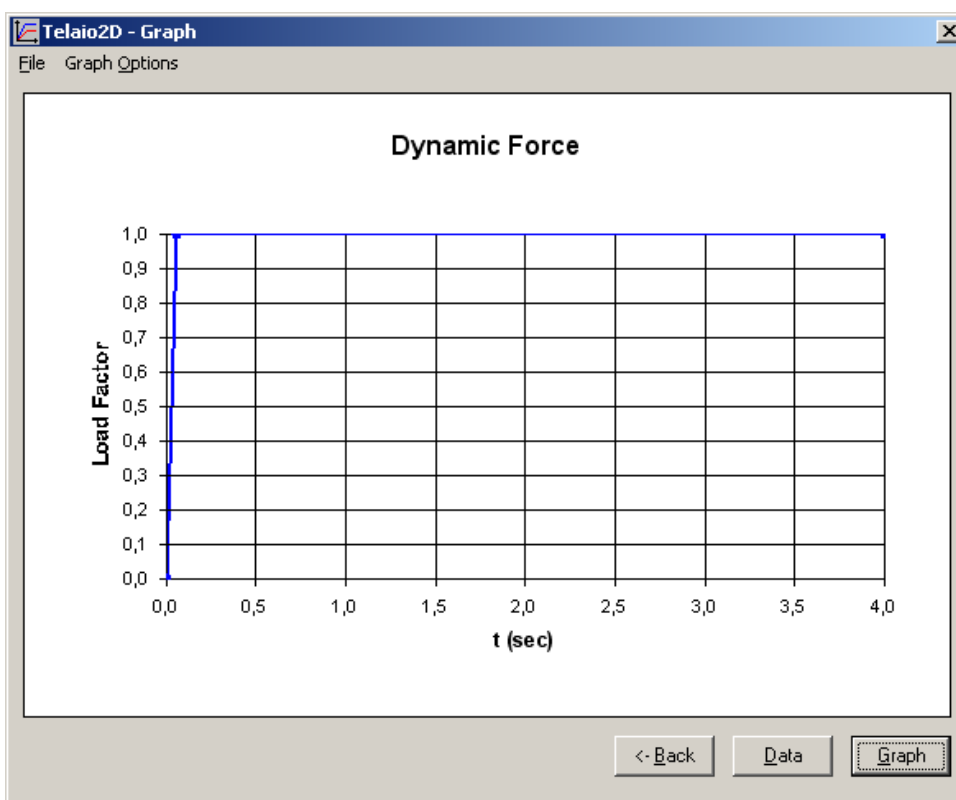
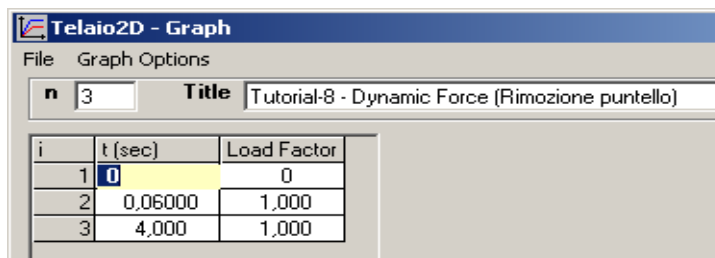


Fig. 69

Click su *Data* per visualizzare ed editare i valori numerici (Fig. 70).



i	t (sec)	Load Factor
1	0	0
2	0,06000	1,000
3	4,000	1,000

Fig. 70

La tabella può essere editata. Se si cambia il numero di punti *n*, il numero di righe viene aggiornato premendo invio. Il pulsante *Graph* aggiorna il grafico.



Il menu File, presente anche quando è visualizzato il grafico, permette di:

- copiare i dati del grafico negli appunti di Windows per incollarli in un'altra applicazione (se si usa "Incolla Speciale" si può scegliere se incollare i dati o l'immagine del grafico).
- stampare la finestra
- esportare i dati in un file di testo
- chiudere la finestra.

Per eseguire l'analisi cliccare su *Solve* (Fig. 68). Vedi Esempio 5 per la descrizione dello svolgimento dell'analisi in Drain.

