

**INFORMATIVA SULL'AFFIDABILITÀ DEI CODICI**

D.M. 14.01.2008 – § 10.2

D.M. 17/01/2018 – § 10.2

*"Norme tecniche per le costruzioni" –*

Il processo di progettazione e sviluppo del software **'TraRet Plus'**, per ciò che riguarda le procedure di calcolo e l'elaborazione degli elaborati in output forniti, è sottoposto al controllo del Sistema di Gestione della Qualità Aziendale della **Stacec s.r.l.**, con sede in Bovalino (RC), S.S. 106 km 87, n. 59, conforme alla norma ISO 9001:2000 e certificato da **Certiquality** con n. 8679.

Al fine della comprensione del metodo e dei parametri utilizzati si allegano i cenni teorici adeguatamente commentati.

Si dichiara, inoltre, che al progettista sono stati forniti gli esempi di calcolo sottoelencati, utilizzati per verificare la validità delle procedure di calcolo ed effettuare le necessarie verifiche di controllo, i cui dati in ingresso, in essi riportati, potranno essere utilizzati per eventuali confronti con altri strumenti di calcolo.

- Test01.T2D
- Test02.T2D

Il software è dotato di strumenti di autodiagnostica che controllano ed evidenziano, durante le procedure di inserimento dei dati e di elaborazione, eventuali valori non congrui, il cui utilizzo comprometterebbe una corretta elaborazione.

*Bovalino, 2 marzo 2018.*

## **Allegato 1**

### **Cenni teorici**

#### ***Introduzione.***

Questo allegato descrive i concetti teorici e la modellazione strutturale su cui poggiano le procedure di analisi adottate da TraRet Plus.

La descrizione è relativa alla soluzione delle incognite strutturali e alle sollecitazioni di calcolo agenti sulle varie parti della struttura. Per tutto ciò che concerne le verifiche strutturali dei singoli elementi si rimanda il lettore all'apposito capitolo.

L'analisi numerica della struttura viene condotta attraverso l'utilizzo del metodo degli elementi finiti ipotizzando un comportamento elastico-lineare.

Il metodo degli elementi finiti consiste nel sostituire il modello continuo della struttura con un modello discreto equivalente e di approssimare la funzione di spostamento con un polinomio algebrico, definito in regioni (dette appunto elementi finiti) che sono delle funzioni interpolanti il valore di spostamento definito in punti discreti (detti nodi).

Gli elementi finiti utilizzabili ai fini della corretta modellazione della struttura verranno descritti di seguito.

Il modello di calcolo può essere articolato sulla base dell'ipotesi di impalcato rigido, in funzione della reale presenza di solai continui capaci di irrigidire tutto l'impalcato. Tale ipotesi viene realizzata attraverso l'introduzione di adeguate relazioni cinematiche tra i gradi di libertà dei nodi costituenti l'impalcato e i gradi di libertà del nodo "master" posizionato nel centro di massa dell'impalcato stesso.

#### ***Oggetti ed elementi.***

Le parti fisiche della struttura vengono rappresentati in TraRet Plus come elementi. Tali elementi, automaticamente associati dal programma agli oggetti reali introdotti dall'input, sono i seguenti:

- **Nodi** : Sono entità geometriche determinate tramite le due coordinate nel riferimento globale. I nodi, nel piano, posseggono due gradi di libertà traslazionali e uno rotazionale. Essi sono posizionati in modo da definire gli estremi degli elementi finiti e, di regola, in ogni discontinuità strutturale, di carico, di caratteristiche meccaniche, di campo di spostamento.
- **Aste** : Si tratta di elementi finiti monodimensionali ad asse rettilineo delimitate da 2 nodi (i nodi di estremità). Per questi elementi generalmente la funzione interpolante è quella del modello analitico per cui la mesh non influisce sensibilmente sulla convergenza. Le aste sono dotate di rigidità assiale, flessionale, e a taglio, secondo i due modelli classici della trave inflessa: Eulero-Bernoulli e Timoshenko. Comunque quest'ultimo tipo non viene al momento utilizzato in TraRet Plus. Alla singola asta è possibile associare una sezione costante per tutta la sua lunghezza. Le aste possono essere di tipo "Beam" e "Truss". In quest'ultime gli estremi dell'elemento vengono considerati non reagenti a nessun tipo di momento, in modo da simulare la presenza di cerniere cilindriche.

Tutti gli elementi descritti sono utilizzati dal programma per modellare la struttura. All'avvio del calcolo il programma converte gli oggetti introdotti in elementi di calcolo.

#### ***Sistema di coordinate.***

I sistemi di riferimento sono usati per definire localmente le parti del modello strutturale e per riferire i carichi, gli spostamenti, le sollecitazioni, le tensioni, le reazioni. Per la risoluzione della struttura il programma utilizza due distinti sistemi di riferimento tridimensionali:

- 
- 3

Tra i vincoli più utilizzati nel piano si citano:

- **Incastro:** reagisce con tre forze e tre momenti in quanto vengono bloccati tutte le componenti di spostamento (traslazionali e rotazionali);
- **Cerniera cilindrica:** reagisce con due forze contenute nel piano ortogonale all'asse di rotazione della cerniera;
- **Carrello:** reagisce con una forza diretta lungo l'asse del carrello.

Il sistema lineare da risolvere è, relativamente ad un nodo, il seguente:

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \\ M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{xx} & K_{xy} & K_{xz} & K_{x\phi_x} & K_{x\phi_y} & K_{x\phi_z} \\ & K_{yy} & K_{yz} & K_{y\phi_x} & K_{y\phi_y} & K_{y\phi_z} \\ & & K_{zz} & K_{z\phi_x} & K_{z\phi_y} & K_{z\phi_z} \\ & & & K_{\phi_x\phi_x} & K_{\phi_x\phi_y} & K_{\phi_x\phi_z} \\ & Sym & & K_{\phi_y\phi_y} & K_{\phi_y\phi_z} \\ & & & & K_{\phi_z\phi_z} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \\ \phi_x \\ \phi_y \\ \phi_z \end{bmatrix}$$

La matrice di rigidezza è del tipo pieno. L'introduzione delle molle comporta un'aggiunta alla matrice di rigidezza della seguente matrice:

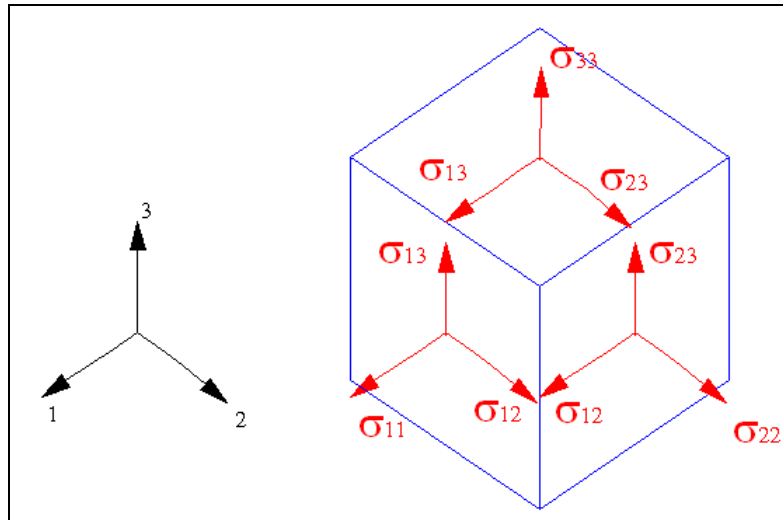
$$\begin{bmatrix} K_x & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & K_y & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & K_{\phi_x} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & K_{\phi_y} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & K_{\phi_z} \end{bmatrix}$$

In questo ultimo caso le reazioni verranno automaticamente calcolate moltiplicando lo spostamento nodale per il valore della rigidezza introdotta corrispondente alla reazione cercata.

## ***Proprietà dei materiali.***

Il comportamento dei materiali utilizzati nel calcolo è di tipo omogeneo isotropo con legame elastico-lineare. Le proprietà elastiche e meccaniche dei materiali sono definite rispetto al sistema di riferimento locale. Il sistema di riferimento locale è importante nel caso di materiale anisotropi o ortotropi, è indifferente nel caso di materiali isotropi, in quanto le caratteristiche meccaniche e elastiche sono indipendenti da ogni sistema di riferimento utilizzate.

