Versione di
Febbraio 2012

Programma

RFEM 5

Strutture spaziali calcolate secondo il metodo agli elementi finiti

Esempio introduttivo

Tutti i diritti, compresi quelli per le traduzioni, sono riservati.

Nessuna parte di questo libro può essere riprodotta - meccanicamente, elettronicamente o in altro senso, inclusa la fotocopiatura - senza autorizzazione scritta della ING.-SOFTWARE DLUBAL.

© Ing.-Software Dlubal
Am Zellweg 2 D-93464 Tiefenbach

Tel.: +49 (0) 9673 9203-0
Fax: +49 (0) 9673 9203-51
E-mail: info@dlubal.com
Web: www.dlubal.com

Contenuti

	Contenuti	Pagina
1.	**Introduzione**	**4**
2.	**Sistema e carichi**	**5**
2.1	**Bozza del sistema**	**5**
2.2	**Materiali, spessori e sezioni trasversali**	**5**
2.3	**Carico**	**5**
3.	**Creazione del modello**	**7**
3.1	**Avvio di RFEM**	**7**
3.2	**Creare il modello**	**7**
4.	**Dati strutturali**	**8**
4.1	**Modifica della finestra di lavoro e della griglia**	**8**
4.2	**Creazione di superfici**	**9**
4.2.1	Prima superficie rettangolare	10
4.2.2	Seconda superficie rettangolare	11
4.2.3	Linee di collegamento	12
4.3	**Creazione aste**	**13**
4.3.1	Travi emergenti con la sporgenza verso il basso	13
4.3.1.1	Traverse di acciaio	13
4.3.1.2	Travi a T	16
4.3.2	Pilastri	19
4.4	**Disposizione dei vincoli (esterni)**	**23**
4.5	**Collegamento di aste con vincoli interni e eccentricità**	**24**
4.5.1	Vincolo interno	24
4.5.2	Eccentricità dell'asta	26
4.6	**Controllo degli input**	**27**
5.	**Carichi**	**28**
5.1	**Caso di carico 1: Pesi propri e finiture**	**28**
5.1.1	Peso proprio	29
5.1.2	Struttura dell'impalcato	29
5.2	**Caso di carico 2: Carico variabile , campo 1**	**30**
5.3	**Caso di carico 3: Carico variabile , campo 2**	**31**
5.3.1	Carico della superficie	32
5.3.2	Carico lineare	32
5.4	**Caso di carico 4: Imperfezioni**	**33**
5.5	**Controllo dei casi di carico**	**36**
6.	**Combinazione di casi di carico**	**37**
6.1	**Creazione di Combinazioni di carico**	**37**
6.2	**Creazione di combinazioni di risultati**	**40**
7.	**Calcolo**	**42**
7.1	**Controllo dei dati di ingresso**	**42**
7.2	**Generare la mesh agli EF**	**43**
7.3	**Calcolo della struttura**	**43**
8.	**Risultati**	**44**
8.1	**Risultati grafici**	**44**
8.2	**Tabelle di risultati**	**46**
8.3	**Filtrazione dei risultati**	**47**
8.3.1	Visibilità	47
8.3.2	Risultati sugli oggetti	49
8.4	**Visualizzazione dei diagrammi di risultati**	**51**
9.	**Documentazione**	**52**
9.1	**Creazione della relazione di calcolo**	**52**
9.2	**Modificando la relazione di calcolo**	**53**
9.3	**Inserimento di grafiche nella relazione di calcolo**	**54**
10.	**Outlook**	**58**

1. Introduzione

Questo esempio introduttivo ha lo scopo di presentare le funzioni più importanti di RFEM. Molto spesso vi sono molte opzioni per raggiungere gli obiettivi prefissati. Dipendendo dalla situazione e dalle vostre preferenze si possono attivare diverse opzioni nel software per imparare le diverse funzionalità del programma. Questo esempio semplice vuole incoraggiare la ricerca di funzioni molto utili in RFEM.

Si creerà il modello di un impalcato vincolato su pilastri con due travi emergenti aventi la sporgenza verso il basso. Quindi, si progetterà la struttura secondo la statica lineare e l'analisi del secondo ordine considerando i seguenti casi di carico: peso proprio con finiture, carichi variabili ed imperfezioni.

Si può inserire, calcolare e valutare l'esempio introduttivo anche nelle restrizioni demo - con un massimo di due superfici e 12 aste. Perciò, è chiaro che il modello va incontro ai requisiti di una vera costruzione solo fino a certi limiti. Si vuole mostrare qui, con la introduzione di nuove funzioni, come definire oggetti strutturali e carichi in modi diversi.

Si noti cortesemente che non è possibile salvare il modello nella versione demo. Per cui, vi raccomandiamo di riservarVi per l'esecuzione dell'esempio (approssimativamente, un' ora), in modo da provare le funzioni senza essere stressati . Comunque,è possibile interrompere il lavoro sul modello nella versione demo fino a quando non si chiuderà RFEM. Se volete realizzare una pausa, non spegnete il vostro computer ma impostate la modalità standby.

Sarà più facile inserire i dati utilizzando due schermi, oppure si possono stampare le descrizioni per non dovere alternare le schermate di file PDF e degli input in RFEM.

Il testo del manuale mostra la descrizione dei **pulsanti** all'interno di parentesi quadre, per esempio [Applica]. Allo stesso tempo, sono raffigurati sulla sinistra. In più, le **espressioni** utilizzate nelle finestre di dialogo, tabelle e dei menù sono impostate in *corsivo* per chiarire le spiegazioni. Se è richiesto un input, allora questo sarà in **grassetto**.

Si può cercare la descrizione delle funzioni nel manuale di RFEM, che si può scaricare dal sito WEB della Dlubal, facendo clic sul link www.dlubal.com/Downloading-Manuals.aspx.

Il file **RFEM-Example-06.rf5** contente i dati del modello dell'esempio che segue, si trova tra i progetti *Esempi*, che sono stati creati automaticamente durante l'installazione. Comunque, per i primi passi in RFEM si raccomanda di inserire il modello manualmente. Se non vi fosse tempo disponibile per questa attività, si possono anche consultare i video sul nostro sito web al link www.dlubal.com/Videos-from-category-Videos-for-RFEM.aspx.

Esempio introduttivo di RFEM © 2012 Dlubal Engineering Software

2. Sistema e carichi

2.1 Bozza del sistema

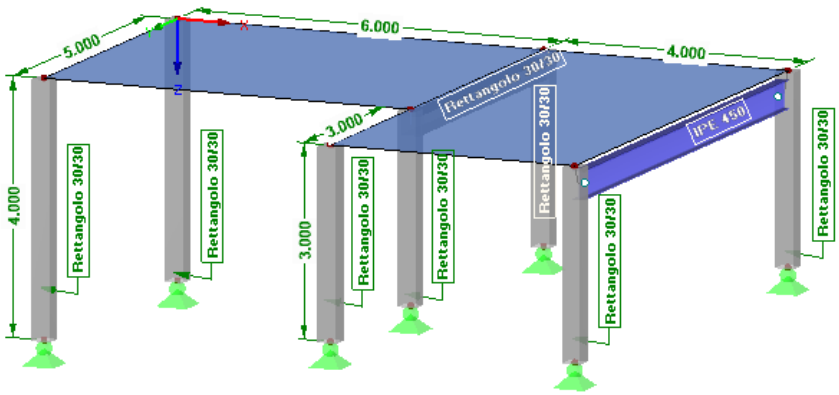


Figura 2.1: Sistema strutturale

L´impalcato di calcestruzzo armato si compone di due lastre continue nell'impalcato con una trave emergente con la sporgenza verso il basso in calcestruzzo armato e l'altra in acciaio. La struttura è vincolata da pilastri che sono flesso resistenti ed integrati nella piastra (di fondazione).

Come descritto sopra, il modello rappresenta una struttura "astratta" che può essere progettata anche nella versione demo le cui funzionalità sono ristrette ad un massimo di due superfici e dodici aste.

2.2 Materiali, spessori e sezioni trasversali

Come materiale è stato selezionato il calcestruzzo C30/37 e l'acciaio S 235.

Lo spessore dell'impalcato è di 20 cm. I pilastri di calcestruzzo e la trave emergente con la sporgenza verso il basso hanno una sezione trasversale quadrata con lunghezza laterale di 30 cm. L'acciaio delle travi ha una sezione IPE 450.

2.3 Carico

Caso di carico 1: peso proprio e finiture (carico permanente)

Il primo carico è il peso proprio della struttura, inclusa la struttura dell'impalcato che è applicata con una compressione di 0.75 kN/m^2. Non è necessario calcolare il peso proprio manualmente. RFEM calcolerà il peso automaticamente utilizzando i materiali definiti, gli spessori delle superfici e delle sezioni trasversali.

Caso di carico 2: carico variabile, campo 1

La superficie dell'impalcato rappresenta una area domestica appartenente alla categoria A2, con un carico variabile di 1.5 kN/m^2. Il carico è applicato a due casi di carico differenti per determinare gli effetti di continuità.

Caso di carico 3: carico variabile, campo 2

Il carico variabile di 1,5kN/m^2 è applicato anche al secondo campo. In più, verrà considerato un carico verticale lineare di 5,0 kN/m al bordo dell'impalcato, rappresentante un carico dovuto alla costruzione del balcone.

Caso di carico 4: imperfezioni

Si devono considerare parecchie imperfezioni, considerando, per esempio, l'Eurocodice 2. Le aste inclinate e le controfrecce sono gestite in un caso di carico a parte. Così è possibile assegnare coefficienti di sicurezza parziale specifici quando si esegue una combinazione di carico con altre sollecitazioni.

L' inclinazione è semplificata per tutti i pilastri assumendo φ_0 = 1/200 nella direzione Y. Non si devono considerare le controfrecce secondo l'Eurocodice 2.

Esempio introduttivo di RFEM © 2012 Dlubal Engineering Software

3. Creazione del modello

3.1 Avvio di RFEM

Per avviare RFEM nella barra delle applicazioni, si

faccia clicsu**START**, indicare **Tutti i programmi**, e **Dlubal**, e dopo selezionare **Dlubal RFEM 5.xx**

o si faccia un doppio clic sulla icona **Dlubal RFEM 5.xx** sul desktop del computer.

3.2 Creare il modello

Si aprirà la finestra di lavoro con la finestra di dialogo sotto. Si richiede l'inserimento dei dati di base per il nuovo modello.

Se RFEM già visualizza un modello, sarà necessario chiuderlo facendo clic su **Chiudi** sul menù **File**. Dopo, si aprirà la finestra di dialogo *Dati di base* facendo clic su **Nuovo** nel menù **File**.

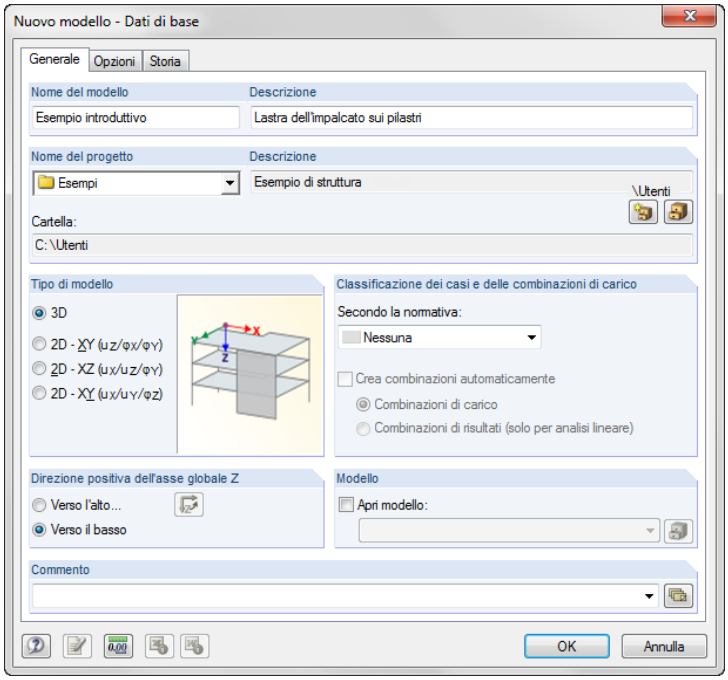


Figura 3.1: Finestra di dialogo *Nuovo modello - Dati di base*

Lì, si scriverà **Esempio introduttivo** nel campo di input *Nome del modello*. A destra, si inserisca **Lastra dell'impalcato sui pilastri** nel campo di input *Descrizione*. Si deve sempre definire un *Nome del modello* perché questo determina il nome del file di RFEM. Il campo *Descrizione* non si deve necessariamente compilare.

Nel campo di input *Nome del progetto*, si selezionerà la voce **Esempi** dall'elenco, se questo non è già predisposto. La *Descrizione* del progetto e la *Cartella* corrispondente sarà visualizzata automaticamente.

Nella sezione del dialogo *Tipo di modello*, l'opzione **3D** è già impostata. L'impostazione abilita la creazione di un modello spaziale. Si mantenga anche l'impostazione predefinita **Verso basso** per la *Orientazione positiva dell'asse globale Z*.

Adesso, i dati di base del modello sono definiti. Si chiuda la finestra di dialogo facendo clic sul pulsante [OK].

4. Dati strutturali

4.1 Modifica della finestra di lavoro e della griglia

Si visualizzerà la finestra di lavoro vuota di RFEM.

Vista

Subito, si faccia clic sul pulsante [Ingrandire] nella barra del titolo per aumentare la dimensione della finestra di lavoro. Saranno visibili gli assi delle coordinate con le direzioni X, Y e Z visibili nello spazio di lavoro.

Per cambiare la posizione degli assi di coordinate, si facci a clic sul pulsante [Sposta, Zoom, Ruota] nella barra degli strumenti sopra. Il puntatore adesso sarà visibile come una mano. Adesso, si può posizionare lo spazio di lavoro secondo le proprie preferenze, muovendo il puntatore e mantenendo pressato il pulsante sinistro del mouse.

Inoltre su può usare la mano per zommare o ruotare la vista.

- Zoom: Si muova il puntatore e si tenga pressato il tasto [Maiusc].
- Rotazione: Si muova il puntatore e si tenga pressato il tasto [Maiusc].

Vi sono diversi modi per inibire questa funzione:

- Si faccia clic con il pulsante ancora una volta.
- Si prema il tasto [Esc] sulla tastiera.
- Si prema il tasto destro del mouse nello spazio di lavoro.

Funzioni del mouse

Le funzioni del mouse sono quelle standard per le applicazioni in Windows. Per selezionare un oggetto che si vuole modificare, si faccia clic una volta su di esso con il pulsante **sinistro** del mouse. Si faccia un doppio clic sull'oggetto, quando si vorrà aprire la sua finestra di dialogo per delle modifiche.

Quando si fa clic su un oggetto con il pulsante **destro** del mouse, apparirà il suo menù di scelta rapido mostrando i comandi relativi per l'oggetto e le funzioni.

Per cambiare la dimensione del modello visualizzato, si può utilizzare il **pulsante a rotella** del mouse. Tenendo pressato il pulsante a rotella si può far scorrere il modello direttamente. Quando si pressa anche il tasto [Ctrl], si può far rotare la struttura. Si può ruotare la struttura utilizzando anche il pulsante a rotella e pressando il pulsante destro del mouse contemporaneamente. I simboli del puntatore visibili sulla sinistra, mostrano la funzione selezionata.

Griglia

La griglia forma lo sfondo dello spazio di lavoro. Nella finestra di dialogo *Piano di lavoro e Griglia/Snap*, si può modificare la distanza dei punti della griglia. Per aprire la finestra di dialogo, si utilizzerà il pulsante [Impostazioni del piano di lavoro].