## Grafici (*Graphs*)

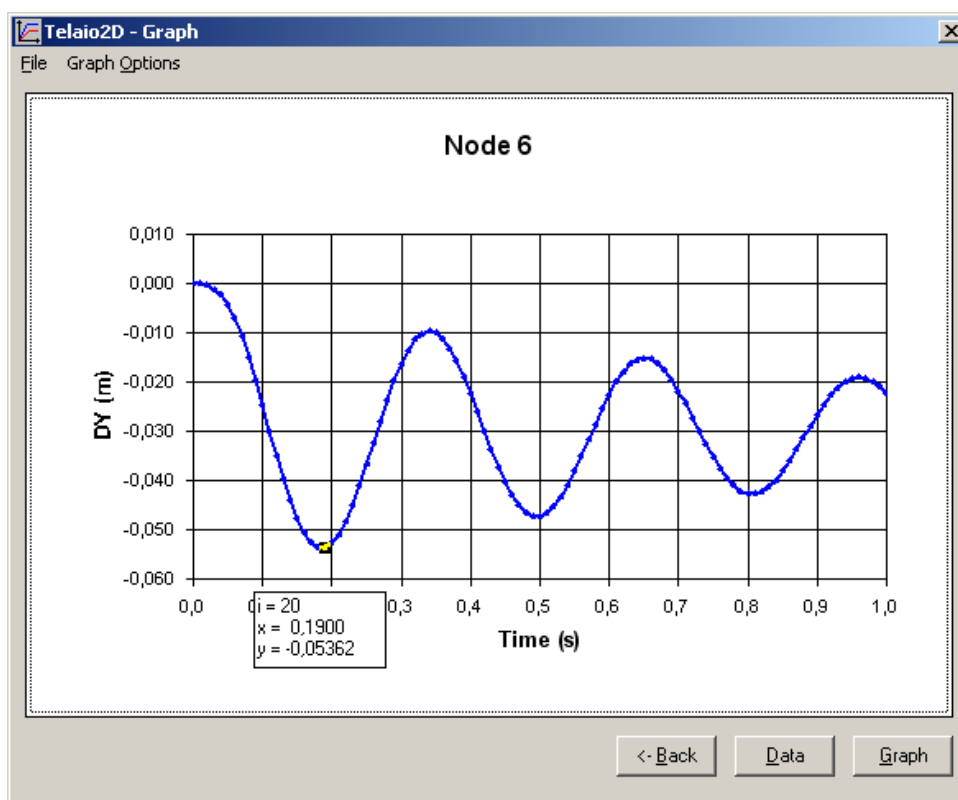


Fig. 71

In Fig. 71 è mostrato il grafico della freccia in mezzaria in funzione del tempo. Il valore massimo della freccia (53,59 mm) è quasi doppio rispetto al valore della freccia statica (30,02 mm) perchè la velocità di carico (rimozione del puntello) è molto elevata (la rimozione avviene in un intervallo di tempo molto inferiore al periodo proprio). La trave oscilla secondo il primo modo, intorno al valore della posizione statica.

Il valore della freccia statica si può ottenere da un'analisi statica lineare con la terza condizione di carico.

K+#\$ **ESEMPIO 9: NON LINEAR DYNAMIC**

**File dei dati: Tutorial-9.t2d**

Viene studiata la risposta dinamica non lineare del telaio dell'Esempio 7 sottoposto all'accelerazione sismica registrata durante il terremoto del Friuli (6-5-1976) a Tolmezzo (stazione Diga Ambiesta). I dati del sisma sono stati reperiti sul sito Internet:

Internet Site for European Strong-Motion Data (<http://www.isesd.cv.ic.ac.uk/esd/>)

*Drain Solver – Non Linear Dynamic*

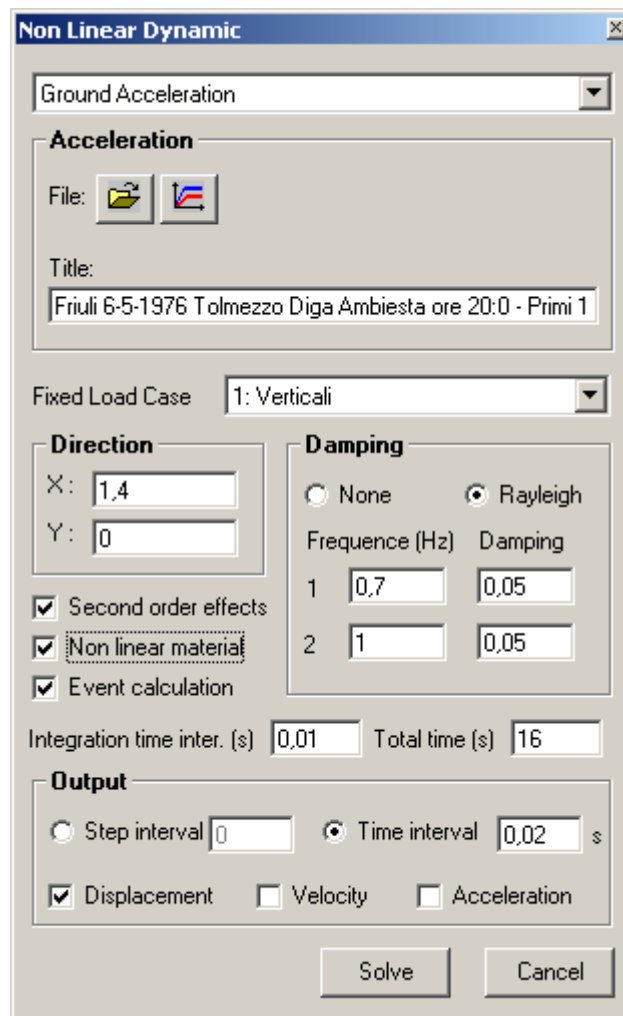




Fig. 72

L'accelerogramma, memorizzato nel file dei dati, è stato caricato da un file di testo premendo il pulsante  (vedi Esempio 8). Premere il pulsante  per visualizzare l'accelerogramma (Fig. 73).