Le caratteristiche elastiche sono relazionate alle tensioni e alle deformazioni attraverso il materiale. Le tensioni sono definite come forze per unità di superficie agenti sulle faccie di un solido che chiameremo "cubetto elementare". Utilizzando il sistema di riferimento locale possiamo riassumere il tutto nella seguente figura:



I termini  $\sigma_{11}$ ,  $\sigma_{22}$ ,  $\sigma_{33}$  sono le componenti di tensione che provocano l'allungamento del cubetto nella dimensione considerata. I termini  $\sigma_{12}$ ,  $\sigma_{13}$ ,  $\sigma_{23}$  sono le componenti di tensione che provocano distorsioni angolari tra le direzioni considerate.

Alcune delle componenti di tensione non sono presenti in tutti gli elementi. Per esempio nelle aste sono assunte nulle le  $\sigma_{22}$ ,  $\sigma_{33}$ ,  $\sigma_{23}$ .

Le componenti di deformazione del cubetto si calcolano come:

$$\varepsilon_{11} = \frac{\partial u_1}{\partial x_1}$$

$$\varepsilon_{22} = \frac{\partial u_2}{\partial x_2}$$

$$\varepsilon_{33} = \frac{\partial u_3}{\partial x_3}$$

$$\gamma_{12} = \frac{\partial u_1}{\partial x_2} + \frac{\partial u_2}{\partial x_1}$$

$$\gamma_{13} = \frac{\partial u_1}{\partial x_3} + \frac{\partial u_3}{\partial x_1}$$

$$\gamma_{23} = \frac{\partial u_2}{\partial x_3} + \frac{\partial u_3}{\partial x_2}$$

dove  $u_1, u_2, u_3$  sono gli spostamenti riferiti al sistema di riferimento locale. Le deformazioni possono essere anche causate da dilatazioni termiche applicate sugli elementi strutturali.

Come già accennato il comportamento dei materiali in TraRet Plus è di tipo isotropico. Ciò vuol dire che l'elementino solido ha il medesimo comportamento indipendentemente dalla direzione considerata.

La correlazione tra deformazioni e tensioni è riportata nella seguente relazione:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{33} \\ \gamma_{12} \\ \gamma_{13} \\ \gamma_{23} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E} & -\frac{\nu}{E} & -\frac{\nu}{E} & 0 & 0 & 0 \\ & \frac{1}{E} & -\frac{\nu}{E} & 0 & 0 & 0 \\ & & \frac{1}{E} & 0 & 0 & 0 \\ & & & \frac{1}{G} & 0 & 0 \\ & sym & & & \frac{1}{G} & 0 \\ & & & & & \frac{1}{G} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \sigma_{12} \\ \sigma_{13} \\ \sigma_{23} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \alpha \\ \alpha \\ \alpha \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \Delta T$$

Dove  $E$  è il modulo elastico longitudinale,  $\nu$  è il coefficiente di Poisson,  $G$  è il modulo elastico a taglio e  $\alpha$  è il coefficiente di espansione termica. Il modulo elastico a taglio è calcolabile dalla seguente relazione:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

Il modulo elastico longitudinale è sempre positivo e il coefficiente di Poisson deve soddisfare le seguenti limitazioni:

$$-1 < \nu < 0.5$$

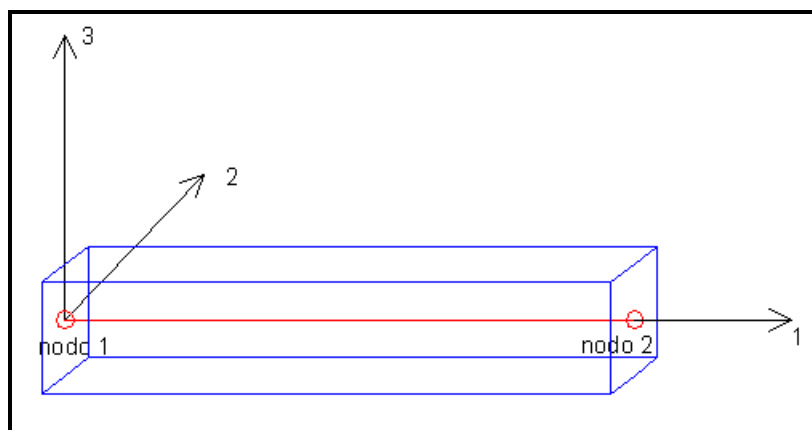
### ***Elementi BEAM e TRUSS (NEL PIANO).***

In questa sezione verrà approfondita la trattazione degli elementi finiti tipo BEAM e tipo TRUSS, utili alla modellazione di travi, pilastri e aste di travature reticolari nel piano, e caratterizzati da un asse rettilineo.

La differenza tra BEAM e TRUSS sta nel grado di connessione alle estremità. Infatti l'elemento TRUSS (noto anche come biella) presenta sconnessioni ai momenti flettenti e torcente di estremità presentando proprio alle due estremità due cerniere sferiche.

D'ora in avanti verrà approfondito l'elemento BEAM.

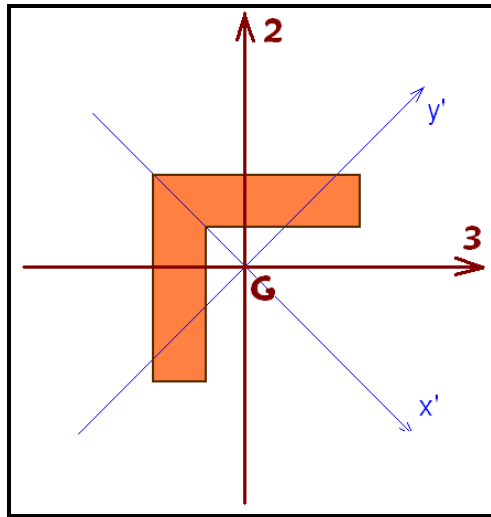
Questo elemento finito possiede 6 gradi di libertà in quanto i due nodi di estremità hanno, nel piano, 3 gradi di libertà ciascuno di cui 2 legati alla traslazione e 1 legato alla rotazione:



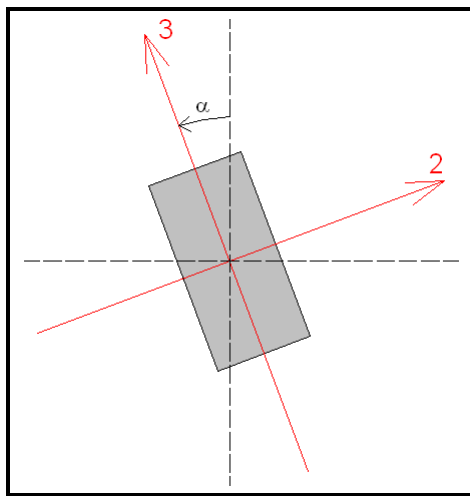
Il sistema di riferimento locale viene costruito partendo dall'asse 1 fatto coincidere con la linea d'asse della trave e orientato positivamente dal nodo 1 al 2. Gli altri due assi sono costruiti attraverso una roto-traslazione rigida del sistema di riferimento di riferimento globale in modo da sovrapporre l'asse x all'asse 1, secondo le indicazioni riportate nei capitolo precedenti.

I momenti di inerzia della sezione sono riferiti agli assi 2 e 3.

Per le sezioni doppiamente non simmetriche (ad esempio le sezioni a L) i momenti d'inerzia non sono riferiti agli assi principali ma sempre e soltanto ai due assi identificati con 2 e 3 passanti per il baricentro della sezione trasversale ed orientati secondo la seguente figura:



Tutte le proprietà delle sezioni, i carichi e le caratteristiche della sollecitazione sono riferite agli assi locali della trave. Eventuali rotazioni dell'asse della sezione comportano uguali rotazione del sistema di riferimento locale.



Le principali grandezze elastiche considerate per le sezioni trasversali associate agli elementi BEAM o TRUSS sono:

- **Superficie;**
- **Momenti di inerzia relativi al sistema suddetto di riferimento baricentrico;**
- **Momento d'inerzia torsionale;**

I tipi di sezione trasversali utilizzabili in TraRet Plus verranno approfondite nella sezione riguardante le verifiche strutturali.