Esempio introduttivo di RFEM © 2012 Dlubal Engineering Software

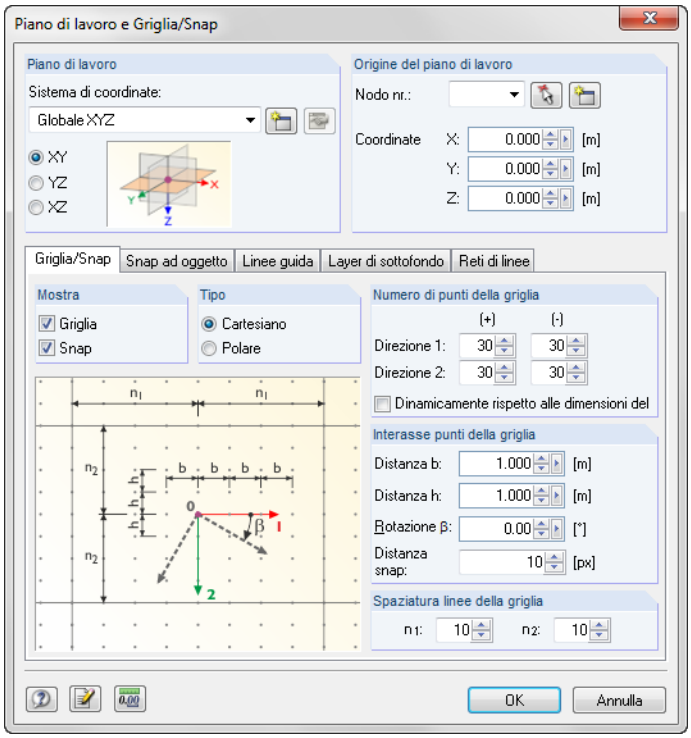


Figura 4.1: Finestra di dialogo *Piano di lavoro e Griglia/Snap*

Successivamente, per l'inserimento di dati nei punti della griglia, è importante che i campi di controllo *SNAP* e *GRIGLIA* nella barra di stato siano impostati in "attivo". In questo modo la griglia diventa visibile ed i punti si allineeranno alla griglia quando si farà clic su di essi.

Piano di lavoro

Il piano XY è impostato come piano di lavoro predisposto . Con questa impostazione, tutti gli oggetti inseriti graficamente saranno generati nel piano orizzontale. Il piano non ha importanza per l'inserimento dei dati nelle finestre di dialogo o tabelle.

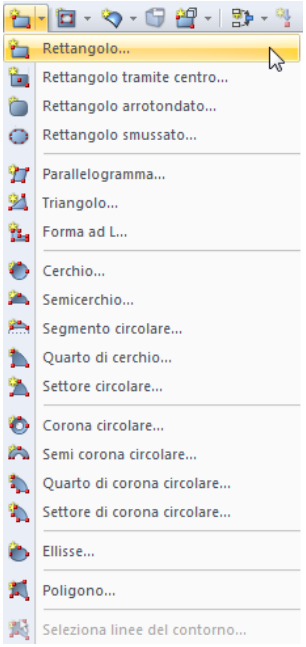
Le impostazioni predisposte sono adatte per il nostro esempio. Si chiuderà la finestra di dialogo con il pulsante [OK] e si potrà iniziare con l'inserimento del modello.

4.2 Creazione di superfici

All'inizio sarebbe possibile definire dei nodi agli angoli per connetterli con le linee che si possono utilizzare per creare la superficie dell'impalcato. Ma in questo esempio si eseguirà un input diretto grafico di linee e superfici.

Si può definire il soffitto come una superficie continua di linee esterne. Ma si può anche rappresentare l'impalcato con due superfici rettangolari che sono collegate rigidamente da una linea comune. Il secondo modo rende più facile l'applicazione di carichi ai due campi del modello.

4.2.1 Prima superficie rettangolare



si sfogli l'elenco di superfici piane

Per creare piastre rettangolari velocemente,

si faccia clic su **Dati strutturali** nel menù **Inserisci**, dopo si indichino le **Superfici** , **Piano** e si selezioni **Graficamente** il **Rettangolo**,

Oppure si utilizzi il pulsante per l'elenco corrispondente per la selezione di superfici piane. Si faccia clic su pulsante della freccia [▼] per aprire il menù a scomparsa che offre un ampio riepilogo di geometrie di superfici.

Tramite la voce del menù [Rettangolare] si può direttamente definire la piastra. I nodi e le linee pertinenti si creeranno automaticamente.

Dopo aver selezionato questa funzione, si aprirà la finestra di dialogo *Nuova superfice rettangolare*.

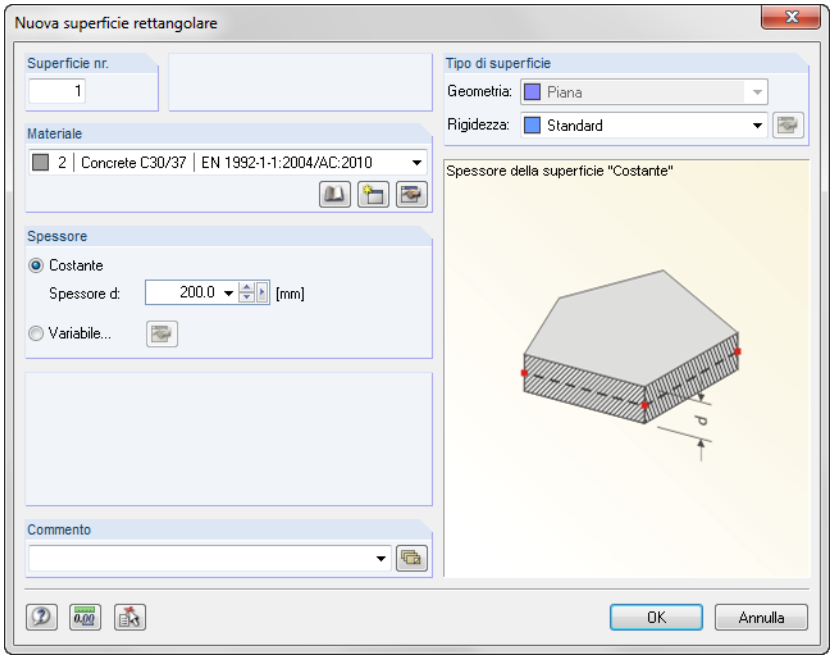


Figura 4.2: Finestra di dialogo *Nuova superfice rettangolare*

La *Superficie nr.* della nuova piastra rettangolare è specificata con *1*. Non è necessario cambiare questo numero.

Il *Materiale* predisposto è il *Calcestruzzo C30/37* secondo la EN 1992-1-1. Quando si desidera utilizzare un materiale diverso, se ne può selezionare un altro utilizzando il pulsante [Libreria di materiali].

Lo *Spessore* della superficie è *Costante*. Si aumenti il valore di *d* a **200** mm, usando la casella di selezione o con un input diretto.

Nella sezione del dialogo *Tipo di superfice* la *Rigidezza* è impostata esattamente a *Standard*.

Si chiuderà la finestra di dialogo con il pulsante [OK] e si potrà iniziare l'inserimento grafico della lastra.

Si può definire la superficie in modo più semplice, impostando la vista nella direzione Z (vista dall'alto) utilizzando il pulsante mostrato sulla sinistra. La modalità di input non sarà influenzata.

Per definire il primo angolo, si faccia clic con il pulsante sinistro del mouse nella **origine delle coordinate** (coordinate X/Y/Z **0.000/0.000/0.000**). Le coordinate attuali del puntatore si visualizzeranno vicino al reticolo.

Esempio introduttivo di RFEM © 2012 Dlubal Engineering Software

Dopo, si definirà l'angolo opposto della soletta facendo clic sul punto della griglia di coordinate X/Y/Z **6.000/5.000/0.000**.

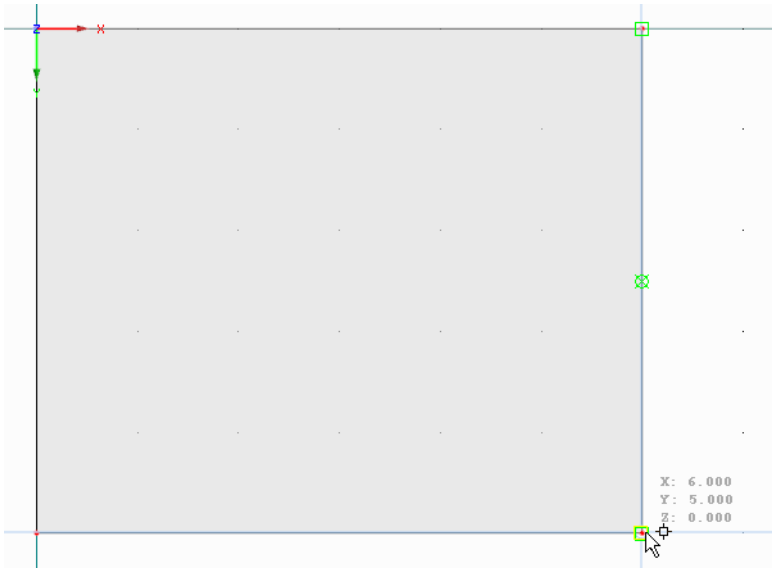


Figura 4.3: Superficie rettangolare 1

RFEM creerà quattro nodi, quattro linee ed una superficie.

4.2.2 Seconda superficie rettangolare

Poiché la funzione è ancora attiva, si potrà definire la successiva superficie immediatamente.

Si faccia clic sul nodo **4** di coordinate **6.000/0.000/0.000**, e dopo si selezioni il punto della griglia di coordinate **10.000/8.000/0.000**.

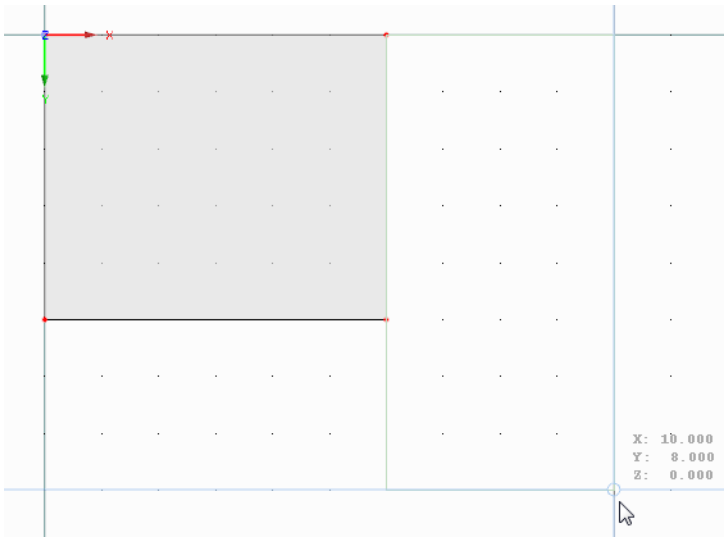


Figura 4.4: Superficie rettangolare 2

Visto che non è necessario creare altre piastre, si potrà chiudere la modalità input premendo il tasto [Esc]. Si può utilizzare anche il pulsante destro del mouse per fare clic in una area vuota della finestra di lavoro.

Mostra la numerazione

Se si vuole visualizzare la numerazione dei nodi, delle linee e delle superfici, si faccia clic con il pulsante destro del mouse in una parte vuota della finestra di lavoro. Apparirà il menu di scelta rapida con delle funzioni molto utili. Si attivi la *Numerazione*.

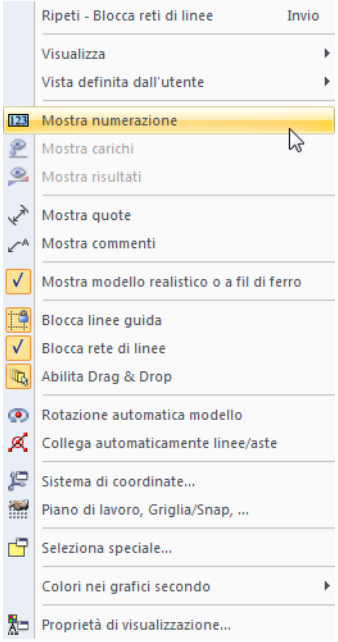


Figura 4.5: Visualizza la numerazione nel men ù di scelta rapida

Si potrà utilizzare la scheda del Navigatore *Visualizza* per controllare la numerazione degli oggetti in dettaglio.

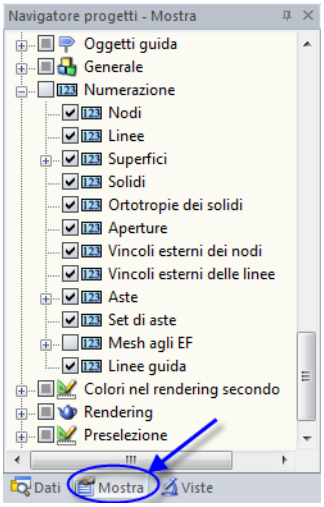


Figura 4.6: *Visualizza* il navigatore per la numerazione

4.2.3 Linee di collegamento

Quando si sarà definita la seconda superfice, la linea al contorno della nuova superfice giacerà sulla linea dell'altra superfice già prima esistente. Questa è la cosiddetta "linea di cucitura" poiché è la linea dove sono collegate entrambe le superfici. Per correggere ciò velocemente,

si selezioni **Collegare le Linee/Aste** nel menù degli **Strumenti**_

o si utilizzi il pulsante della barra degli strumenti mostrato sulla sinistra.

Esempio introduttivo di RFEM © 2012 Dlubal Engineering Software

Dopo l'attivazione della funzione di collegamento, si disegni una finestra con il puntatore per l'intera struttura. Le linee si aggiusteranno automaticamente.

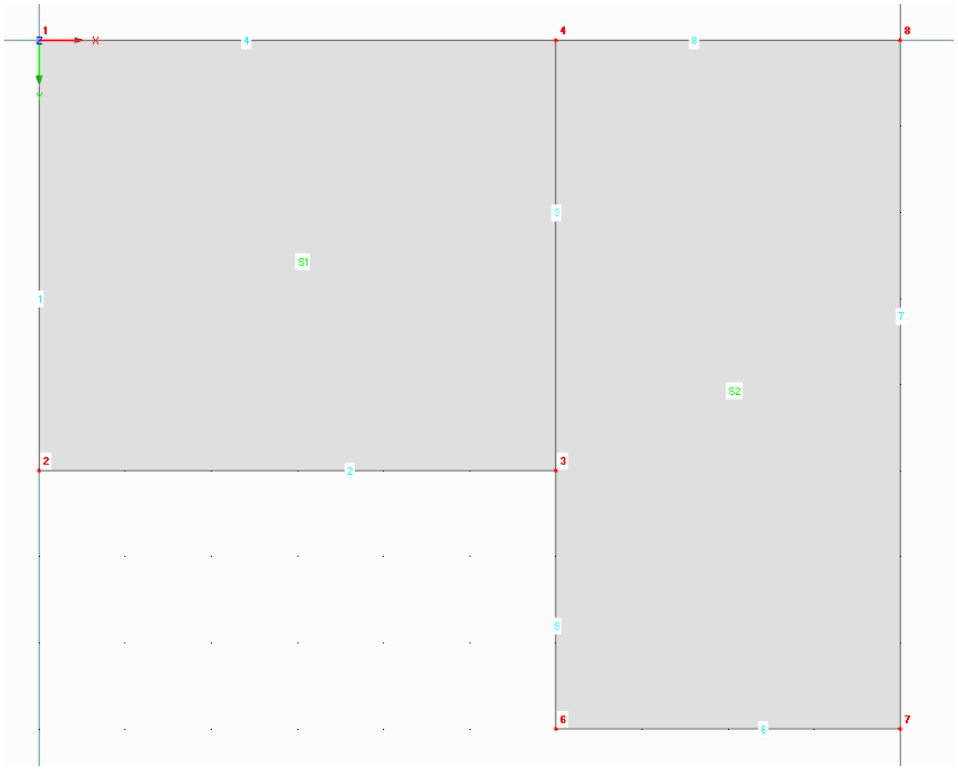


Figura 4.7: Risultato con le linee modificate

Adesso si chiuda la modalità di input con il pulsante [Esc] o si faccia clic con il pulsante destro del mouse nello spazio di lavoro vuoto.

4.3 Creazione aste

4.3.1 Travi emergenti con la sporgenza verso il basso

Si specificheranno le proprietà delle aste per le linee 3 e 7 per definire due travi emergenti con la sporgenza verso il basso.