<sup>K</sup> Non Linear Dynamic;Ground acceleration;Accelerazione del suolo;Analisi dinamica non lineare;Drift;

<sup>+</sup> auto

<sup>#</sup> TUT\_090

<sup>\$</sup> Esempio 9 – Non Linear Dynamic

Scegliere la condizione di carico per i carichi verticali statici presenti durante il sisma.

Introdurre in *Direction* le componenti del vettore di direzione del sisma: l'accelerogramma viene applicato nelle due direzioni X e Y con i moltiplicatori introdotti. In questo esempio si è introdotto il valore 1,4 per tener conto del fattore di importanza (edifici la cui funzionalità durante il terremoto ha importanza fondamentale per la protezione civile).

Per lo smorzamento alla *Rayleigh* si sono introdotti due valori uguali pari a 0,05 (5%) per il coefficiente di smorzamento equivalente  $\xi$  in corrispondenza a due valori della frequenza vicini alla frequenza del primo modo (0,756 Hz). Il programma calcola i coefficienti  $\alpha$  e  $\beta$  di Rayleigh, usati dal solutore Drain, con la classica formula:

$$2\xi_1\omega_1 = \alpha + \beta\omega_1^2$$

$$2\xi_2\omega_2 = \alpha + \beta\omega_2^2$$

Selezionare le opzioni *Second order effects* e *Non linear material*. Con l'opzione *Event calculation* Drain inserisce automaticamente passi intermedi quando necessario (quando cambia significativamente la matrice di rigidezza).

Inserire l'intervallo di integrazione e la durata dell'analisi. Si è scelto di analizzare il comportamento della struttura oltre la durata dell'accelerogramma che è di 12 secondi.

Per l'output si è scelto di salvare i risultati ogni 0,02 s limitatamente alle deformazioni (le sollecitazioni vengono comunque salvate).

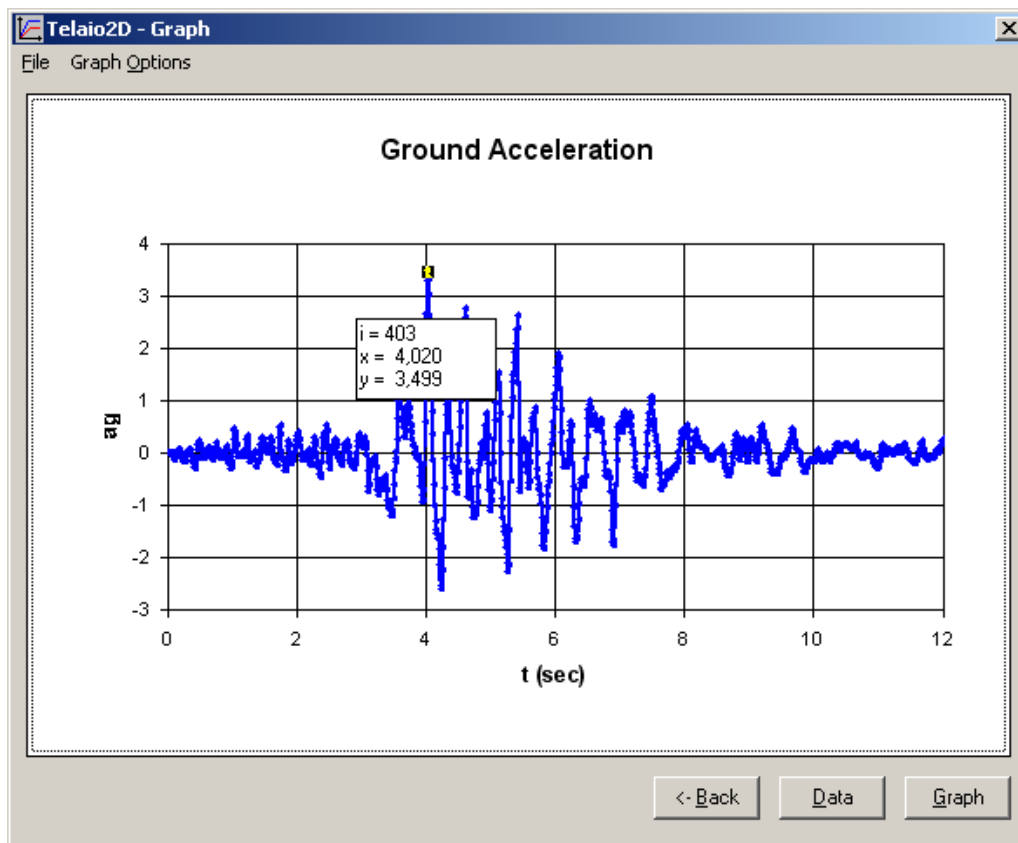


Fig. 73

Per eseguire l'analisi cliccare su *Solve* (Fig. 72). Vedi Esempio 5 per la descrizione dello svolgimento dell'analisi in Drain.