Come già riportato il materiale costituente la sezione associata all'asta è assunto essere di tipo isotropo. I parametri atti a definirlo sono il modulo elastico longitudinale E e il coefficiente di Poisson. Le altre caratteristiche del materiale sono costituite dal peso proprio per unità di lunghezza (automaticamente calcolato dal programma), dalla massa per unità di lunghezza (automaticamente calcolato dal programma) e dal coefficiente termico di dilatazione lineare.

Sulla linea d'asse della trave possono agire contemporaneamente una molteplicità di carichi:

- **Carichi distribuiti uniformi** espressi nel sistema di riferimento locale o globale dell'asta;
- **Carichi distribuiti non uniformi** espressi nel sistema di riferimento locale o globale dell'asta;
- **Variazioni termiche uniformi**;

I carichi ripartiti (uniformi o non uniformi) interessano tutta la lunghezza dell'asta ed hanno componenti lungo gli assi locali 1,2,3 del sistema di riferimento locale. È tuttavia possibile introdurre lo stesso tipo di carico riferito al riferimento globale X,Y,Z.

Tutti i tipi di carico ripartito possono essere forze o momenti flettenti, entrambi riferiti all'unità di lunghezza.

I carichi termici introducibili sono del tipo lineare costante e provocano variazione di lunghezza dell'asta.

La connessione interna tra le aste è per default sempre del tipo rigido, ovvero le aste generano ai nodi reazioni di incastro perfetto. Dall'ambiente principale di TraRet Plus è possibile "svincolare" localmente la risposta flessionale ai nodi di estremità. In poche parole è possibile introdurre cerniere cilindriche (orientate localmente) o sferiche.

Come accennato l'Elemento TRUSS ha, nella sua definizione, automaticamente liberi le componenti di reazione a rotazione.

I dati di output relativi agli elementi BEAM e TRUSS sono:

- **forze interne** ( $N_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ );
- **momenti interni** ( $M_T$ ,  $M_{12}$ ,  $M_{13}$ ).

## ***Azioni agenti sulla struttura.***

Il programma prevede le seguenti azioni sulla struttura:

- **Carichi permanenti strutturali**;
- **Carichi permanenti non strutturali**;
- **Azioni da variazioni Termiche**;
- **Azioni Sismiche**;
- **Azioni da Vento**.
- **Azioni da Neve**.
- **Azione variabili per ambienti ad uso residenziale**
- **Azioni variabili per Uffici**
- **Azioni variabili per ambienti affollati**
- **Azioni variabili per ambiente ad uso commerciale**
- **Azioni variabili per biblioteche, archivi, magazzini ed ambiente per uso industriale**
- **Azioni variabili per Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso < 30KN)**
- **Azioni variabili per Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30KN)**
- **Azioni variabili per coperture**

Nei carichi permanenti vengono computati il peso proprio della struttura, le strutture secondarie (solai e balconi) con tutti i relativi sovraccarichi, muri di tamponamento.

I carichi vengono computati in funzione dei pannelli di carico associati agli elementi strutturali secondari (solai, scale, muri di tamponamento e balconi)

I carichi termici sono generati in automatico in funzione del valore di salto termico differenziato per tutte le aste.

## ***Tipi di analisi.***

Il motore di calcolo di TraRet Plus consente di effettuare la sola analisi Statica Lineare.

L'analisi Statica Lineare è utilizzata per processare sempre i vettori di carico relativi a:

- **Carichi permanenti strutturali**;
- **Carichi permanenti non strutturali**;





- **Carichi accidentali;**
- **Variazioni termiche;**
- **Sisma torcente accidentale.**

Il metodo di calcolo si fonda su algoritmi di calcolo dell'analisi matriciale create appositamente per l'ottimizzazione su elaboratore elettronico.

Le matrici di massa e rigidezza sono memorizzate nella forma di **matrice sparsa**, un formato compatto che consente di memorizzare solo le posizioni diverse da zero. Nel caso specifico delle problematiche connesse al calcolo strutturale consente un risparmio di memoria fino al 95% e l'utilizzo di algoritmi per la risoluzione dei sistemi lineari ed il calcolo degli autovalori notevolmente ottimizzati.

Dopo il calcolo e l'assemblaggio della matrice di rigidezza, effettuata solo sui nodi liberi (e quindi relativamente alle incognite di spostamento), si passa alla risoluzione del sistema di equazioni lineari di equilibrio della struttura:

$$[F] = [\overline{K}] \times [u]$$

dove:

$[F]$  è il vettore dei carichi applicati ai nodi;

$[\overline{K}]$  è la matrice di rigidezza bandata relativa ai cinematismi liberi;

$[u]$  è il vettore degli spostamenti nodali.

La risoluzione del sistema avviene attraverso la triangolarizzazione della matrice di rigidezza bandata e con la successiva sostituzione all'indietro. Il controllo di stabilità viene fatto controllando che sulla diagonale della matrice decomposta non vi siano valori nulli. È tuttavia possibile che per motivi esclusivamente numerici alcune forme di stabilità non vengano riscontrate dall'algoritmo.

Una volta calcolati gli spostamenti nodali incogniti, vengono calcolati le deformazioni interne ad ogni singolo elemento utilizzando le funzioni di forma utili alla definizione degli elementi finiti. Dallo stato deformativo si passa, infine, al calcolo delle caratteristiche di sollecitazione, definite rispetto al sistema di riferimento locale, di ogni elemento presente nel modello.

## Allegato 2

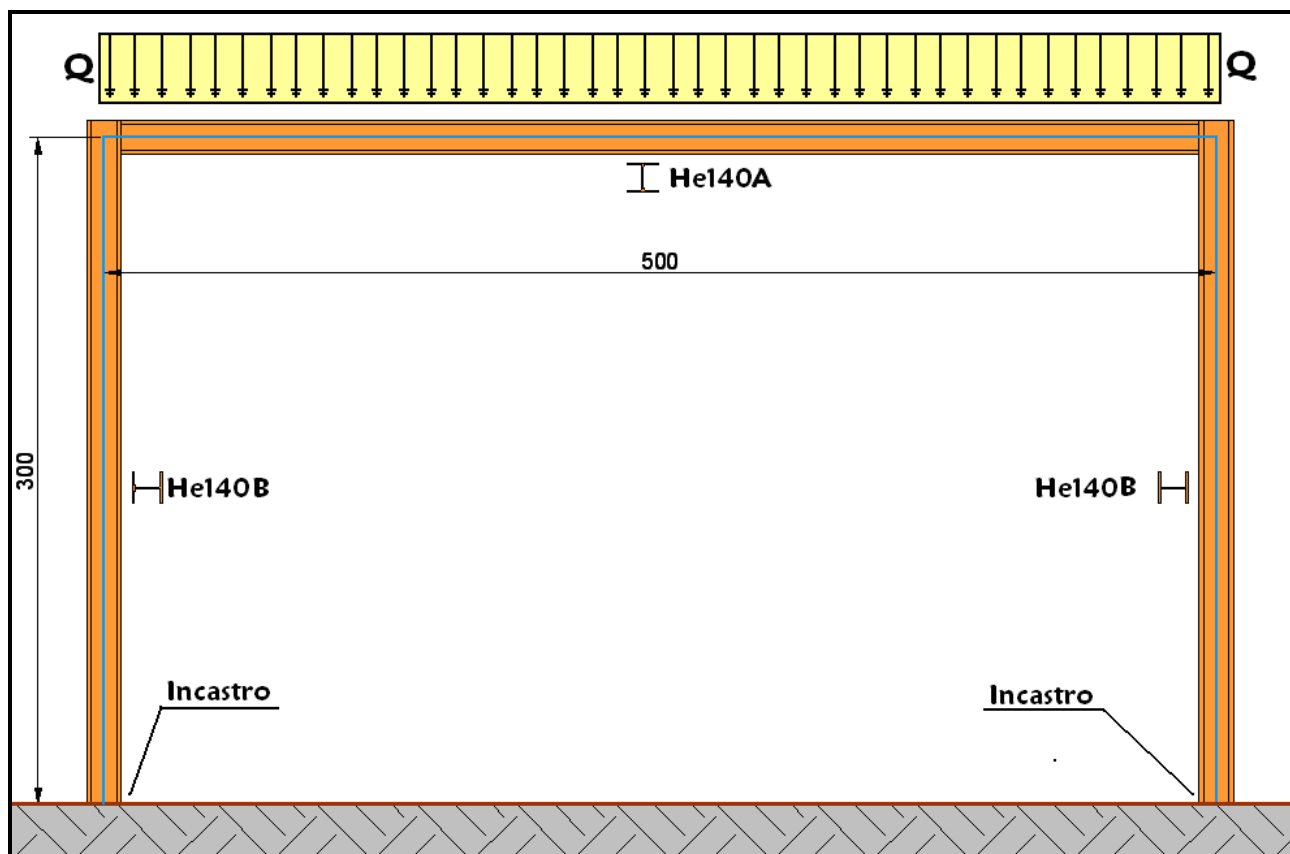
### Test di affidabilità

#### Test 01

|      |  |
|------|--|
| File | ' Test01.swf '   |
| Tipo | Portale incastrato<br>(con carico distribuito sulla trave) |