4.3.1.1 Traverse di acciaio

Si apra la finestra di dialogo *Modifica linea* facendo un doppio clic sulla linea 7.

Si cambi la seconda scheda *Asta* dove si segnerà la casella di controllo per l'opzione *Disponibile* (vedere Figura 4.8). Apparirà la finestra di dialogo *Nuova asta*.

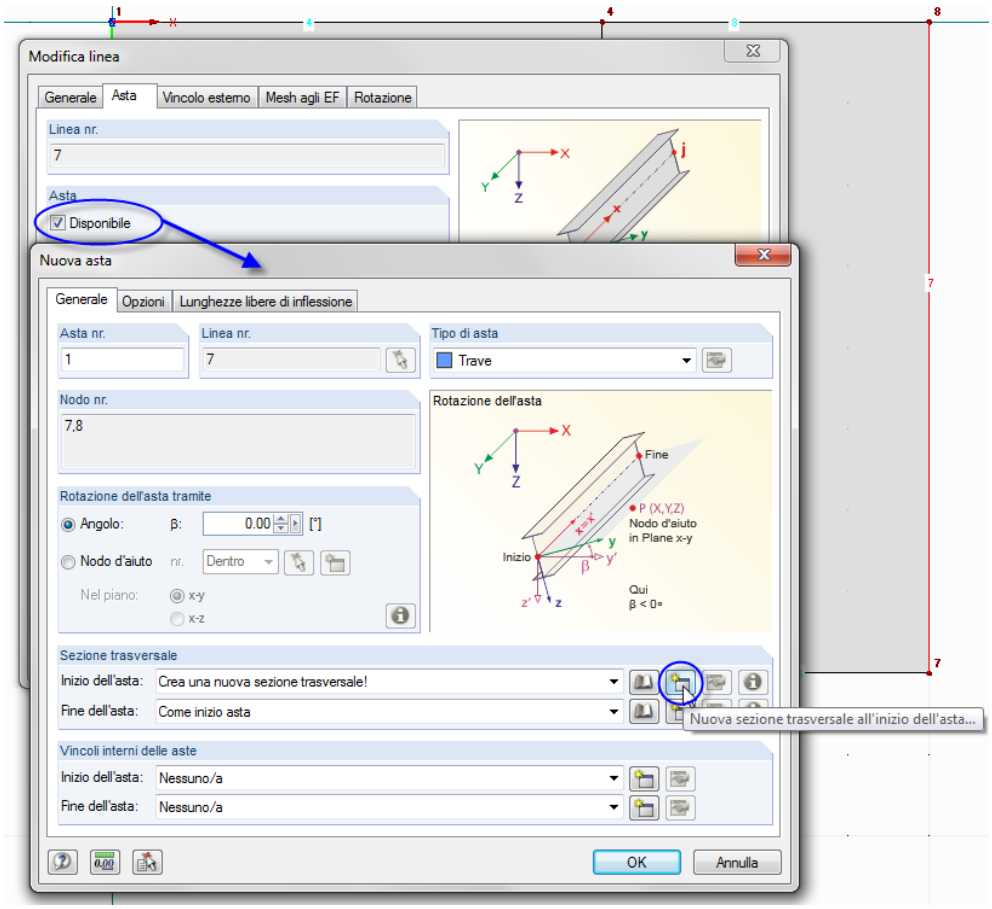


Figura 4.8: Finestra di dialogo *Nuova asta*

Non è necessario cambiare l'impostazione predefinita. Si deve solo creare una *Sezione trasversale*. Per definire la sezione trasversale all'*Inizio dell'asta*, si faccia clic sul pulsante [Nuova].

Apparirà la finestra di dialogo *Nuova Sezione trasversale*. Si faccia clic sul pulsante [IPE] nella parte superiore della finestra di dialogo. Si aprirà la finestra di dialogo *Sezioni trasversali laminate - Sezioni ad I* dove si può selezionare la sezione **IPE 450** dalla tabella IPE delle sezioni trasversali (vedere Figura 4.9).

Per sezioni trasversali laminate, RFEM predispone il numero *2 - Acciaio 235* come *Materiale*.

Esempio introduttivo di RFEM © 2012 Dlubal Engineering Software

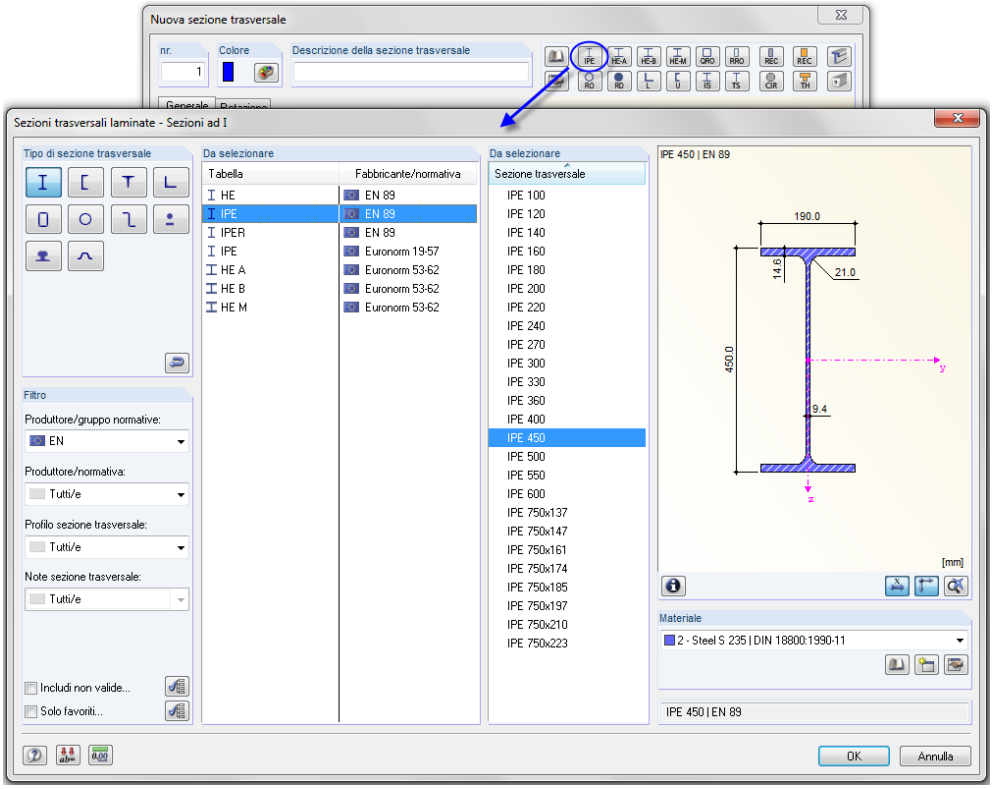


Figura 4.9: Selezionando la sezione trasversale IPE 450.

Si faccia clic su [OK] per importare i valori della sezione trasversale nella finestra di dialogo *Nuova sezione trasversale*.

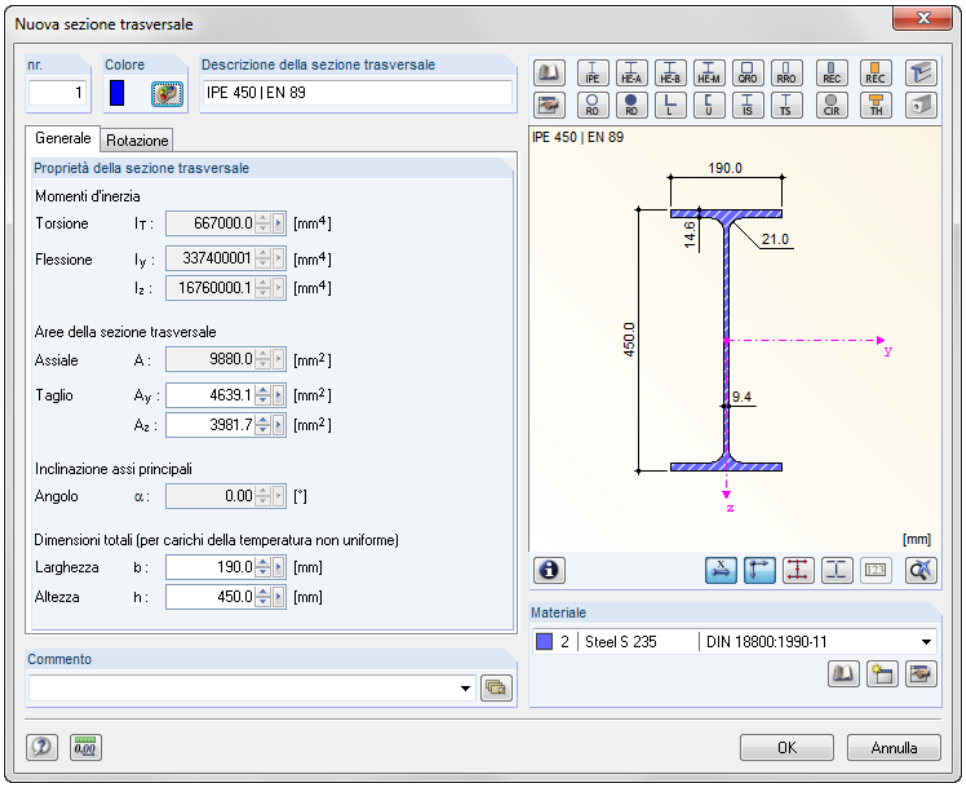


Figura 4.10: La finestra di dialogo *Nuova sezione trasversale* con le proprietà della sezione trasversale

Si faccia clic su [OK] e si ritornerà alla finestra di dialogo iniziale *Nuova asta*. Adesso il campo di input *Inizio asta* mostrerà la nuova sezione trasversale. Si chiuda la finestra di dialogo con il pulsante [OK]. Si chiuda anche la finestra di dialogo di *Modifica la linea* facendo clic sul pulsante [OK]. La traversa di acciaio adesso è visualizzata sul bordo dell'impalcato.

4.3.1.2 Travi a T

Si definiscono le travi emergenti con la sporgenza vero il basso sotto il soffitto allo stesso modo: Si faccia doppio clic su *3* per aprire la finestra di dialogo *Modifica linea*. Nella scheda dell'*Asta*, si selezionerà l'opzione *Disponibile* (vedere Figura 4.8).

Definizione della sezione trasversale

Apparirà la finestra di dialogo *Nuova asta*. Per definire la sezione trasversale all'*Inizio dell'asta*, si faccia ancora una volta clic sul pulsante [Nuova] (vedere Figura 4.8).

Nella parte superiore della finestra di dialogo *Nuova sezione trasversale*, si selezionerà la tabella *REC* con sezioni trasversali parametriche piene. Apparirà la finestra di dialogo *Sezioni trasversali piene - Rettangolo* dove si definirà la larghezza *b* e l'altezza *h* con **300** mm.

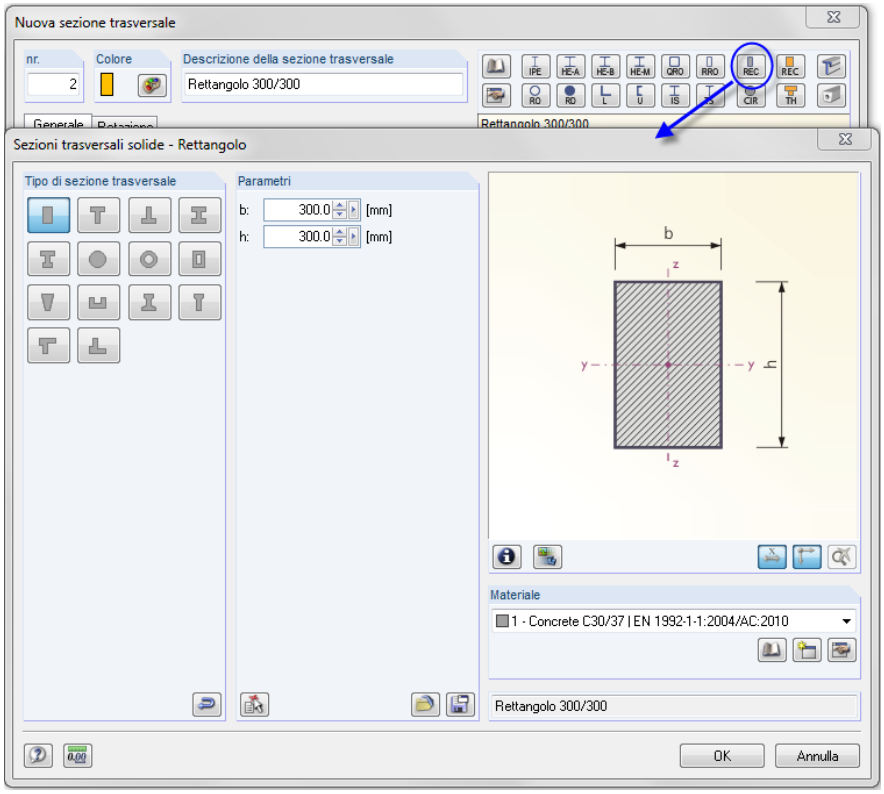


Figura 4.11: Finestra di dialogo *Sezioni trasversali solide parametriche - Rettangolari*

Si potrà utilizzare il pulsante [Informazioni] per controllare le proprietà della sezione trasversale.

Per sezioni trasversali laminate, RFEM predispone il numero *1 - Acciaio 37* come *Materiale*.

Si faccia clic su [OK] per importare i valori della sezione trasversale nella finestra di dialogo *Nuova sezione trasversale*.

Si faccia clic su [OK] e si ritornerà alla finestra di dialogo iniziale *Nuova asta*. Adesso il campo di input *Inizio asta* mostra la sezione trasversale rettangolare.

Esempio introduttivo di RFEM © 2012 Dlubal Engineering Software

Definizione della nervatura

In RFEM una trave emergente con la sporgenza verso il basso può essere modellata come un tipo di asta con *Rib*. È sufficiente cambiare il *Tipo di asta* nella finestra di dialogo *Nuova Asta*: Si selezioni l'ingresso *Nervatura* dall'elenco.

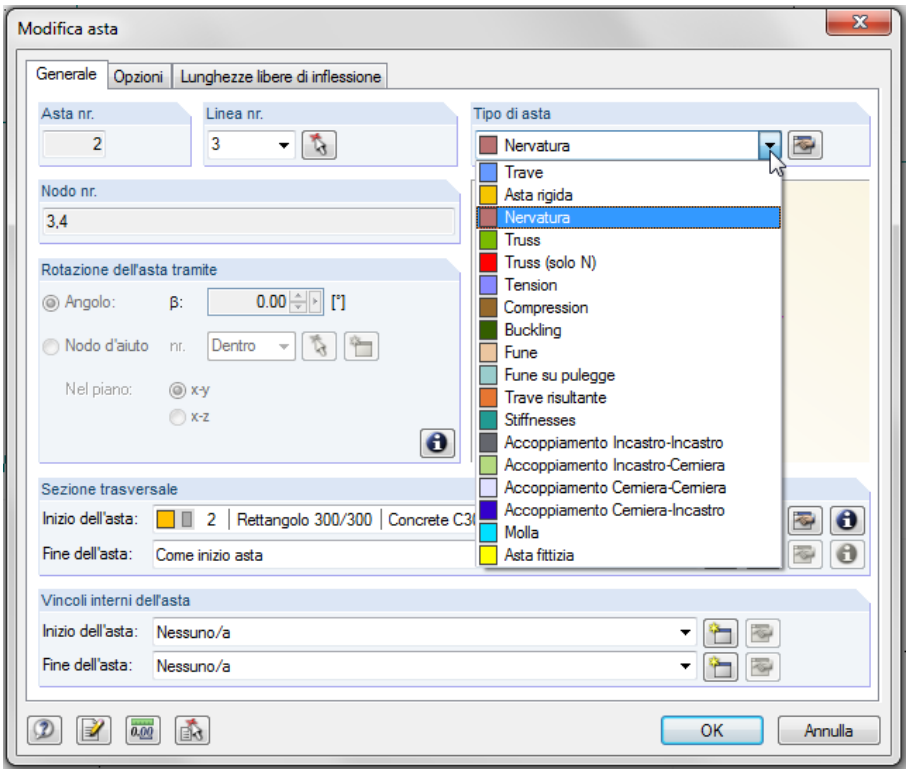


Figura 4.12: Cambiando il tipo di asta

Quindi, si faccia clic sul pulsante [Modifica] alla destra della casella dell'elenco , per aprire la finestra di dialogo *Nuova nervatura*.