### Grafici (*Graphs*)

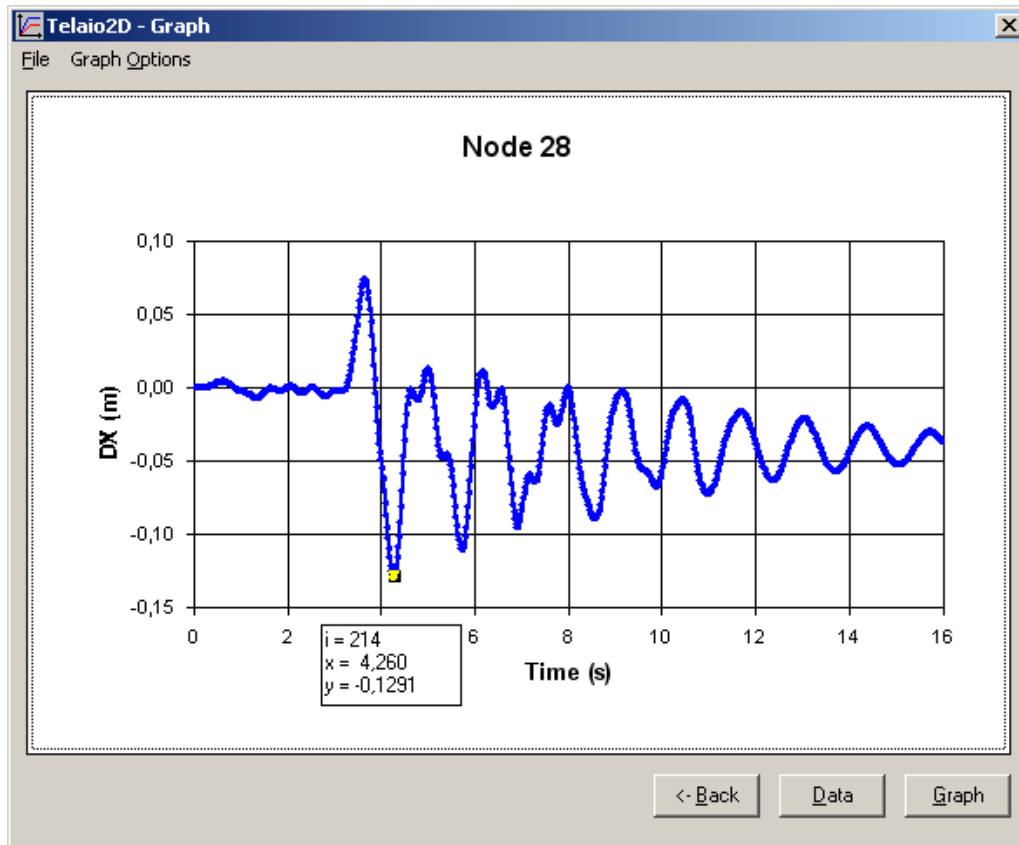


Fig. 74

In Fig. 74 è mostrato il diagramma dello spostamento orizzontale dell'ultimo piano. Lo spostamento massimo è di 12,8 cm. Dopo la scossa l'oscillazione si smorza e rimane uno spostamento residuo di circa 3 cm.

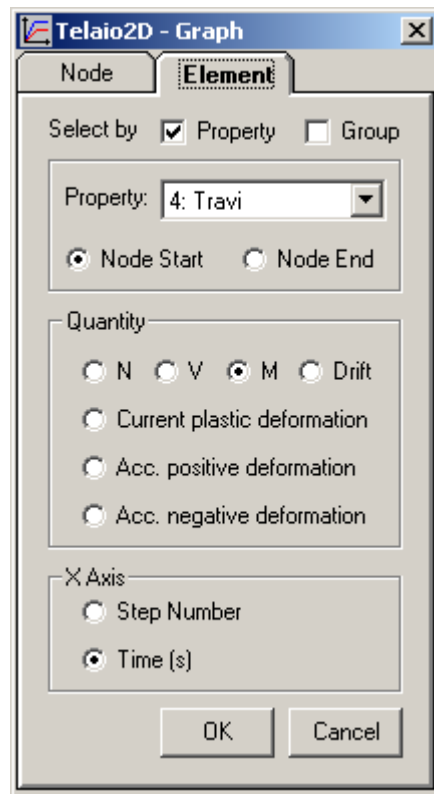


Fig. 75

Per ottenere il diagramma involuppo delle sollecitazioni selezionare la casella *Select by Property* (Fig. 75). Scegliere la proprietà e l'estremo degli elementi da inserire nell'involuppo. Si ottiene il diagramma di Fig. 76 nel quale, operando sul menu *Graph Options*, si sono eliminate le marche, si è ridotto lo spessore delle linee e si sono evidenziati in grassetto gli assi.