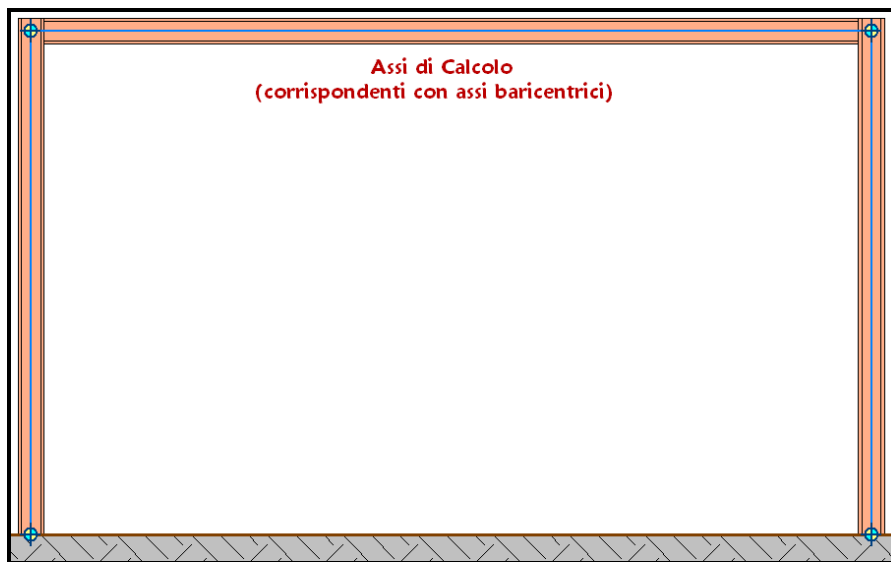
#### Dati del confronto

|                           |                 |
|---------------------------|-----------------|
| Altezza del portale:      | 300 cm          |
| Dimensione longitudinale: | 500 cm          |
| Materiale pilastri:       | Acciaio         |
| Materiale Trave:          | Acciaio         |
| Sezione pilastri:         | He140B          |
| Sezione trave:            | He140A          |
| Carico distribuito (Q):   | 2000 daN/m      |
| Peso proprio Travi:       | Non considerato |
| Peso proprio pilastri:    | Non considerato |

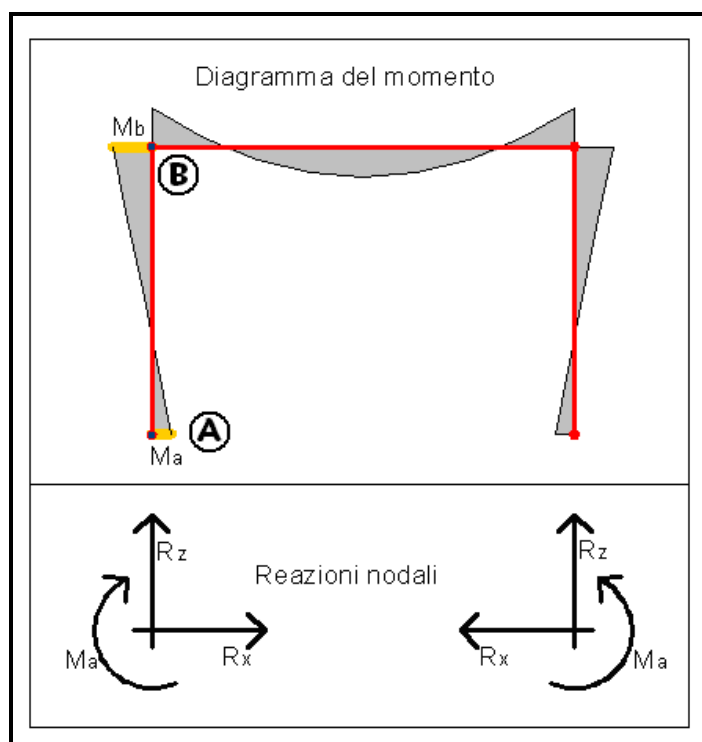


## Modello di riferimento per il calcolo

Luce pilastro (H): 300 cm  
 Luce trave (L): 500 cm  
 Vincolo piede pilastro : incastro perfetto (Rigidità infinita)



Soluzione dello schema strutturale



Le sollecitazioni cercate saranno dunque  $R_x, R_z, M_a$  ed  $M_b$  le quali saranno calcolate tramite le seguenti formule :

$$M_a = \frac{Q \cdot L^2}{12 \cdot (k + 2)}$$

$$M_b = -2 \cdot M_a$$

$$R_x = \frac{Q \cdot L^2}{4 \cdot H \cdot (k + 2)}$$

$$R_z = \frac{Q \cdot L}{2}$$

$$k = \frac{I_T \cdot H}{I_P \cdot L}$$

Dove IT e IP sono rispettivamente il momento di inerzia della trave e del pilastro attorno all'asse uscente al piano del telaio e riferiti al baricentro della sezione e valgono rispettivamente :

$$I_T = 1033.26 \text{ cm}^4$$

$$I_P = 1509.36 \text{ cm}^4$$

Il valore di K sarà

$$k = \frac{I_T \cdot H}{I_P \cdot L} = \frac{1033.26 \text{ cm}^4 \cdot 300 \text{ cm}}{1509.36 \text{ cm}^4 \cdot 500 \text{ cm}} = 0.411$$

Conseguentemente si otterrà

$$M_a = \frac{Q \cdot L^2}{12 \cdot (k + 2)} = \frac{2000 \frac{\text{daN}}{\text{m}} \cdot (5 \text{ m})^2}{12 \cdot (0.411 + 2)} = 1728.19 \text{ daN m}$$