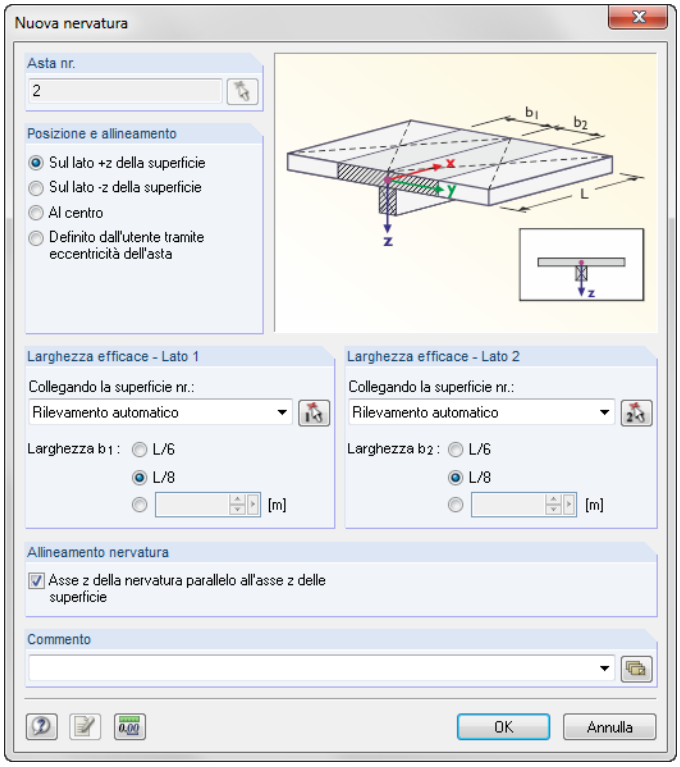


Figura 4.13: Definizione della nervatura

Si definirà la *Posizione e l'allineamento* della nervatura **Sul lato +z della superficie**. Questo è il lato inferiore della soletta dell'impalcato.

La *Larghezza efficace* sarà specificata con **L/8** per entrambi i lati. RFEM troverà le superfici automaticamente.

Si chiudano tutte le finestre di dialogo con il pulsante [OK] e si controlli il risultato nella finestra di lavoro.

Cambiando la panoramica

Si usi la barra degli strumenti mostrati sulla sinistra per impostare la [Vista isometrica] poiché si desidera visualizzare il modello in una rappresentazione grafica 3D.

Per modificare la vista, si usi il pulsante [Spostare, Zoom, Ruotare] (vedere le "funzioni del mouse" a pagina 8). Il puntatore adesso sarà visibile come una mano. Inoltre, premendo il tasto [Ctrl] in più, si potrà ruotare il modello muovendo il puntatore.

Esempio introduttivo di RFEM © 2012 Dlubal Engineering Software

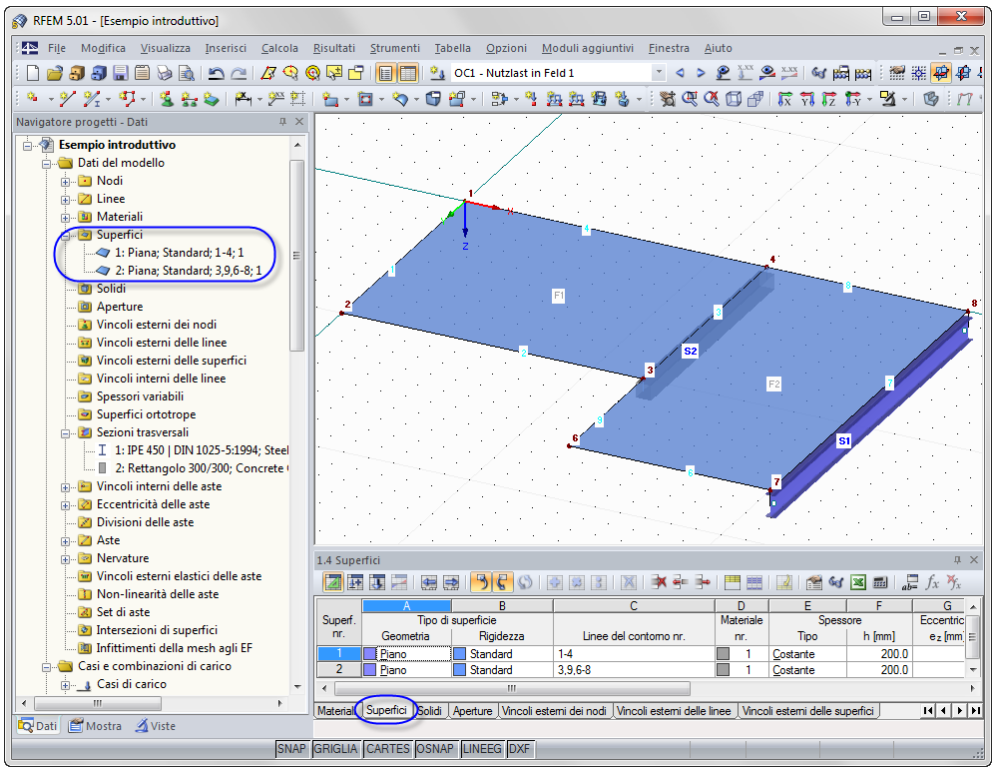


Figura 4.14: Modello in vista isometrica con ingressi del navigatore e delle tabelle

Controllo dei dati nel navigatore e nelle tabelle

Tutti gli oggetti inseriti possono essere trovati nella cartella del navigatore *Dati* e nelle schede della tabella. Si potranno aprire gli input nel navigatore (come in gestione risorse) facendo clic sul segno [+]. Per alternare le due tabelle, si faccia clic sulle singole schede delle tabelle.

Per esempio, nell'ingresso del navigatore *Superfici* e nella tabella 1.4 *Superfici*, si vedono i dati di input di entrambe le superfici in forma numerica (vedere l'immagine sopra).

4.3.2 Pilastri

La via più semplice per la creazione di pilastri è quella di copiare i nodi dell'impalcato diretti verso il basso specificando delle impostazioni particolari per il processo di copiatura.

Selezione del nodo

All'inizio, si selezionino i nodi che si desidera copiare. Per aprire la finestra di dialogo corrispondente,

si selezioni **Selezionare** sul menù **Modifica** , e dopo fare clic su **Speciale**

o si utilizzi il pulsante della barra degli strumenti mostrato sulla sinistra.

La finestra di dialogo *Selezione speciale* predispone la categoria *Nodi*. Poiché si desiderano selezionare *Tutti* i nodi, si potrà confermare la finestra di dialogo senza dover modificare nulla e facendo clic sul pulsante [OK].

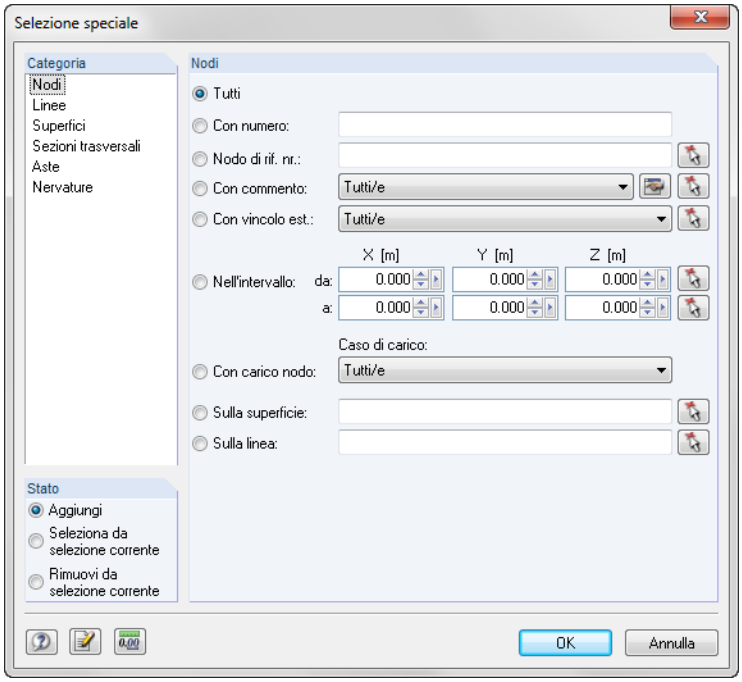


Figura 4.15: Finestra di dialogo *Selezione speciale*

I nodi selezionati adesso sono visualizzati con colori diversi. Il gialloè il colore predisposto come colore per indicare la selezione quando si lavora con uno sfondo nero.

Copia dei nodi

Si utilizzerà questo pulsante mostrato sulla sinistra per aprire la finestra di dialogo *Sposta o copia*.

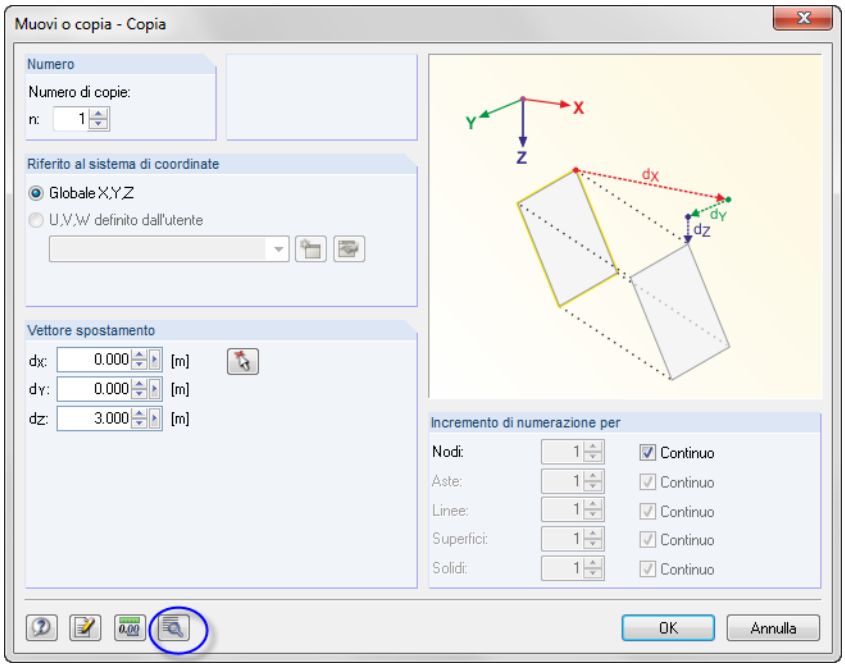


Figura 4.16: Finestra di dialogo *Sposta o Copia*

Si aumenterà il *Numero di copie* a **1**: Con queste impostazioni i nodi non saranno spostati ma copiati. Poiché i pilastri sono alti 3 m, si inserirà il valore **3.0** m per il *Vettore di spostamento* in d_z.

Esempio introduttivo di RFEM © 2012 Dlubal Engineering Software

Adesso, si faccia clic sul pulsante [Dettagli] per specificare più impostazioni.

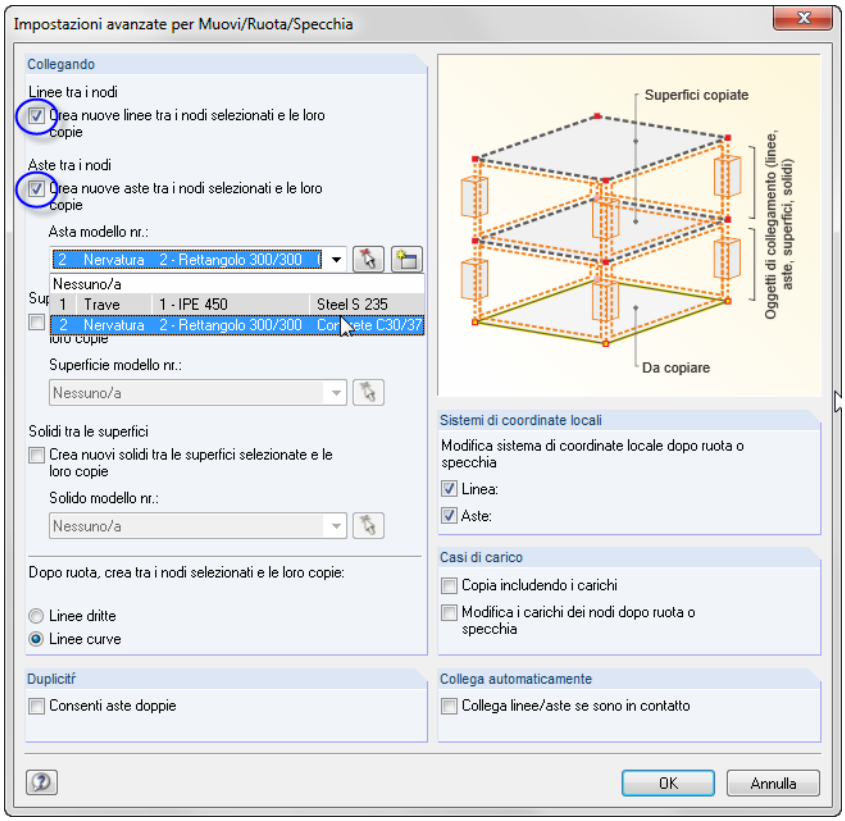


Figura 4.17: Finestra di dialogo *Impostazioni dettagliate per Muovi/Ruota/Specchia*

Nella sezione di dialogo *Collegamenti*, si segnino le caselle di controllo per le seguenti opzioni:

- ☑ Crea nuove linee tra i nodi selezionati e le loro copie
- ☑ Crea nuove aste tra i nodi selezionati e le loro copie

Quindi, si selezionerà l'asta **2** dall'elenco per definirla come un *Modello di Asta*. In questo modo, le proprietà delle travi a T (tipo di asta, sezione trasversale, materiale) saranno predisposte per i nuovi pilastri.

Si chiudano entrambe le finestre di dialogo facendo clic sul pulsante [OK].

Modifica delle superfici

Poiché è stato definito il modello dell'asta come una *Nervatura* con larghezze efficaci, adesso è necessario modificare il tipo di asta. Si seguirà un altra modalità per la selezione di pilastri.

All'inizio, si predisporrà la vista nella direzione [-Y] utilizzando il pulsante mostrato sulla sinistra.

Adesso, si utilizzerà il puntatore per disegnare una finestra da destra a sinistra attraverso i nodi della base dei pilastri. In questo modo, si selezioneranno tutti gli oggetti che sono completamente o solo parzialmente contenuti nella finestra, per cui si selezioneranno anche i pilastri. (Quando si disegnerà la finestra da sinistra a destra, si selezioneranno solo quegli oggetti che sono completamente contenuti nella finestra).

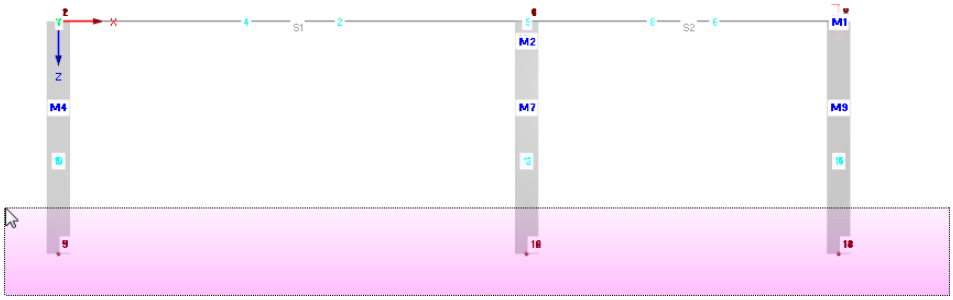


Figura 4.18: Selezionare utilizzando la finestra

Adesso, si farà un doppio clic su uno dei pilastri selezionati. Apparirà la finestra di dialogo *Modifica Asta*. I numeri delle aste selezionate sono mostrati nel campo del dialogo *Asta nr.*.