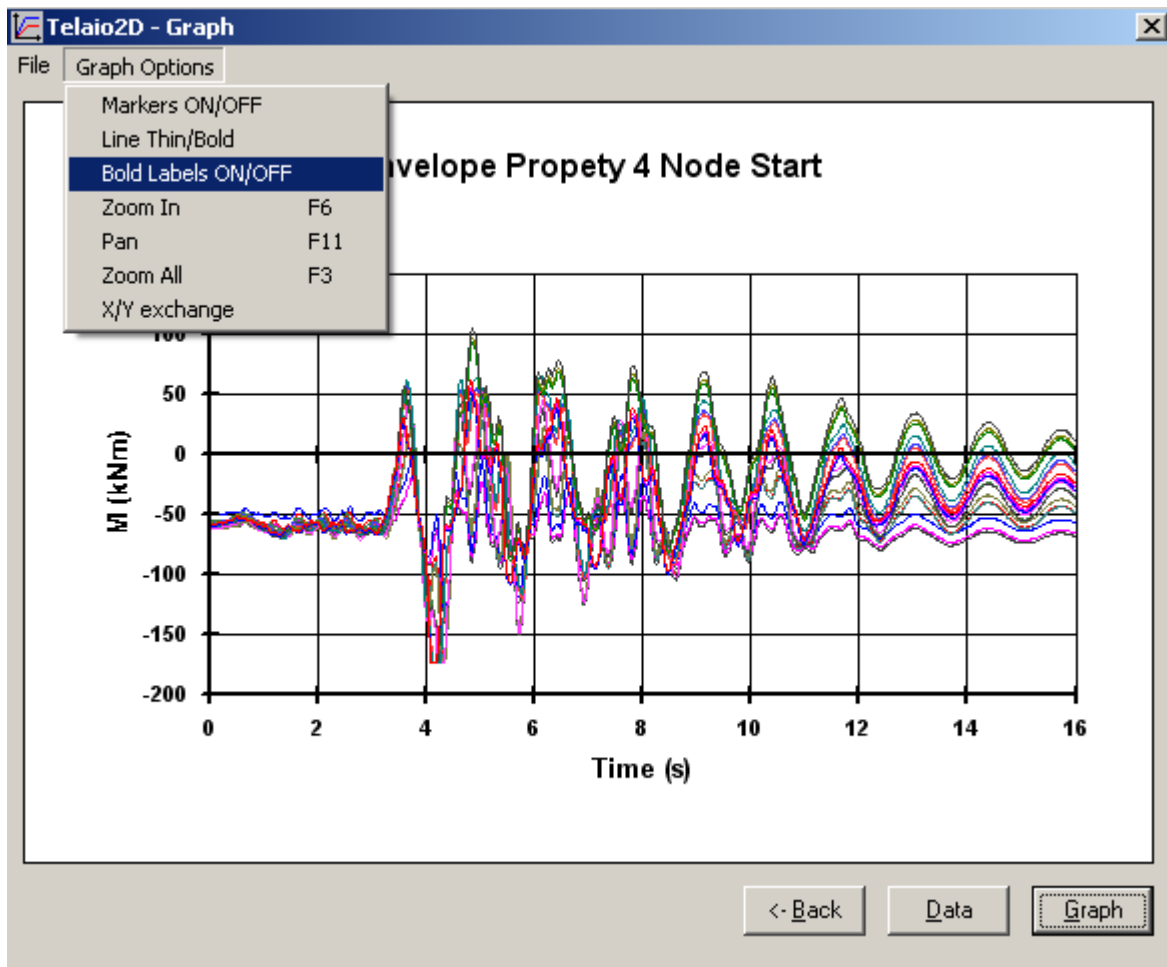


Fig.76

Per ingrandire un particolare si deve selezionare il menu *Zoom In*: il cursore si trasforma in una croce. Cliccare in due punti che individuano i vertici opposti della finestra da ingrandire. Correggere eventualmente il posizionamento con *Pan*. Si ottiene il diagramma di Fig. 77.