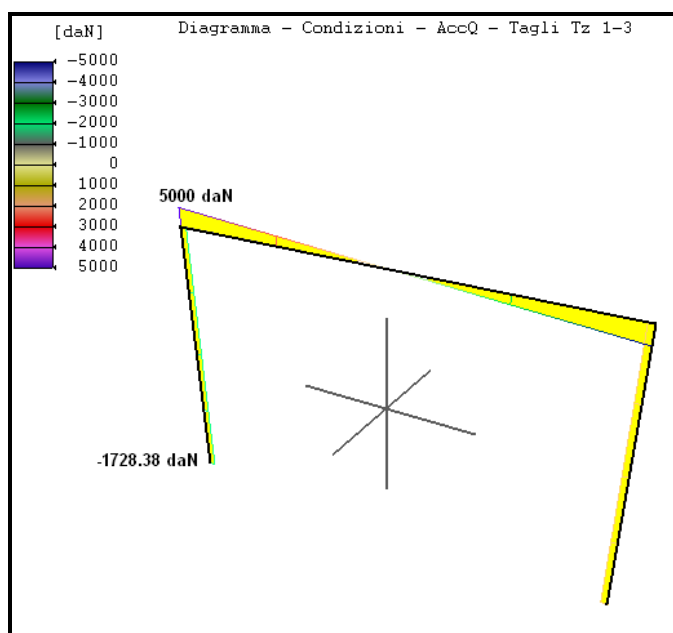
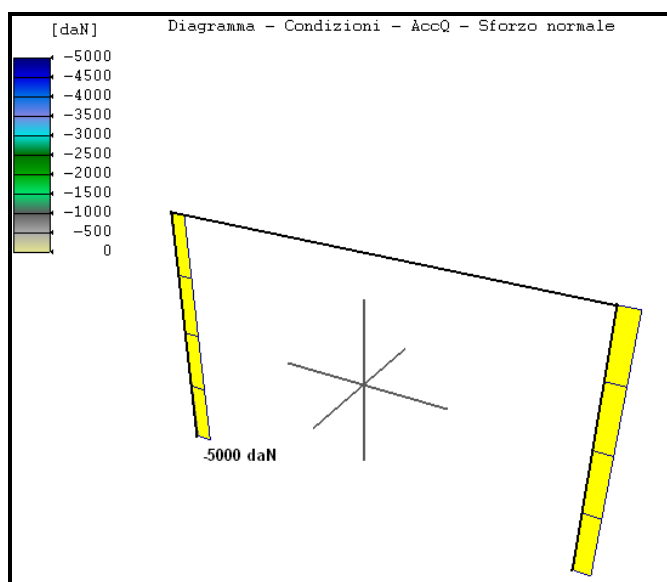
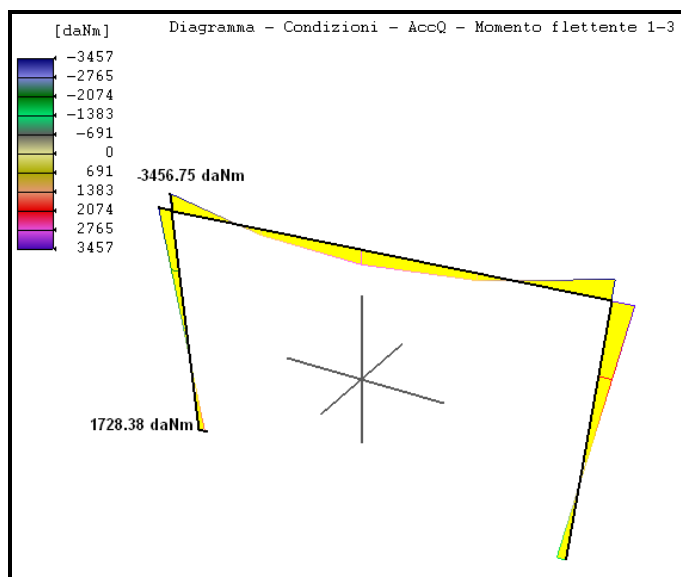
$$M_b = -2 \cdot M_a = -3456.38 \text{ daN m}$$

$$R_x = \frac{Q \cdot L^2}{4 \cdot H \cdot (k + 2)} = \frac{2000 \frac{\text{daN}}{\text{m}} \cdot (5 \text{ m})^2}{4 \cdot 3 \text{ m} \cdot (0.411 + 2)} = 1728.19 \text{ daN}$$

$$R_z = \frac{Q \cdot L}{2} = \frac{2000 \frac{\text{daN}}{\text{m}} \cdot 5 \text{ m}}{2} = 5000 \text{ daN}$$

### **Confronto risultati numerici**

Di seguito vengono riportati gli stati sollecitazionali di confronto così come restituiti da TraRet Plus.



Dal confronto, riportato nella tabella sottostante, risulta la correttezza delle sollecitazioni calcolate con TraRet Plus:

|           | <b>Valore teorico calcolato</b> | <b>Risultato TraRet Plus</b> | <b>Discordanza</b> |
|-----------|---------------------------------|------------------------------|--------------------|
| <b>Rz</b> | 5000 daN                        | 5000 daN                     | 0 %                |
| <b>Rx</b> | 1728.19 daN                     | 1728.38 daN                  | 0.01%              |
| <b>Ma</b> | 1728.19 daNm                    | 1728.38 daNm                 | 0.01%              |
| <b>Mb</b> | -3456.38 daNm                   | -3456.75 daNm                | 0.01%              |

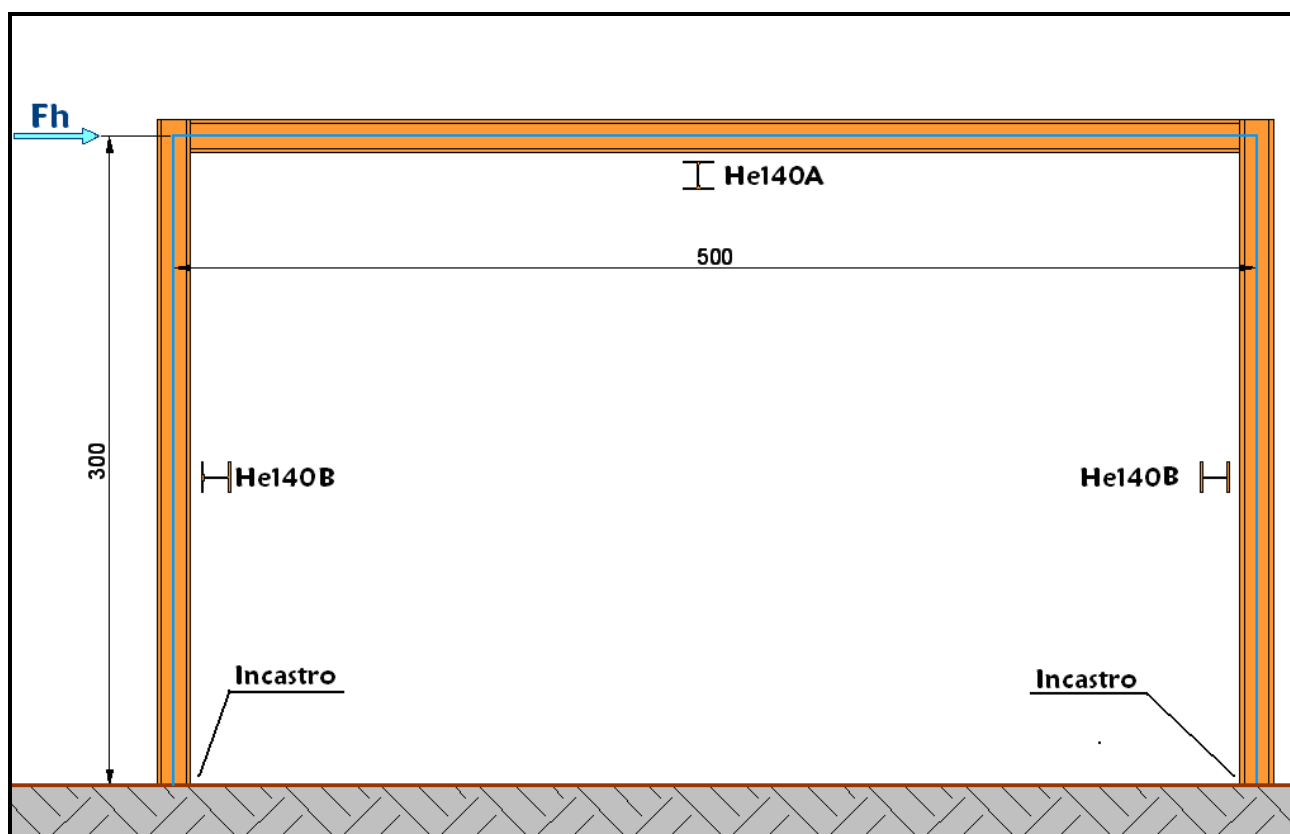
E' importante sottolineare che le ipotesi semplificative adottate per la risoluzione tradizionale teorica del telaio trascurano la presenza delle deformabilità tangenziale, torsionale e assiale delle aste e che nel modello adottato in TraRet Plus i contributi precedentemente menzionati sono considerati a meno della deformabilità assiale della trave, in quanto l'elaborazione è stata effettuata in presenza dell'ipotesi di impalcato rigido.