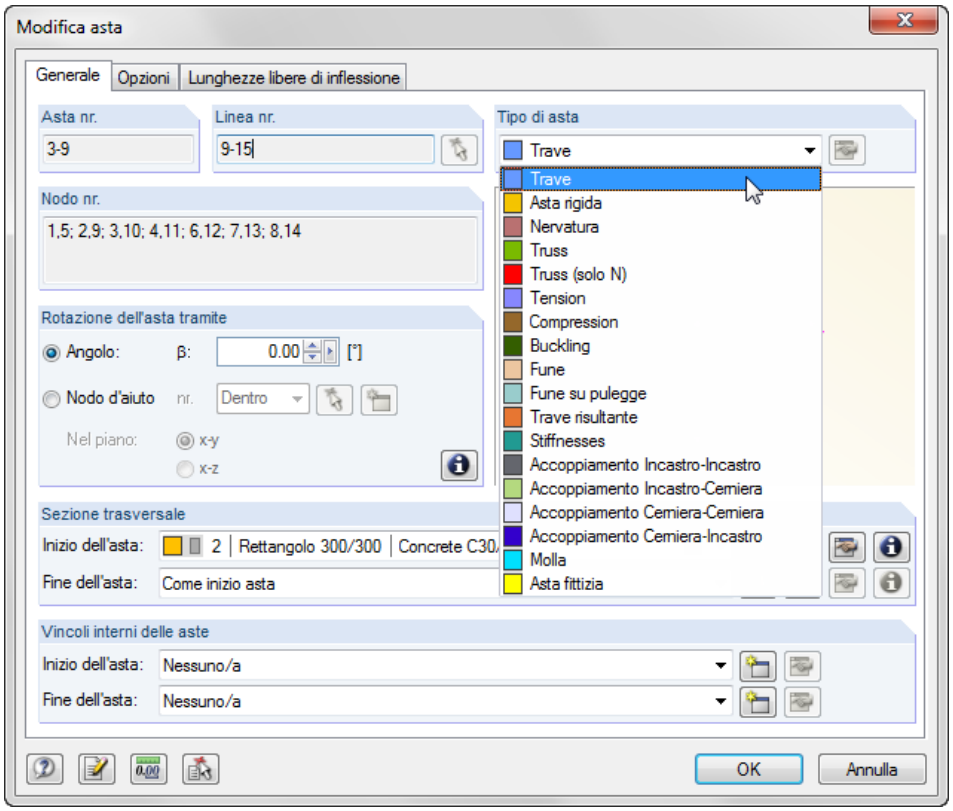


Figura 4.19: Cambiando il tipo di asta

Si cambierà il tipo di asta a **Trave** e si chiuderà la finestra di dialogo con il pulsante [OK].

Ancora una volta, si imposterà la [Vista isometrica] per visualizzare il nostro modello completamente.

Esempio introduttivo di RFEM © 2012 Dlubal Engineering Software

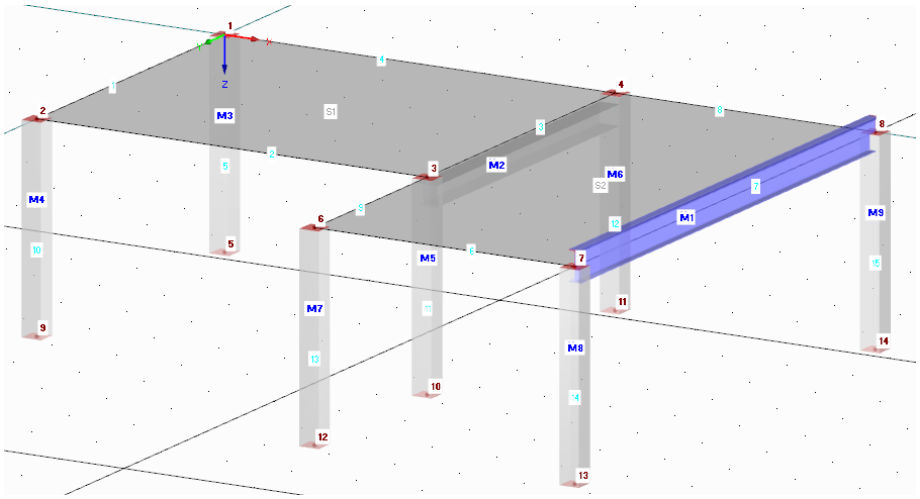


Figura 4.20: Vista isometrica totale

4.4 Disposizione dei vincoli (esterni)

Il modello è ancora senza vincoli esterni. In RFEM si possono assegnare vincoli ai nodi, alle linee, alle aste ed alle superfici.

Assegnazione di nodi ai vincoli esterni

I pilastri sono vincolati esternamente in tutte le direzioni sulla loro base ma senza un vincolo.

I nodi alla base e i pilastri rimangono selezionati tanto a lungo fino a quando non si esegue un clic nella finestra di lavoro. Se necessario, si selezioneranno gli oggetti ancora con una selezione tramite la finestra (vedere Figura 4.18).

Adesso, si farà un doppio clic su uno dei nodi alla base. Osservando la barra di stato nell'angolo sinistro inferiore si potrà controllare se il puntatore è piazzato sul nodo pertinente.

Apparirà la finestra di dialogo *Modifica Nodo*.

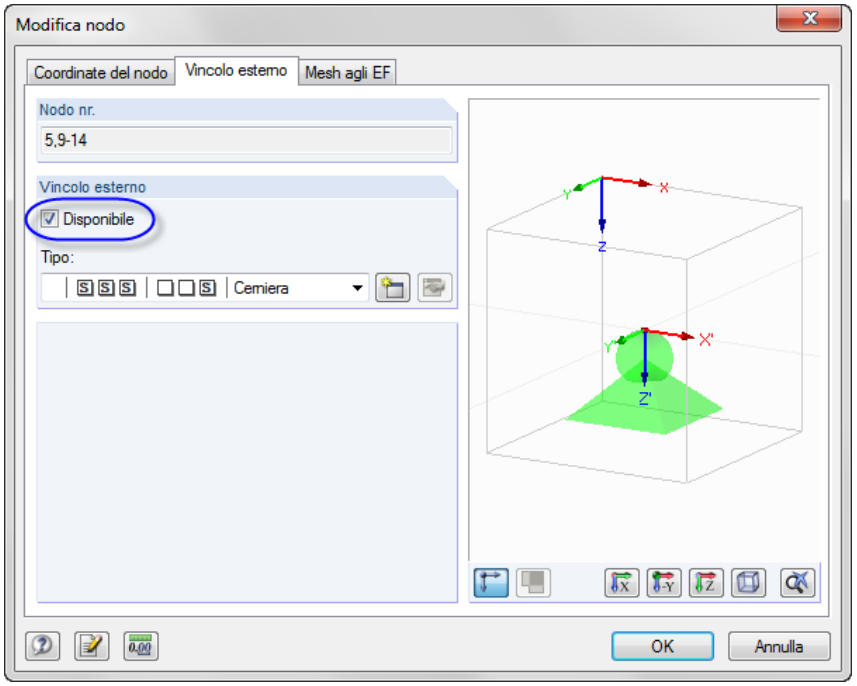


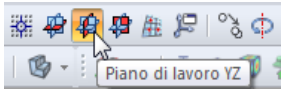
Figura 4.21: Finestra di dialogo *Modifica il nodo*, scheda *Vincolo esterno*

Nella scheda *Vincolo esterno*, si segni la casella di controllo *Disponibile*. Con questa impostazione si assegnerà il tipo di vincolo esterno *Incernierato*.

Dopo aver fatto clic sul pulsante [OK] si potranno vedere i simboli dei vincoli esterni visualizzati nel modello.

Cambiando il piano di lavoro

Si desidera correggere la lunghezza delle due colonne a sinistra a 4 m. Perciò si sposterà il piano di lavoro da quello orizzontale a quello verticale.



Per impostare il [Piano di lavoro a YZ], si faccia clic sul secondo pulsante dei pulsanti dei tre piani.

La griglia sarà adesso visualizzata all'interno del piano dei pilastri a sinistra. Questa impostazione permetterà di definire le linee graficamente o disporre i nodi in questo piano di lavoro.

Modifica di nodi di vincoli esterni

Questa volta si selezioneranno i nodi 9 e 5 uno dopo l´altro pressando il tasto [Ctrl] mentre si sta facendo clic.

Adesso, si sposti uno dei nodi selezionati di **1 m** al punto della griglia sotto. Cortesemente si faccia attenzione a non selezionare l'asta, ma il nodo. Ancora una volta, si possono controllare i numeri dei nodi e le coordinate del puntatore nella barra di stato.

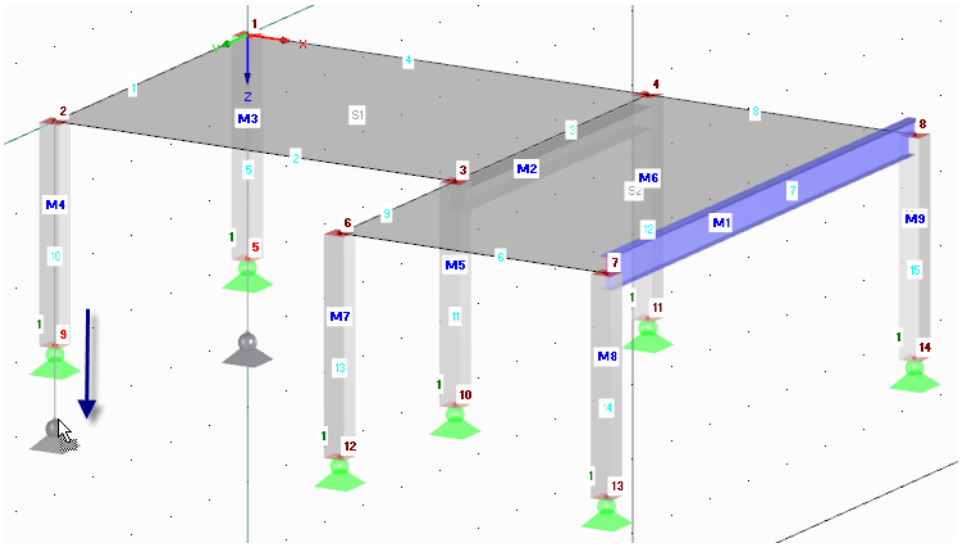


Figura 4.22: Spostamento di due nodi dei vincoli esterni

In alternativa, sarebbe possibile fare un doppio clic su uno dei nodi e cambiare la coordinata Z corretta nella finestra di dialogo *Modifica il nodo* , scheda *Coordinate del nodo*.

4.5 Collegamento di aste con vincoli interni e eccentricità

4.5.1 Vincolo interno

La traversa di acciaio non può trasferire nessuno momento flettente ai pilastri a causa del suo collegamento. Perciò, si devono assegnare i vincoli interni ad entrambi i lati dell'asta.

Si faccia doppio clic sull'asta 7 per aprire la finestra di dialogo *Modifica linea*.

Esempio introduttivo di RFEM © 2012 Dlubal Engineering Software

Nella sezione di dialogo *Vincolo interno dell'asta*, si faccia clic sul pulsante [Nuovo] per definire un tipo di vincolo esterno per *Inizio dell'asta* (vedere Figura 4.25).

Figura 4.23: Finestra di dialogo *Modifica Asta*, sezione del dialogo *Vincolo interno delle aste*

Apparirà la finestra di dialogo *Nuovo vincolo esterno di fine asta* dove si potrà selezionare le forze interne che non sono trasferite dal vincolo esterno. In questo esempio si segneranno le caselle di controllo per i momenti M_y e M_z.

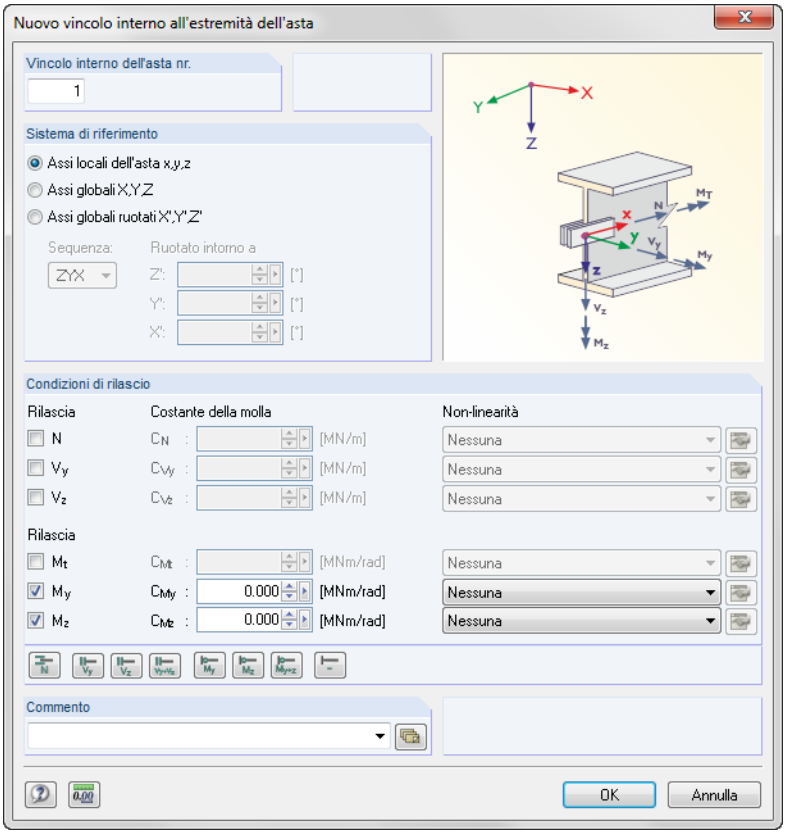


Figura 4.24: Finestra di dialogo *Nuovo vincolo esterno di fine asta*

Si confermino le predisposizioni impostate e si chiuda la finestra di dialogo facendo clic sul pulsante [OK].

Nella finestra di dialogo *Modifica Asta* si vede che il vincolo interno 1 è adesso l'*Asta iniziale*. Adesso si definirà lo stesso tipo di vincolo interno per il *Fine asta* utilizzando l'elenco (vedere l'immagine successiva).

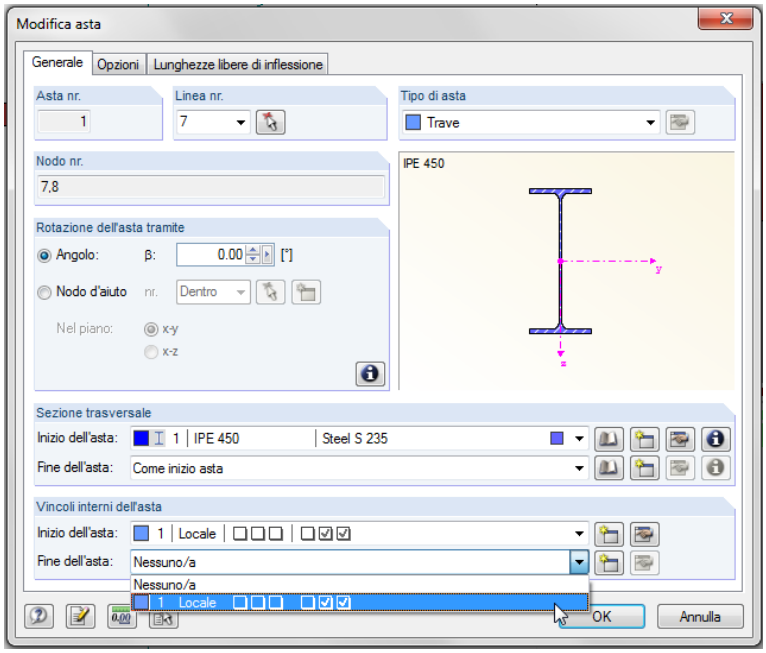


Figura 4.25: Assegnazione di vincoli interni nella finestra di dialogo *Modifica Asta*

4.5.2 Eccentricità dell'asta

Si desidera collegare la traversa di acciaio eccentricamente sotto la soletta dell'impalcato.