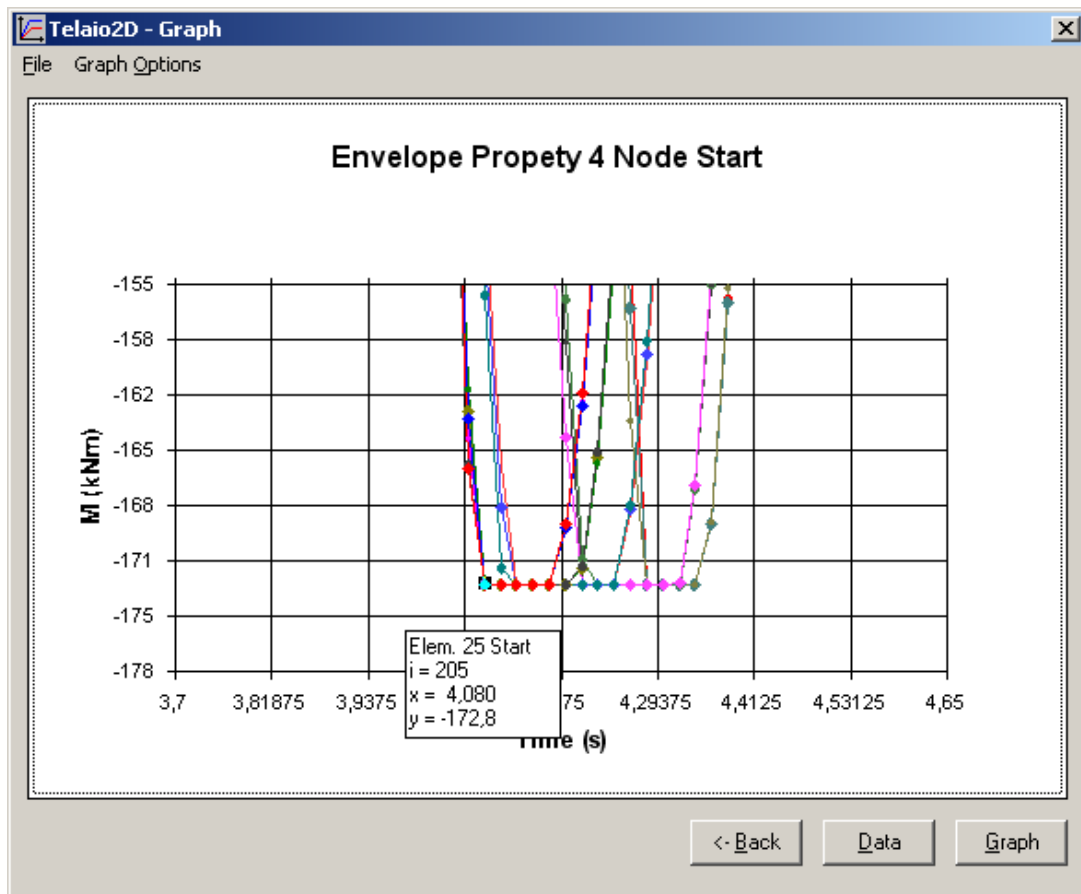



Fig. 77

Si nota che nelle travi si sono formate cerniere plastiche ( $M_{pl} = 172,8 \text{ kNm}$ ).

In Fig. 78 è mostrata la distribuzione delle cerniere plastiche al passo 212, ottenuta premendo il tasto  e scegliendo *current plastic hinges rotation*.