## Test 02

|      |   |
|------|---|
| File | <b>' Test02.swf '</b>   |
| Tipo | <i>Portale incastrato<br/>(con carico orizzontale a livello di impalcato)</i> |

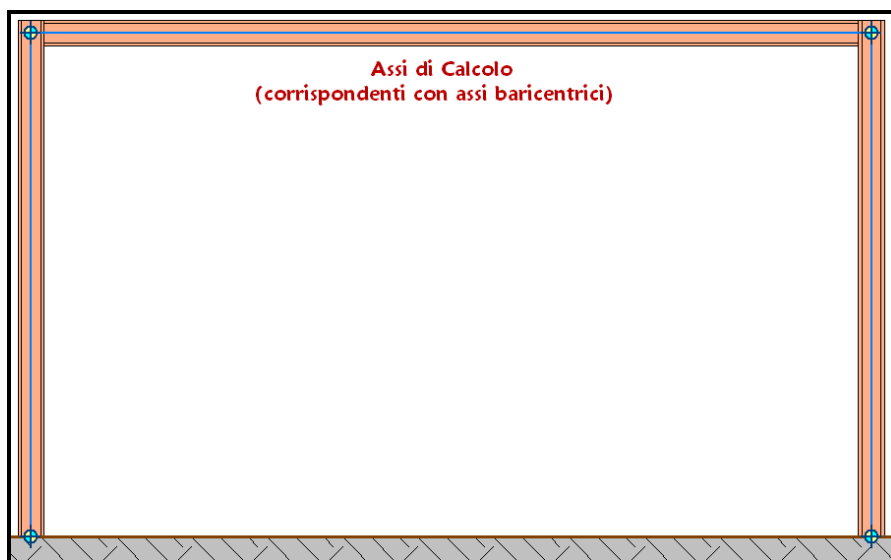
### Dati del confronto

|                           |                 |
|---------------------------|-----------------|
| Altezza del portale:      | 300 cm          |
| Dimensione longitudinale: | 500 cm          |
| Materiale pilastri:       | Acciaio         |
| Materiale Trave:          | Acciaio         |
| Sezione pilastri:         | He140B          |
| Sezione trave:            | He140A          |
| Carico Concentrato (Fh) : | 5000 daN        |
| Peso proprio Travi:       | Non considerato |
| Peso proprio pilastri:    | Non considerato |

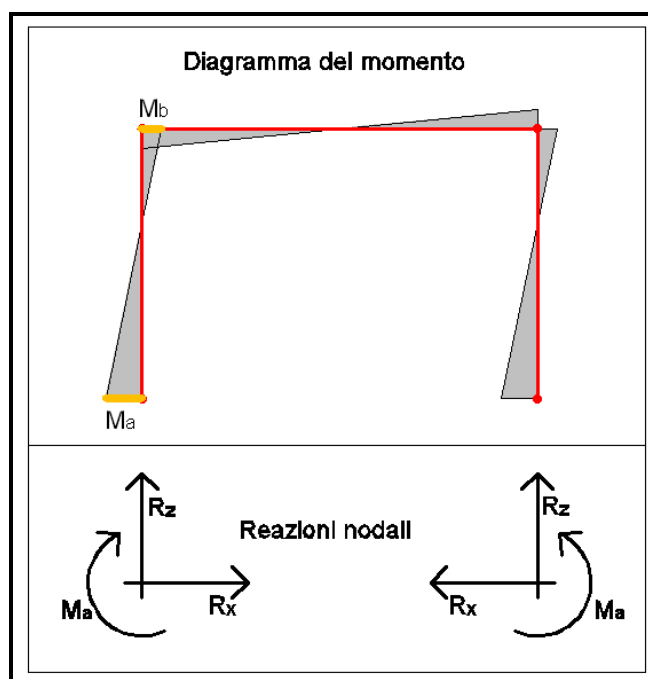


### Modello di riferimento per il calcolo

|                    |          |
|--------------------|----------|
| Luce pilastro (h): | 300 cm   |
| Luce trave (l):    | 500 cm   |
| Vincolo piede:     | incastro |



Soluzione dello schema strutturale



$$M_a = \frac{F_h \cdot H}{2} \cdot \frac{3 \cdot k + 1}{6 \cdot k + 1}$$

$$M_b = \frac{F_h \cdot H}{2} \cdot \frac{3 \cdot k}{6 \cdot k + 1}$$

$$R_x = \frac{F_h}{2}$$

$$R_z = \frac{F_h \cdot H}{L} \cdot \frac{3 \cdot k}{6 \cdot k + 1}$$

$$k = \frac{I_T \cdot H}{I_p \cdot L}$$



Dove IT e IP sono rispettivamente il momento di inerzia della trave e del pilastro attorno all'asse uscente al piano del telaio e riferiti al baricentro della sezione e valgono rispettivamente :

$$IT = 1033.26 \text{ cm}^4$$

$$IP = 1509.36 \text{ cm}^4$$

Il valore di K sarà

$$k = \frac{I_T \cdot H}{I_P \cdot L} = \frac{1033.26 \text{ cm}^4 \cdot 300 \text{ cm}}{1509.36 \text{ cm}^4 \cdot 500 \text{ cm}} = 0.411$$

Conseguentemente si otterrà

$$M_a = \frac{F_h \cdot H}{2} \cdot \frac{3 \cdot k + 1}{6 \cdot k + 1} = \frac{5000 \text{ daN} \cdot 3 \text{ m}}{2} \cdot \frac{3 \cdot 0.411 + 1}{6 \cdot 0.411 + 1} = 4832.42 \text{ daN m}$$

$$M_b = \frac{F_h \cdot H}{2} \cdot \frac{3 \cdot k}{6 \cdot k + 1} = \frac{5000 \text{ daN} \cdot 3 \text{ m}}{2} \cdot \frac{3 \cdot 0.411}{6 \cdot 0.411 + 1} = 2667.58 \text{ daN m}$$

$$R_x = \frac{F_h}{2} = \frac{5000 \text{ daN}}{2} = 2500 \text{ daN}$$

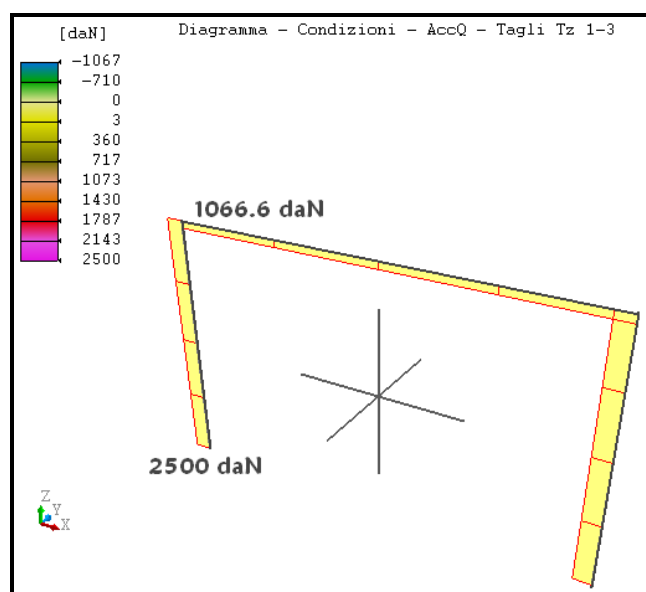
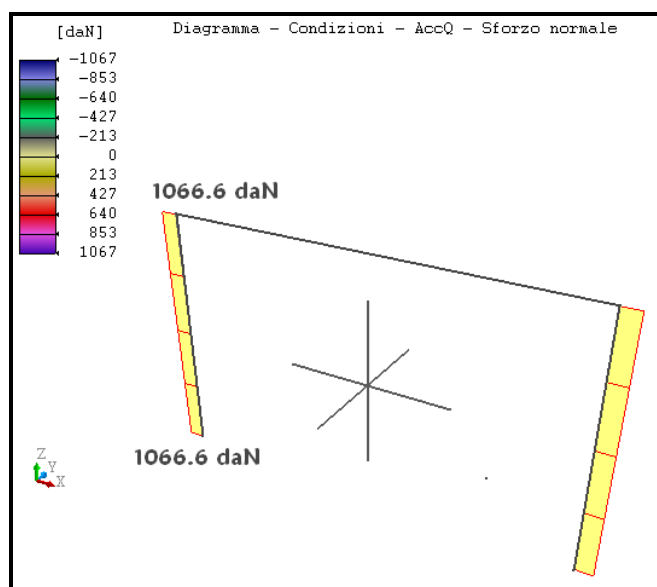
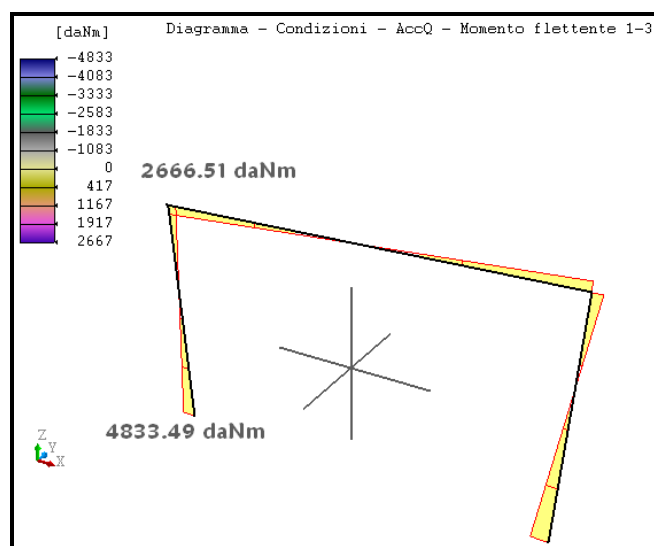
$$R_z = \frac{F_h \cdot H}{L} \cdot \frac{3k}{6 \cdot k + 1} = \frac{5000 \text{ daN} \cdot 3 \text{ m}}{5 \text{ m}} \cdot \frac{3 \cdot 0.411}{6 \cdot 0.411 + 1} = 1067 \text{ daN}$$