Nella finestra di dialogo *Modifica Asta*, si vada alla scheda del dialogo *Opzioni*. Nella sezione del dialogo *Eccentricità dell'asta*, si faccia clic sul pulsante [Nuovo] per aprire la finestra di dialogo *Nuova eccentricità dell'asta*.

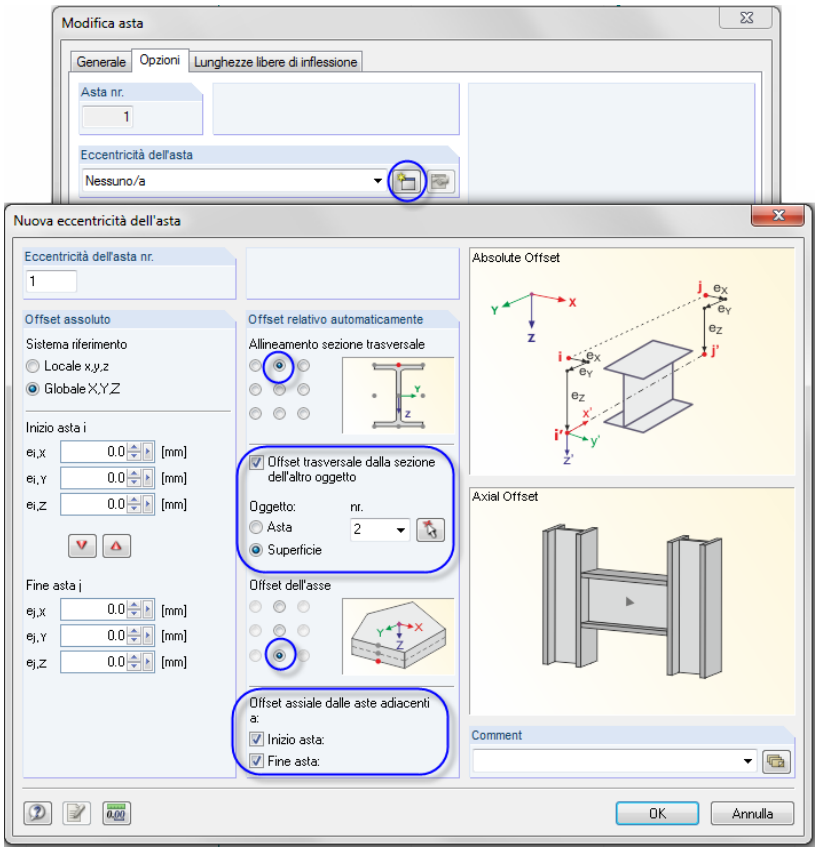


Figura 4.26: Finestra di dialogo *Nuova eccentricit à dell'asta*

Esempio introduttivo di RFEM © 2012 Dlubal Engineering Software

Si selezionerà l'opzione *Offset trasversale dalla sezione trasversale dell'altro oggetto*. Nel nostro esempio, l'oggetto è la soletta dell'impalcato. Si utilizzerà la funzione [Scegli] per definire la **Superficie 2** graficamente.

Dopo, si definirà l'*Allineamento della sezione trasversale* ed anche lo *Offset dell'asse* nel senso della selezione di campi come mostrato in Figura 4.26.

Nella sezione del dialogo *Offset assiale per congiungimento di aste*, si segneranno le caselle di controllo per **Inizio Asta** e **Fine Asta** per riordinare l'offset su entrambi i lati.

Dopo avere confermate tutte le caselle del dialogo, si potranno controllare i risultati visualizzando al massimo la vista (per esempio zoommarla con la rotazione del pulsante a rotella, muovendola tenendo pressato il pulsante della rotella, ruotarla pressando il pulsante della rotella e tenendo pressato il pulsante destro del mouse).

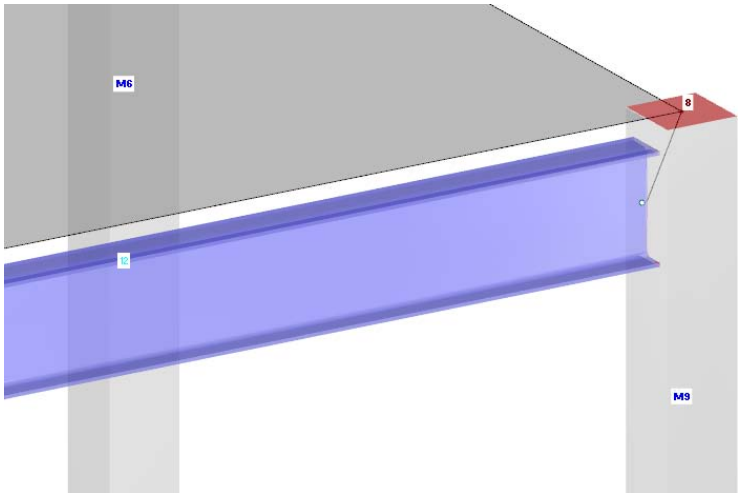


Figura 4.27: Traversa di acciaio con vincolo interno ed eccentricit à

4.6 Controllo degli input

Controllo dei *Dati* nel navigatore e nelle tabelle

L'input grafico si riflette sia nell'albero del navigatore *Dati* che nelle tabelle. Si possono visualizzare e nascondere il navigatore e le tabelle selezionando il **Navigatore** o la **Tabella** nel menù della **Vista**. Si possono utilizzare anche i corrispondenti pulsanti nella barra dei menù.

Nelle tabelle, gli oggetti strutturali sono organizzati in numerose schede. I grafici e le tabelle sono interattive: Per trovare un oggetto nella tabella, per esempio una superfice, si imposti la tabella 1.4 *Superfici* e si selezionerà la superfice nella finestra di lavoro cliccando. Si vedrà che la riga della tabella corrispondente sarà evidenziata (vedere Figura 4.14, pagina 19).

Si potranno controllare i dati numerici dell'input rapidamente.

Salvare i dati

Finalmente, l'input del modello è terminato. Per salvare il file,

si selezioni **Salva** nel menù del **File**.

o si utilizzi il pulsante della barra degli strumenti mostrato sulla sinistra.

5. Carichi

All'inizio, i carichi come il peso proprio, imposti o il carico da vento sono descritti in casi di carico differenti. Nel passo successivo, si esegue una superposizione dei casi di carico con i coefficienti di sicurezza parziale secondo le regole specifiche di combinazione (vedere capitolo 6).

5.1 Caso di carico 1: Pesi propri e finiture

Il primo caso di carico ha due carichi che agiscono permanentemente: il peso proprio e la struttura dell'impalcato (vedere capitolo 2.3, pagina 5).

Si usi il pulsante [Nuovo carico di superfice] per creare un caso di carico.

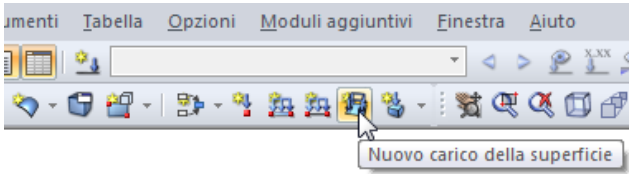


Figura 5.1: Pulsante *Nuovo carico di superficie*

Apparirà la finestra di dialogo *Modifica i casi di carico e combinatorica*.

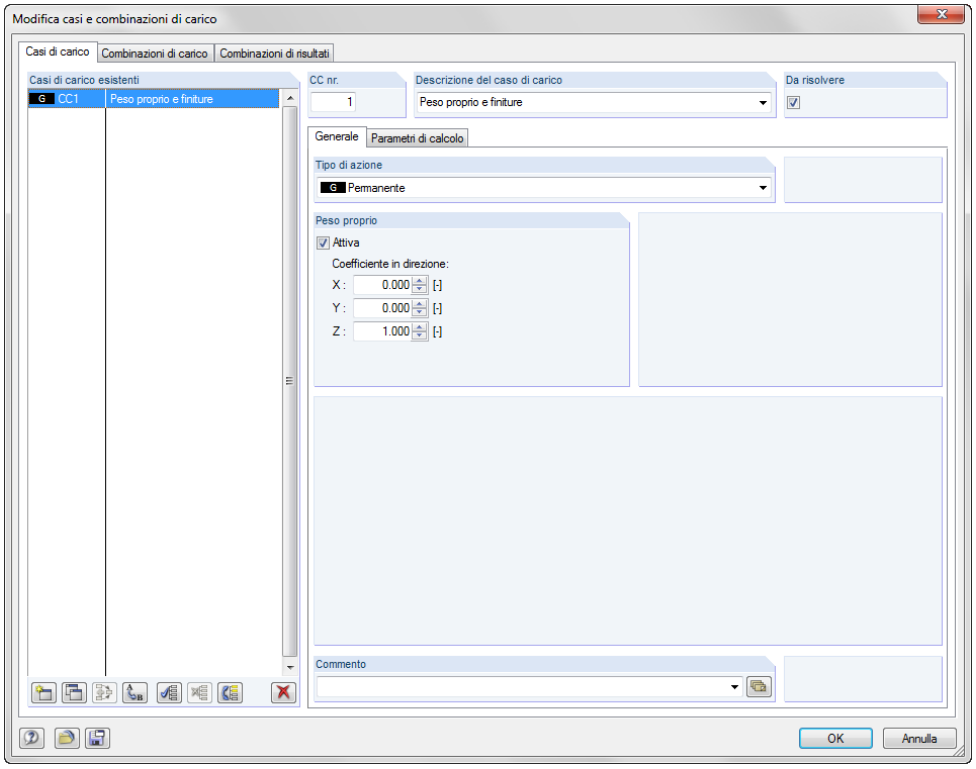
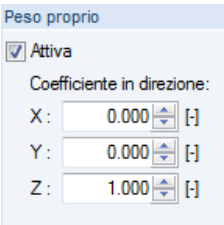


Figura 5.2: Finestra di dialogo *Modifica i casi di carico e combinatorica*, schede *Casi di carico* e *Generale*

Il caso di carico nr. *1* è predisposto come tipo di sollecitazione *Permanente*. In più, si inserirà la *Descrizione del caso di carico* **Peso proprio e finiture**.

Esempio introduttivo di RFEM © 2012 Dlubal Engineering Software



5.1.1 Peso proprio

il *Peso proprio* di superfici e aste nella direzione *Z* sarà preso in considerazione automaticamente quando il fattore *Attivo* avrà il valore predisposto ad *1,000*.

5.1.2 Struttura dell'impalcato

Si confermi l'input facendo clic sul pulsante [OK]. Apparirà la finestra di dialogo *Nuovo carico di superficie*.

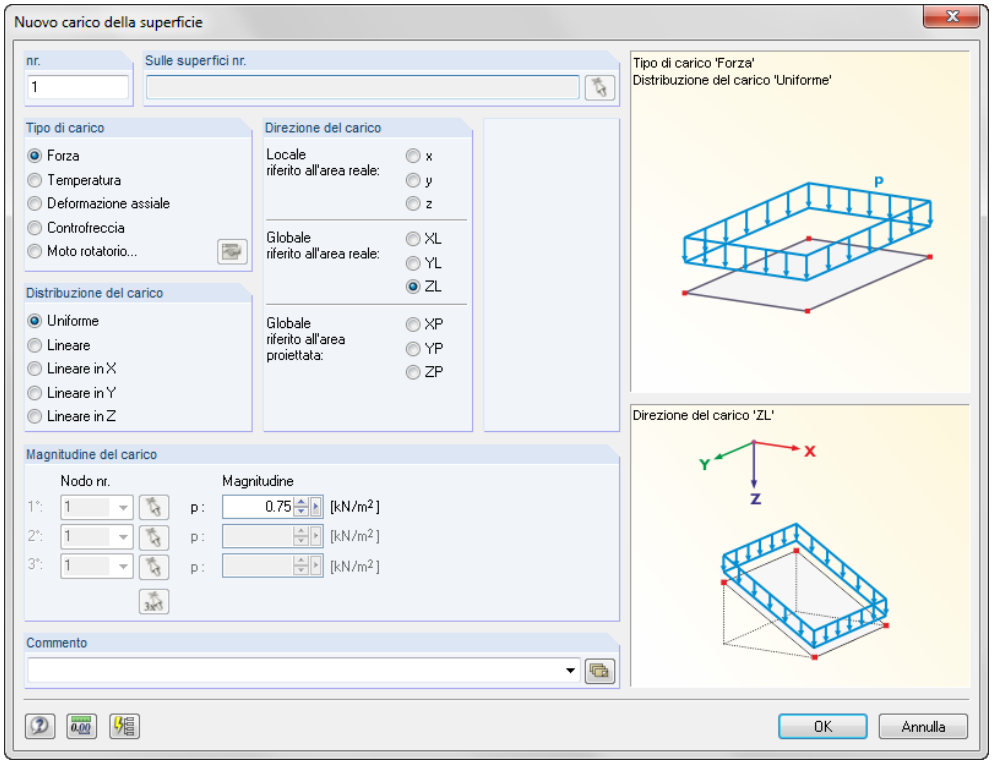


Figura 5.3: Finestra di dialogo *Nuova carico di superfice*.

La struttura dell'impalcato agisce come una sollecitazione di carico del tipo *Forza*, dove la distribuzione del carico è *Uniforme*. Si accettino queste impostazioni così come le impostazioni *ZL* per *Globale* nella sezione del dialogo *Direzione del carico*.

Nella sezione di dialogo *Magnitudine del carico*, si inserirà il valore di **0,75** kN/m² (vedere capitolo 2.3, pagina 5). Si chiuda la finestra di dialogo facendo clic sul pulsante [OK].

Adesso, si può assegnare il carico graficamente alla superfice dell'impalcato: Si potrà vedere un piccolo simbolo di carico accanto al puntatore. Questo simbolo scomparirà non appena si sposterà il puntatore per la superficie. Adesso si applichi il carico facendo clic sulla superfice **1** e **2** uno dopo l'altra (vedere Figura 5.4).

Si possono nascondere e visualizzare i valori di carico con il pulsante della barra degli strumenti [Mostra i valori di carico].

Per chiudere la modalità di input si utilizzi il tasto [Esc]. Si può anche fare un clic con il pulsante destro del mouse in uno spazio vuoto della finestra di lavoro. L'input per il caso di carico *Peso proprio e finiture* a questo punto è completo.

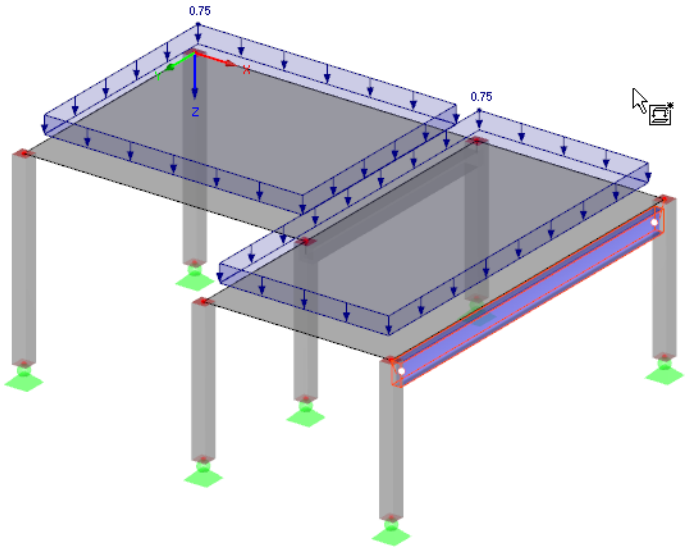


Figura 5.4: Input grafico del carico dell'impalcato

5.2 Caso di carico 2: Carico variabile , campo 1

Si divida il carico variabile dell'impalcato in due differenti casi di carico a causa degli effetti di continuità. Per creare un nuovo caso di carico.

si punti su **Carichi** nel menù **Inserisci** e si selezioni **Nuovo caso di carico**

o si utilizzi il pulsante corrispondente nella barra degli strumenti (a sinistra dell'elenco del caso di carico).