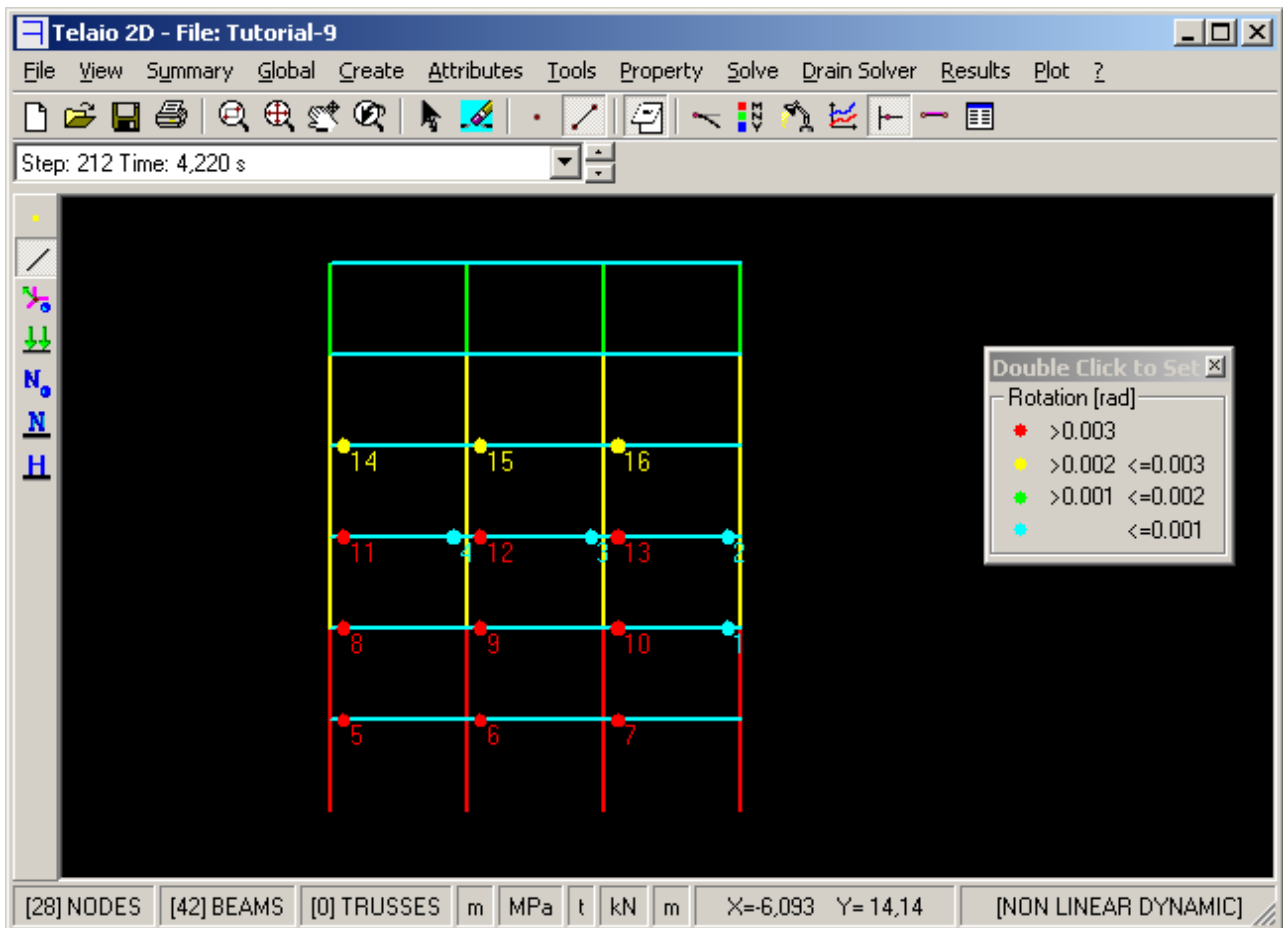


Fig. 78

In Fig. 79 sono mostrate la deformata ed il diagramma del momento in corrispondenza dell'istante nel quale si ha lo spostamento massimo in sommità. Agire sulla rotella del mouse (il Combo Box deve essere evidenziato) per scorrere la storia dell'evento sismico.