### **Confronto risultati numerici**

Dal confronto, riportato nella tabella sottostante, risulta la correttezza delle sollecitazioni calcolate con TraRet Plus:

|           | <b>Valore teorico calcolato</b> | <b>Risultato TraRet Plus</b> | <b>Discordanza</b> |
|-----------|---------------------------------|------------------------------|--------------------|
| <b>Rz</b> | 1067 daN                        | 1067 daN                     | 0.02 %             |
| <b>Rx</b> | 2500 daN                        | 2500 daN                     | 0%                 |
| <b>Ma</b> | 4832.42 daNm                    | 4833.49 daNm                 | 0.02%              |
| <b>Mb</b> | 2667.58 daNm                    | 2666.51 daNm                 | 0.04%              |

E' importante sottolineare che le ipotesi semplificative adottate per la risoluzione tradizionale teorica del telaio trascurano la presenza delle deformabilità tangenziale, torsionale e assiale delle aste e che nel modello adottato in TraRet Plus i contributi precedentemente menzionati sono considerati a meno della deformabilità assiale della trave, in quanto l'elaborazione è stata effettuata in presenza dell'ipotesi di impalcato rigido.

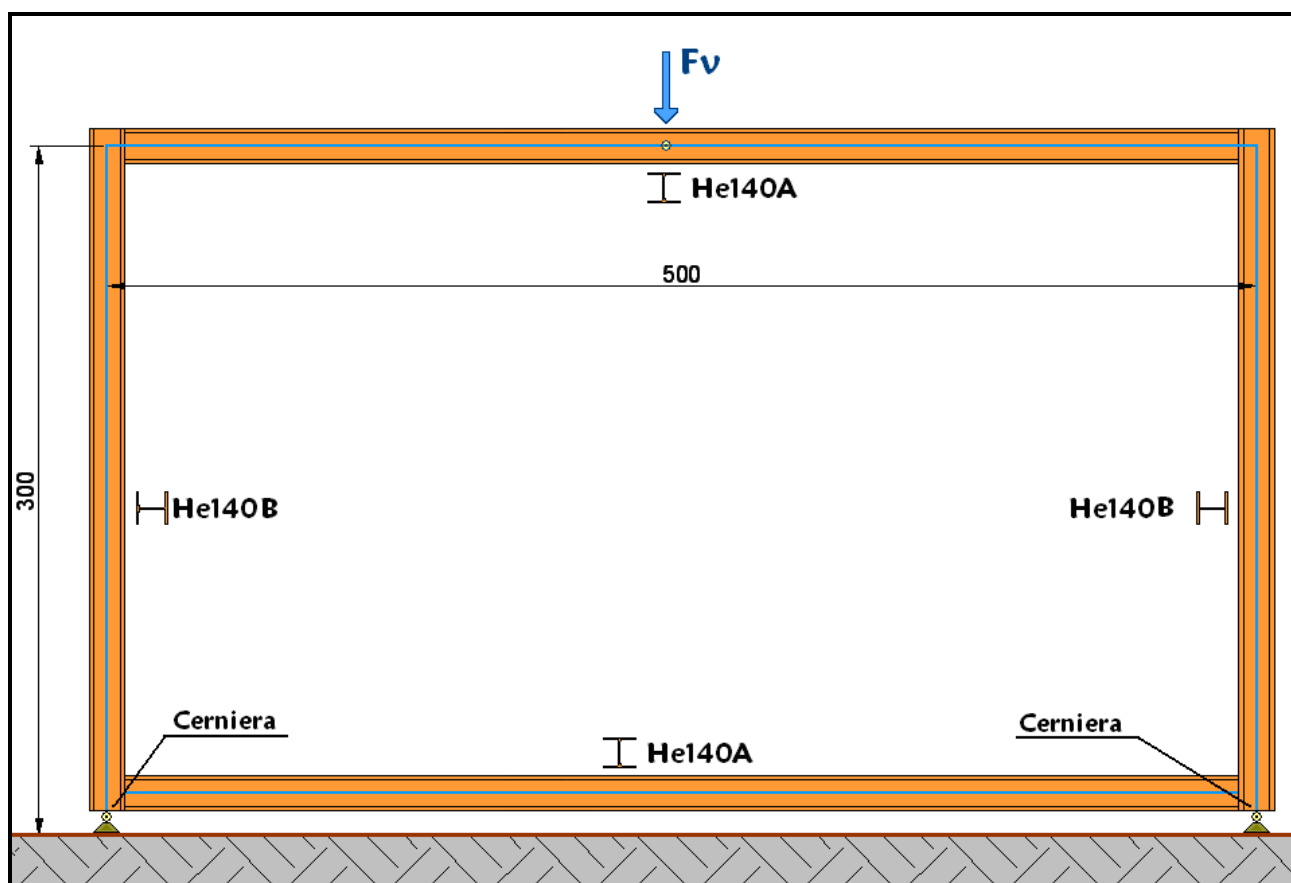


### Test 03

|      |   |
|------|---|
| File | <b>' Test03.swf '</b>   |
| Tipo | <i>Telaio rettangolare chiuso<br/>(con carico concentrato in mezzzeria del traverso sup.)</i> |