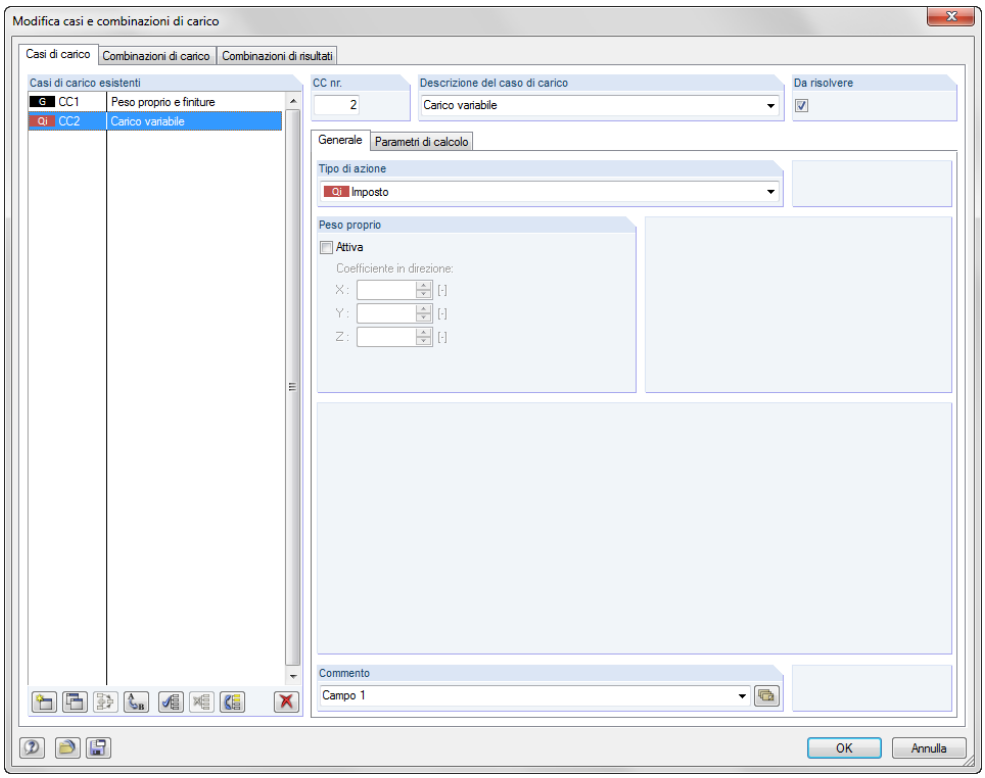


Figura 5.5: Finestra di dialogo *Modifica i casi di carico e combinatorica*, schede *Casi di carico*

Esempio introduttivo di RFEM © 2012 Dlubal Engineering Software

Per la *Descrizione del caso di carico* si inserisca il **Carico variabile** , oppure si selezioni l'ingresso dall'elenco.

Il *Tipo di azione* è impostato automaticamente a **Q_i Variabili** . Questa classificazione è importante per i coefficienti di sicurezza parziale e i coefficienti di combinazioni delle combinazioni dei carichi.

Nel campo *Commento*, si può inserire il **Campo 1** per descrivere il caso di carico in dettaglio.

Dopo aver confermato la finestra di dialogo si inserisca il carico di superficie con una nuova modalità: All'inizio, si faccia clic per selezionare la superficie dell'impalcato *1* . Adesso, non appena si aprirà la finestra di dialogo con il pulsante [Nuovo carico di superfice], si potrà vedere che il numero della superficie è già presente.

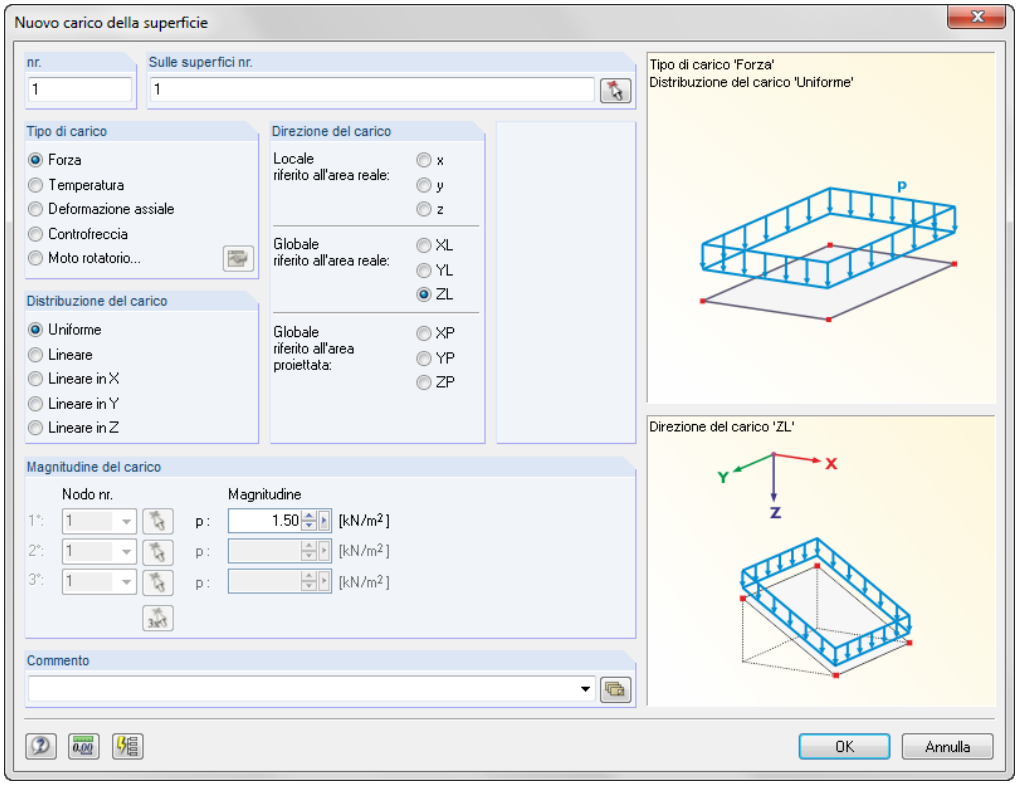


Figura 5.6: Finestra di dialogo *Nuovo carico di superficie*.

La struttura dell'impalcato agisce come una sollecitazione di carico del tipo *Forza*, dove la distribuzione del carico è *Uniforme*. Si accettino queste predisposizioni ed anche le impostazioni *ZL* per *Globale* nella sezione del dialogo *Direzione del carico*.

Nella sezione di dialogo *Magnitudine del carico*, si inserirà il valore di **1,5** kN/m^2 (vedere capitolo 2.3, pagina 5). Si chiuda la finestra di dialogo facendo clic sul pulsante [OK].

Il carico di superficie è visualizzato nel campo a sinistra dell'impalcato .

5.3 Caso di carico 3: Carico variabile , campo 2

Si creerà così un [Nuovo caso di carico] per inserire il carico variabile del campo destro.

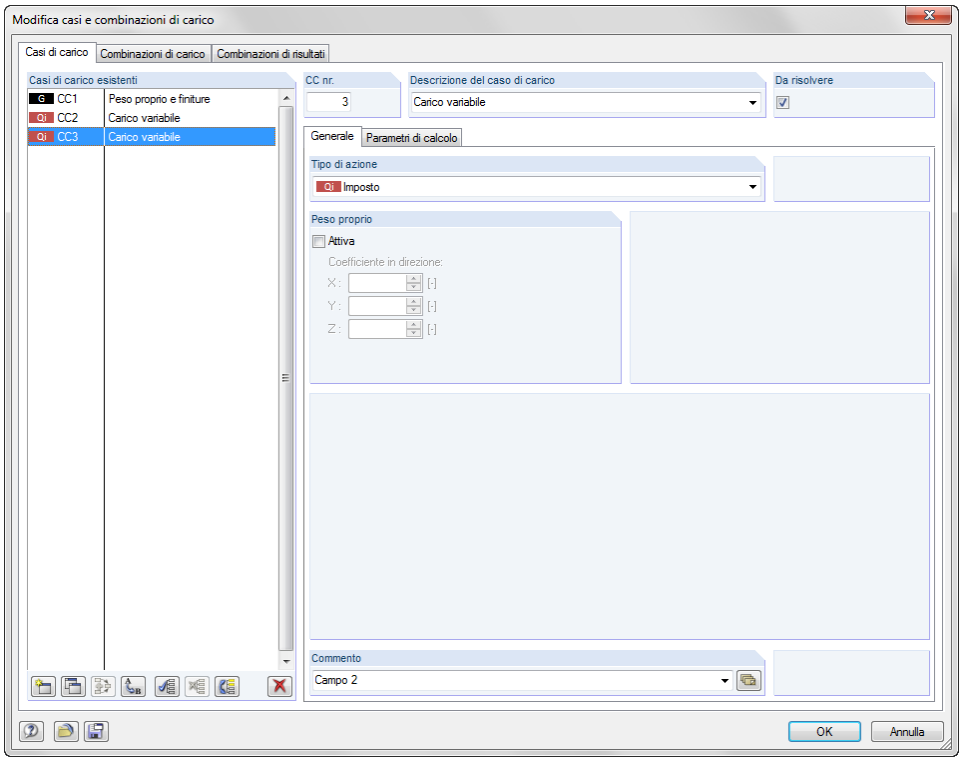


Figura 5.7: Finestra di dialogo *Modifica i casi di carico e combinatorica*, scheda *Casi di carico*

Di nuovo si inserisca il **carico variabile** per la *Descrizione del caso di carico*. Per il *Commento* si inserisca **Campo 2**, e dopo si chiuda la finestra di dialogo con [OK].

5.3.1 Carico della superficie

Questa volta si selezionerà la superficie dell'impalcato *2* e si aprirà la finestra di dialogo *Nuovo carico di superficie* con il pulsante [Nuovo carico di superficie].

In più nella superficie 2 si potrà vedere che sono predisposti i parametri dei passi di input recenti (tipo di carico *Forza*, distribuzione del carico *Uniforme*, direzione del carico *Globale ZL*, *Magnitudine del carico* **1.5**kN/m$_2$). Adesso si confermi la finestra di dialogo senza cambiare niente.

Il carico di superficie è visualizzato nel campo a sinistra dell'impalcato (vedere Figura 5.8).

5.3.2 Carico lineare

Sarà più facile applicare un carico lineare al bordo posteriore dell'impalcato ingrandendo la vista di questa area utilizzando la funzione di *Zoom* o il pulsante della rotella.

Con il pulsante della barra degli strumenti [Nuovo carico di linea] alla sinistra del pulsante [Nuovo carico di superficie] si aprirà la finestra di dialogo *Nuovo carico di linea*.

Il carico di linea come tipo di carico *Forza* con una distribuzione del carico *Uniforme* agisce nella direzione del carico *ZL*. Nella sezione del dialogo *Parametri del carico*, si inserisca il valore di **5** kN/m (vedere capitolo 2.3, pagina 5).

Esempio introduttivo di RFEM © 2012 Dlubal Engineering Software

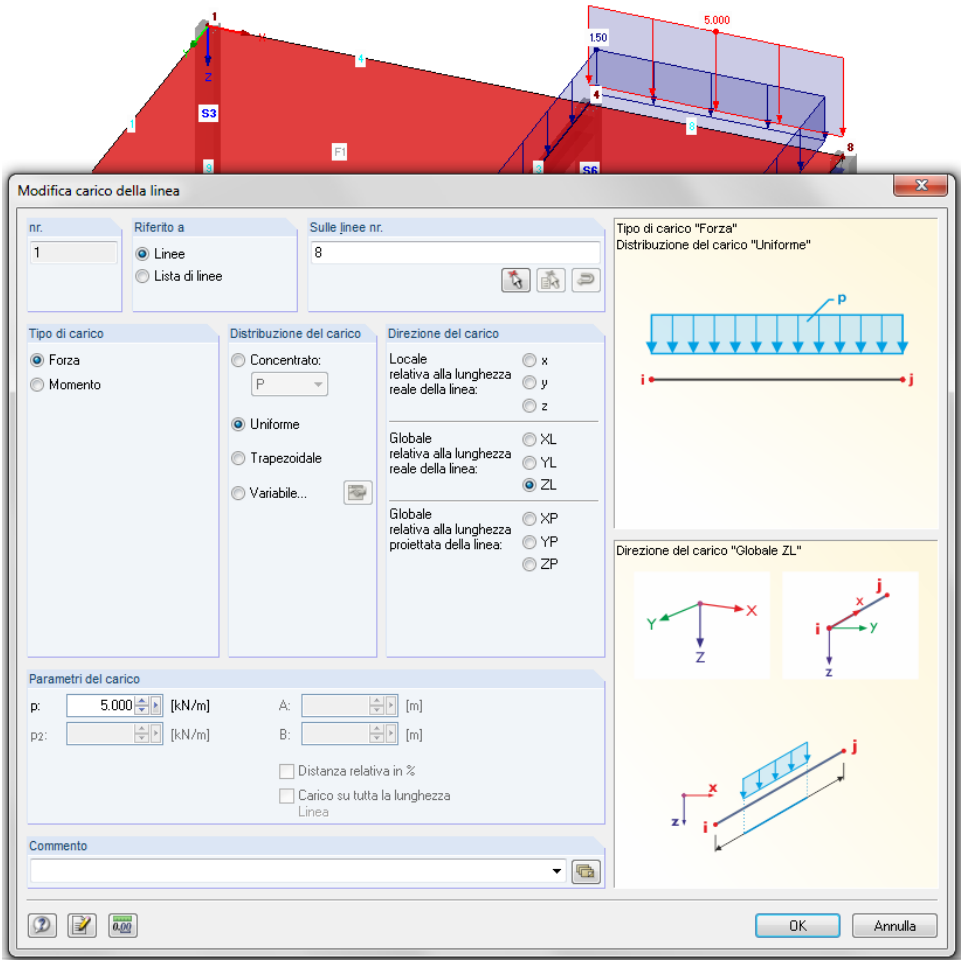


Figura 5.8: Finestra di dialogo *Nuovo carico di linea*.

Dopo aver fatto clic sul pulsante [OK] si faccia clic sulla linea **8** al lato posteriore dell'impalcato (controllare la barra di stato).

Adesso si chiuda la modalità di input con il pulsante [Esc] o si faccia clic con il pulsante destro del mouse nello spazio vuoto di lavoro. Quindi, si reimposti la [Vista isometrica].

5.4 Caso di carico 4: Imperfezioni

Nel caso di carico finale si definiscono le imperfezioni per i pilastri che sono sollecitati da forze assiali.

Questa volta, si userà il navigatore *Dati* per creare un nuovo caso di carico. Si faccia clic sull'ingresso *Casi di carico* per aprire il menù di scelta rapido, e dopo si selezioni *Nuovo caso di carico*.

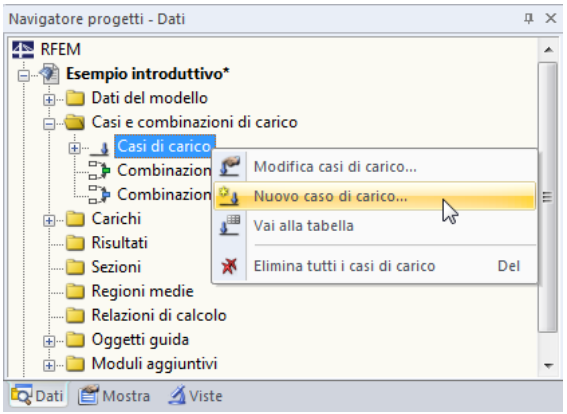


Figura 5.9: Menù di scelta rapido *Casi di carico*.

Si scelga **Imperfezione verso -Y** dall'elenco *Descrizione del caso di carico*. Il *Tipo di azione* cambierà automaticamente a **Nuova imperfezione**.