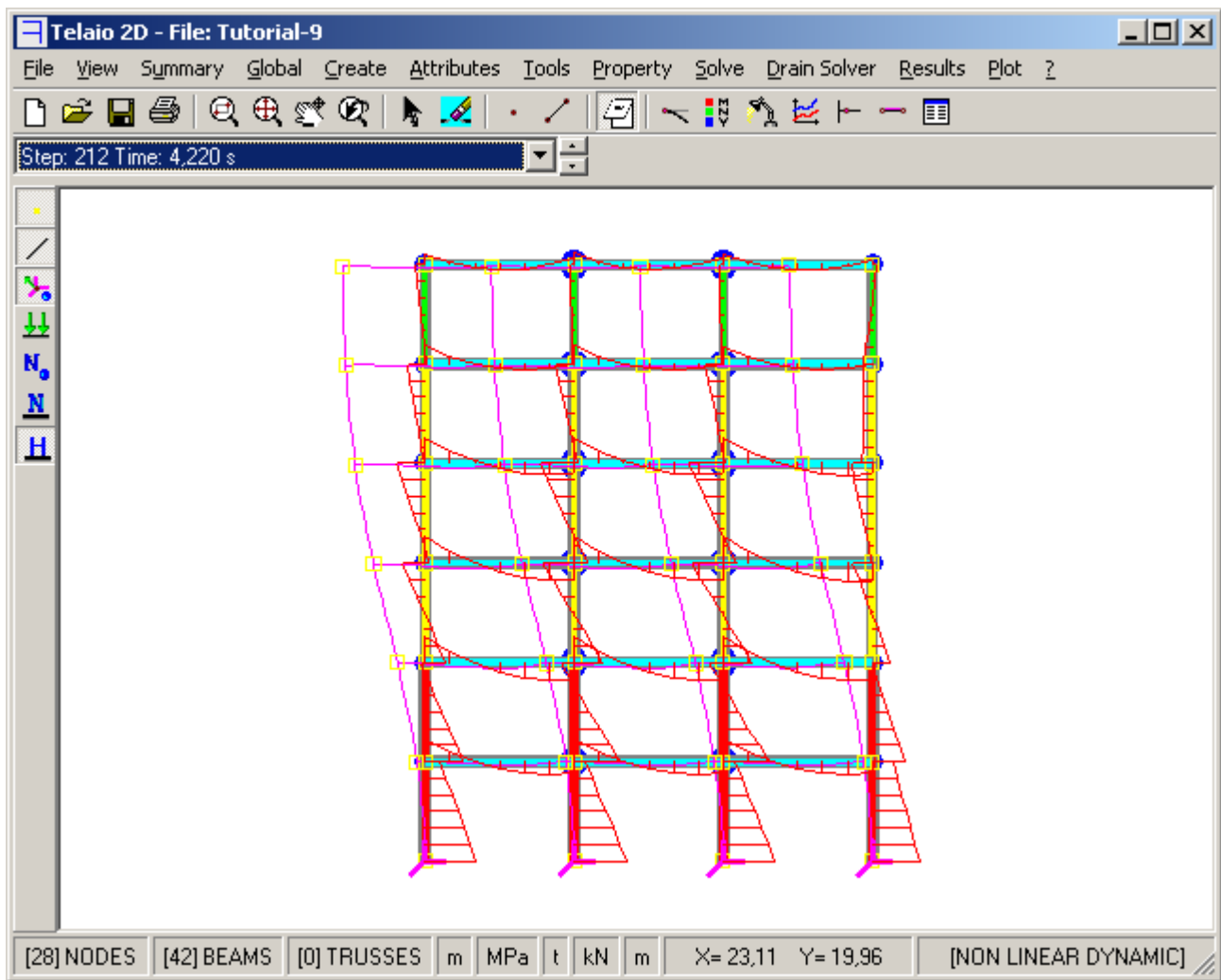


Fig. 79

In Fig. 80 è riportato l'involuppo dei *Drift* per il gruppo Colonne sinistra. Il drift massimo è pari a circa 1,2%.

Il Drift è il rapporto fra gli spostamenti DX degli estremi dell'elemento e la sua lunghezza.

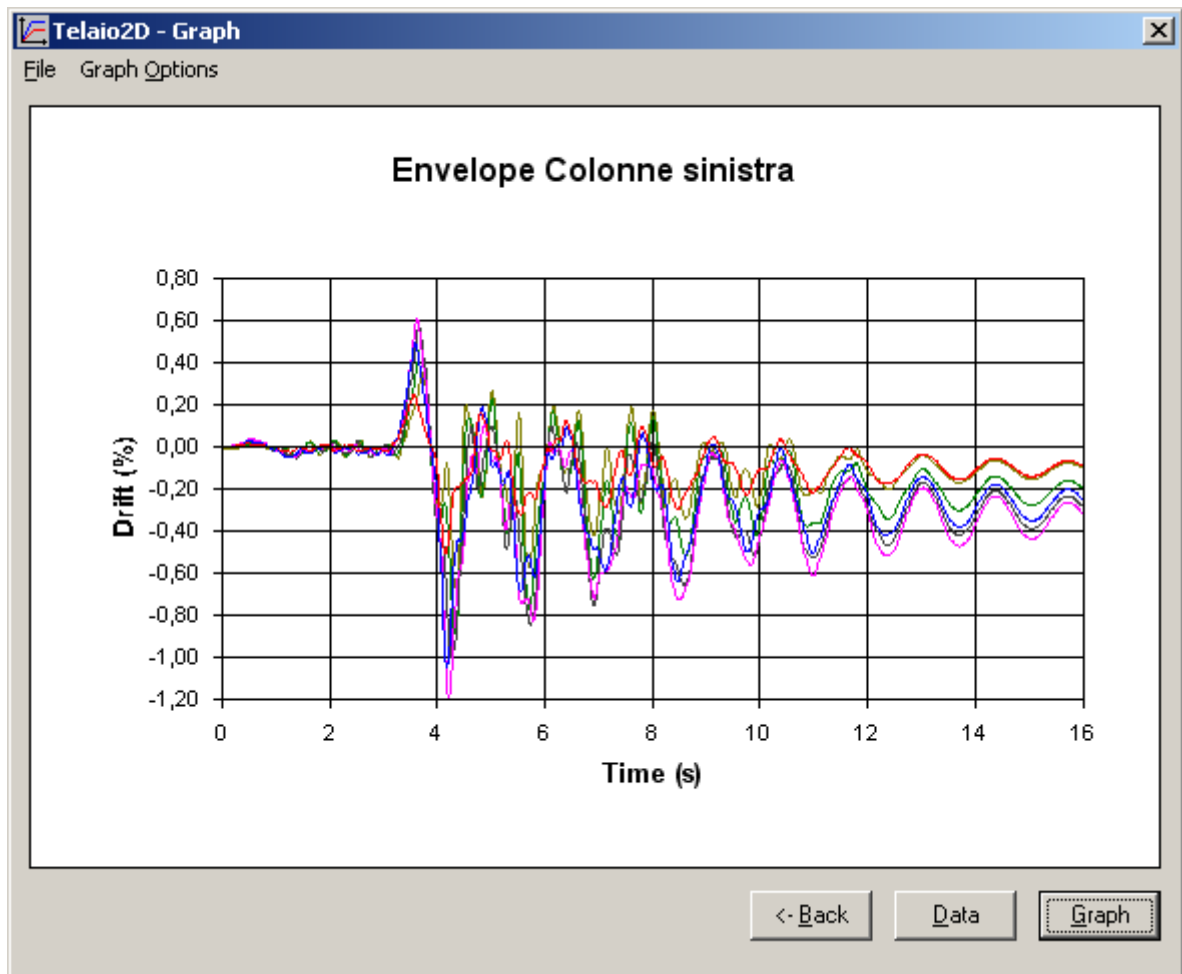


Fig. 80