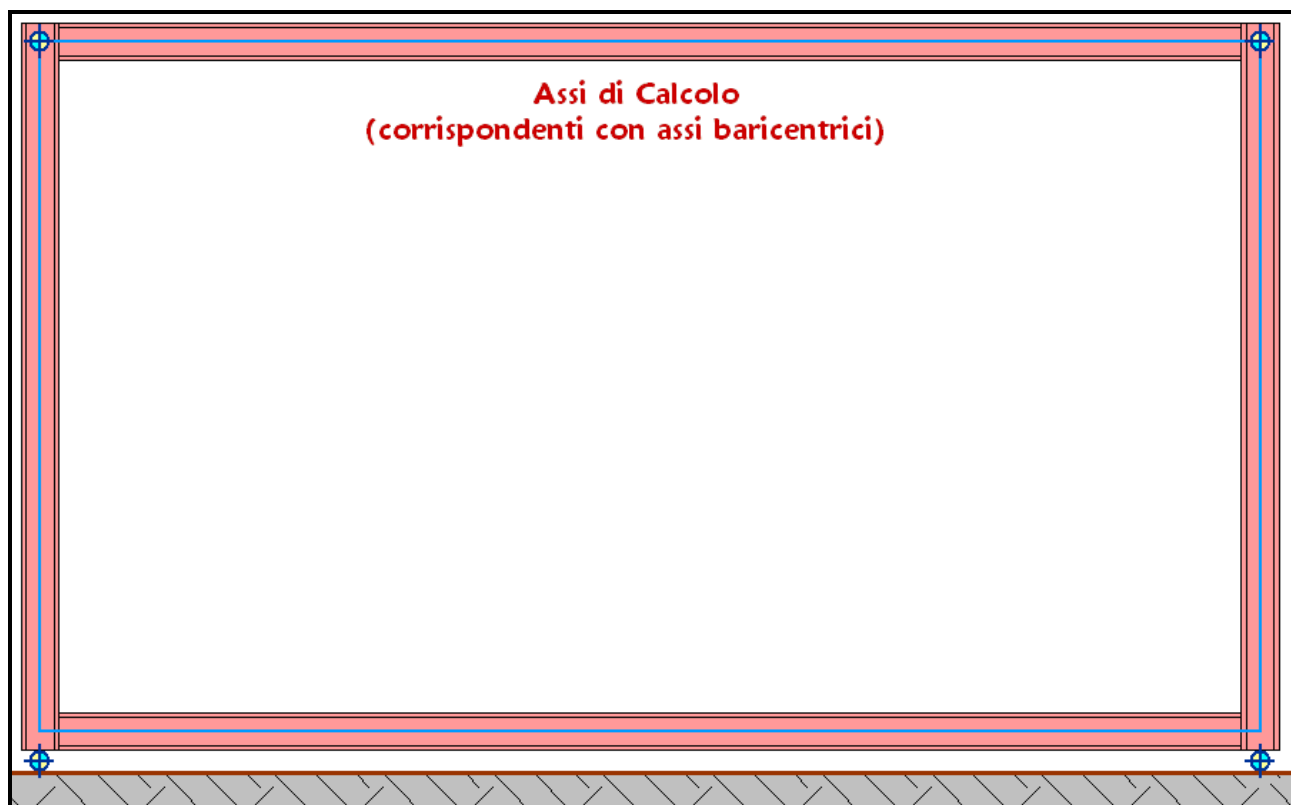
#### Dati del confronto

|                           |                 |
|---------------------------|-----------------|
| Altezza del portale:      | 300 cm          |
| Dimensione longitudinale: | 500 cm          |
| Materiale pilastri:       | Acciaio         |
| Materiale Trave:          | Acciaio         |
| Sezione pilastri:         | He140B          |
| Sezione trave:            | He140A          |
| Peso proprio Travi:       | Non considerato |
| Peso proprio pilastri:    | Non considerato |
| Carico Concentrato Fv:    | 5000 daN        |

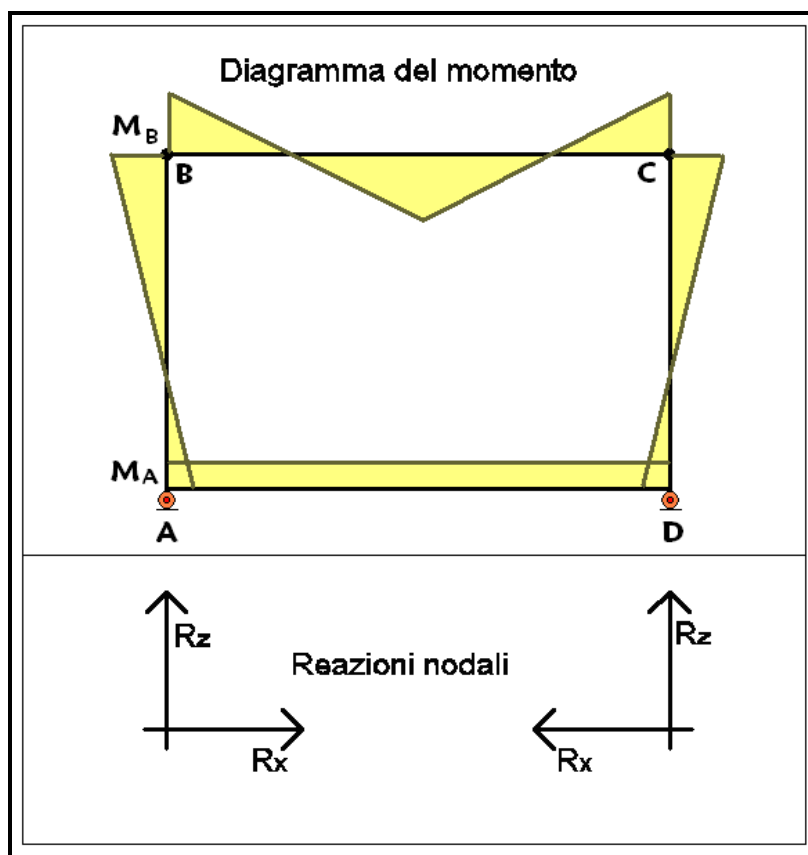


#### Modello di riferimento per il calcolo

|                    |          |
|--------------------|----------|
| Luce pilastro (h): | 300 cm   |
| Luce trave (l):    | 440 cm   |
| Vincolo piede:     | cerniera |



## Soluzione dello schema strutturale



$$F_1 = (2 \cdot k + 3)^2 - k^2$$

$$F_2 = 2 + 6 \cdot k$$

$$M_A = \frac{3}{8} \cdot F_v \cdot L \cdot \frac{k}{F_1}$$

$$M_B = -\frac{3}{8} \cdot F_v \cdot L \cdot \frac{2 \cdot k + 3}{F_1}$$

$$R_z = \frac{F_v}{2}$$

$$k = \frac{I_T \cdot H}{I_p \cdot L}$$

Dove  $I_T$  e  $I_p$  sono rispettivamente il momento di inerzia della trave e del pilastro attorno all'asse uscente al piano del telaio e riferiti al baricentro della sezione e valgono rispettivamente :

$$I_T = 1033.26 \text{ cm}^4$$

$$I_p = 1509.36 \text{ cm}^4$$

Il valore di  $K$  sarà

|   |
|---|
| $k = \frac{I_T \cdot H}{I_p \cdot L} = \frac{1033.26 \text{ cm}^4 \cdot 300 \text{ cm}}{1509.36 \text{ cm}^4 \cdot 500 \text{ cm}} = 0.411$ |
|---|

Conseguentemente si otterrà

$$F_1 = (2 \cdot k + 3)^2 - k^2 = 14.435$$

$$F_2 = 2 + 6 \cdot k = 4.464$$

$$M_A = \frac{3}{8} \cdot F_v \cdot L \cdot \frac{k}{F_1} = \frac{3}{8} \cdot 5000 \text{ daN} \cdot 5 \text{ m} \cdot \frac{0.411}{14.435} = 266.76 \text{ daNm}$$

$$M_B = -\frac{3}{8} \cdot F_v \cdot L \cdot \frac{2 \cdot k + 3}{F_1} = -\frac{3}{8} \cdot 5000 \text{ daN} \cdot 5 \text{ m} \cdot \frac{2 \cdot 0.411 + 3}{14.435} = -2481.91 \text{ daNm}$$

$$R_z = \frac{F_v}{2} = \frac{5000 \text{ daN}}{2} = 2500 \text{ daN}$$

### **Confronto risultati numerici**

Dal confronto, riportato nella tabella sottostante, risulta la correttezza delle sollecitazioni calcolate con TraRet Plus:

|                      | Valore teorico calcolato | Risultato TraRet Plus | Discordanza |
|----------------------|--------------------------|-----------------------|-------------|
| <b>R<sub>z</sub></b> | 2500 daN                 | 2500 daN              | 0 %         |
| <b>M<sub>A</sub></b> | 266.76 daNm              | 266.76 daNm           | 0 %         |
| <b>M<sub>B</sub></b> | -2481.91 daNm            | -2481.91 daNm         | 0 %         |

E' importante sottolineare che le ipotesi semplificative adottate per la risoluzione tradizionale teorica del telaio trascurano la presenza delle deformabilità tangenziale, torsionale e assiale delle aste e che nel modello adottato in TraRet Plus i contributi precedentemente menzionati sono considerati a meno della deformabilità assiale della trave, in quanto l'elaborazione è stata effettuata in presenza dell'ipotesi di impalcato rigido.