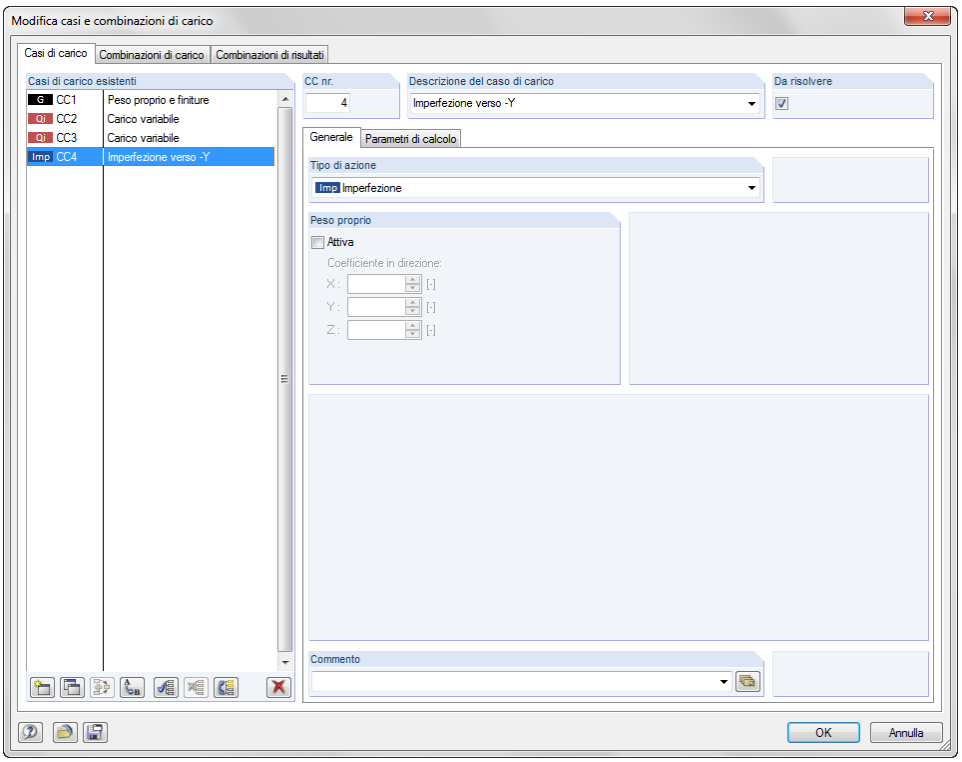
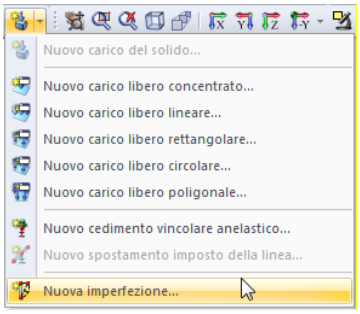


Figura 5.10: Finestra di dialogo *Modifica i casi di carico e combinatorica*, scheda *Casi di carico*

Si chiuda la finestra di dialogo facendo clic sul pulsante [OK].

Si faccia clic sul pulsante della barra degli strumenti [Nuovo carico del solido] per aprire il menù elenco dove si selezionerà l'ingresso *Nuova imperfezione*. Si aprirà la seguente finestra di dialogo.



Elenco di pulsanti per i carichi

Esempio introduttivo di RFEM © 2012 Dlubal Engineering Software

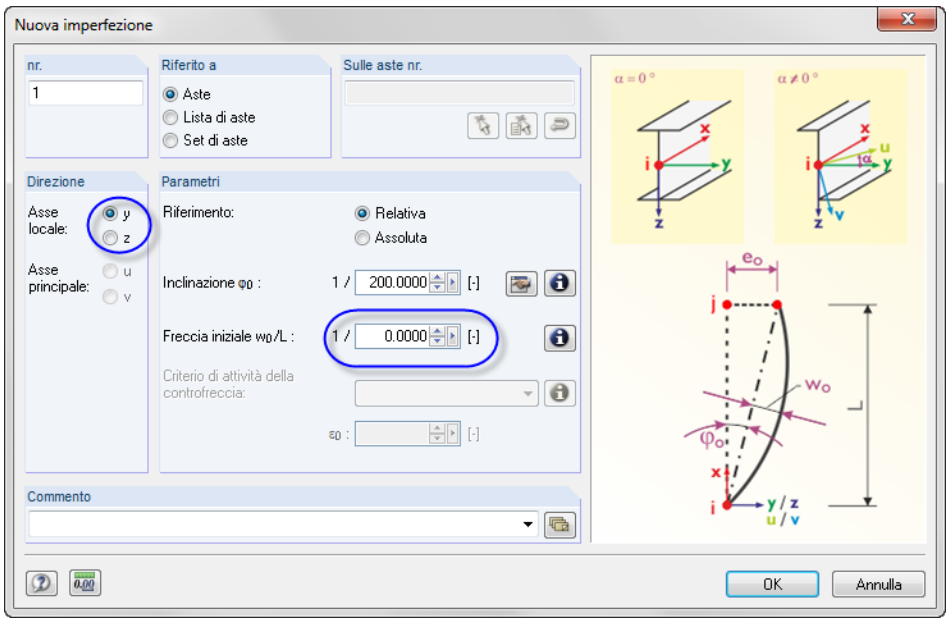


Figura 5.11: Finestra di dialogo *Nuova imperfezione*

Si desidera applicare l'imperfezione nella *Direzione* degli assi del pilastro **y**, che è la direzione dell'asse dell'asta 'debole', che è parallelamente allineata con l'asse globale Y in questo esempio.

Si imposta la *Controfreccia* w_0/L a **0.00** e si confermi la finestra di dialogo facendo clic sul pulsante [OK].

Si potrà facilmente assegnare l'imperfezione da una finestra di selezione. All'inizio, si inserisca il modello in una posizione più appropriata: Si faccia clic sul pulsante [Sposta, Zoom, Ruota], e si inclini il modello un po' all'indietro tenendo pressato il pulsante sinistro del mouse, pressando contemporaneamente il tasto [Ctrl]. Si arresterà la modalità di modifica della vista con il pulsante [Esc] o facendo clic con il pulsante destro nella finestra senza cancellare la funzione di "Selezione delle aste per le imperfezioni".

Quindi, si disegnerà una finestra di selezione da destra verso sinistra. Si deve avere cura di selezionare ciascun pilastro con la finestra, ma la traversa di acciaio deve giacere al di fuori della zona selezionata.

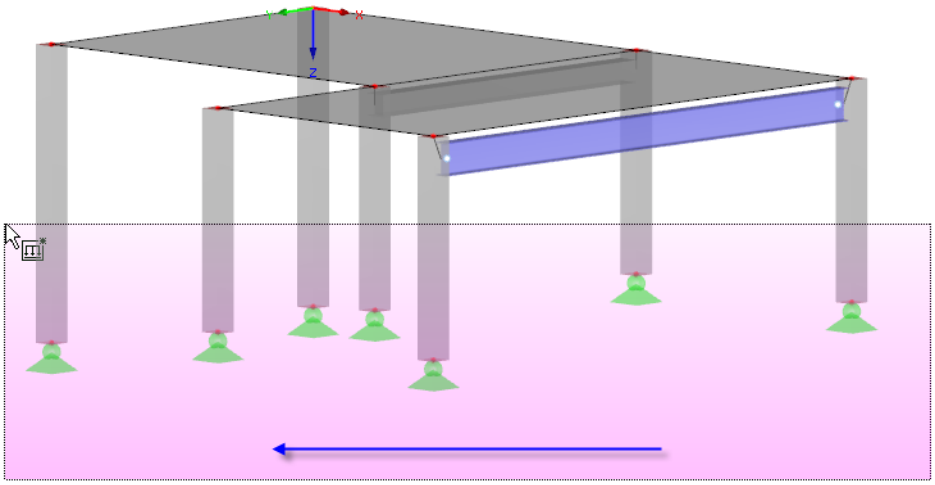


Figura 5.12: Selezione dei pilastri per le imperfezioni

Quando il secondo angolo della finestra sarà impostato, RFEM asseg nerà le imperfezioni.

Si chiuderà la funzione con il tasto [Esc] o con un clic del pulsante destro del mouse. Quindi, si reimposti la [Vista isometrica].

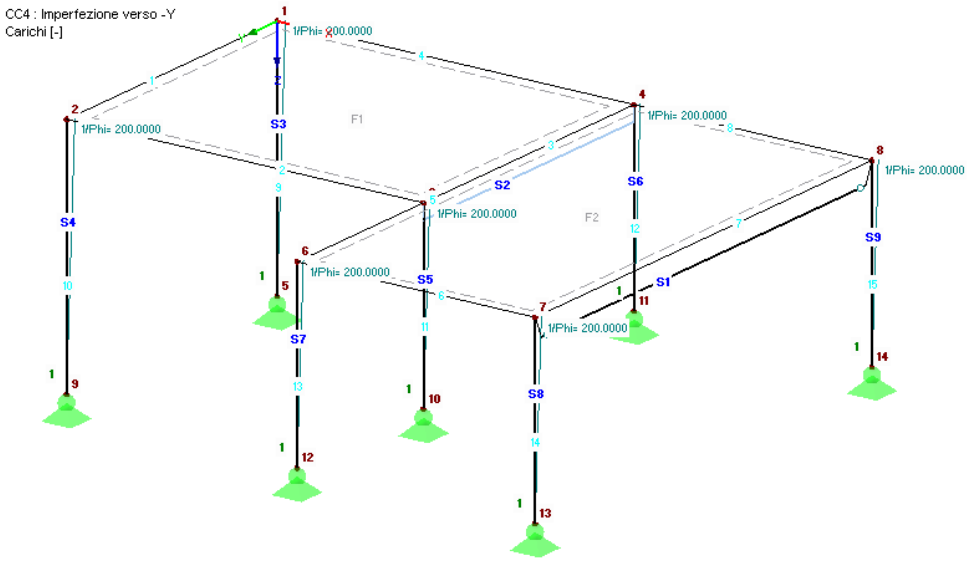
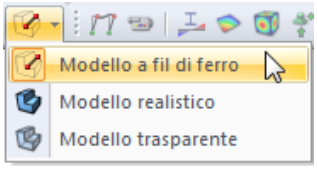


Figura 5.13: Imperfezioni mostrate nel modello della linea



Cambiando la visualizzazione del modello

La figura sopra mostra la struttura *Visualizzazione del modello a fil di ferro*. Si potrà impostare questa visualizzazione con il pulsante della barra degli strumenti mostrato a sinistra. In questo modo, le imperfezioni non saranno più sovrapposte dai pilastri in rendering.

5.5 Controllo dei casi di carico

Tutti e quattro i casi di carico sono stati inseriti in modo completo. Si raccomanda di [Salvare] l'input dei dati adesso.

Si potrà controllare ciascun caso di carico nella grafica molto rapidamente. I pulsanti [◀] e [▶] nella barra degli strumenti permettono di selezionare i casi di carico precedenti e successivi.

Figura 5.14: Sfogliando i casi di carico

L'input grafico si riflette sia nell'albero del navigatore *Dati* che nelle tabelle. Si potrà accedere ai dati del carico nella tabella 3. I *Carichi* che possono essere impostati con il pulsante mostrato sulla sinistra.

I grafici e le tabelle sono interattive: Per trovare un carico nella tabella, per esempio una imperfezione, si punti la tabella 3.13 *Imperfezioni* e si selezioni il carico nella finestra di lavoro. Si vedrà che il puntatore andrà nella riga corrispondente della tabella.

Esempio introduttivo di RFEM © 2012 Dlubal Engineering Software

6. Combinazione di casi di carico

Conformemente alla EN 1990, i casi di carico con fattori si devono combinare . Il *Tipo di azione* specificato prima, quando sono stati creati i casi di carico, rende la generazione delle combinazioni più semplice (veder Figura 5.10, pagina 34). In questo modo, si possono controllare i fattori di sicurezza parziale ed i coefficienti delle combinazioni, quando si creano le combinazioni.

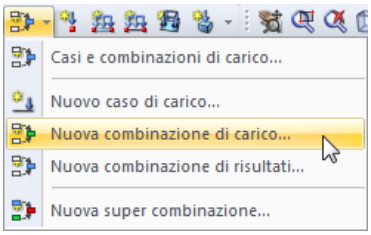
6.1 Creazione di Combinazioni di carico

Con i nostri quattro casi di carico, si creeranno le seguenti combinazioni di carico.

- 1.35*CC1 + 1.5*CC2 + 1.0*CC4 carico variabile nel campo 1
- 1.35*CC1 + 1.5*CC2 + 1.0*CC4 carico variabile nel campo 2
- 1.35*CC1 + 1.5*CC2 + 1.5*CC3 + 1.0*CC4 Carico pieno

Si calcolerà la struttura secondo l'analisi del secondo ordine

Creazione di OC1



Si aprirà il menù dei pulsanti della lista [Casi di carico] e si creerà una [Nuova combinazione di carico]. Apparirà di nuovo la finestra di dialogo *Modifica i casi di carico e la combinatorica*.

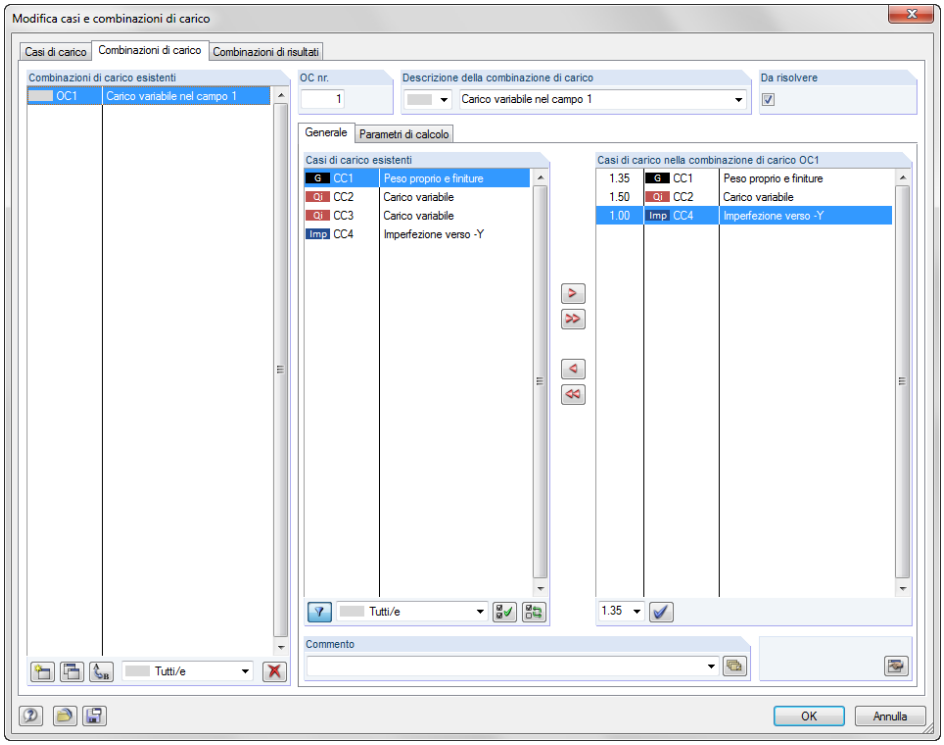


Figura 6.1: Finestra di dialogo *Modifica i casi di carico e combinatorica*, scheda *Casi di carico*

Si inserisca il **Carico variabile nel campo 1** per la *Descrizione della combinazione di carico*.

Sotto, nella lista *Casi di carico esistenti*, si faccia clic su **CC1**. Dopo, si utilizzerà il pulsante [▶] per trasferire il caso di carico alla lista *Casi di carico nella combinazione di carico OC1* alla sinistra. Si faccia lo stesso con **CC2** e **CC4**.

Nella scheda *Parametri di calcolo* si controlli se il *Metodo di analisi* è impostato secondo la *Analisi del secondo ordine* (vedere l'immagine successiva).

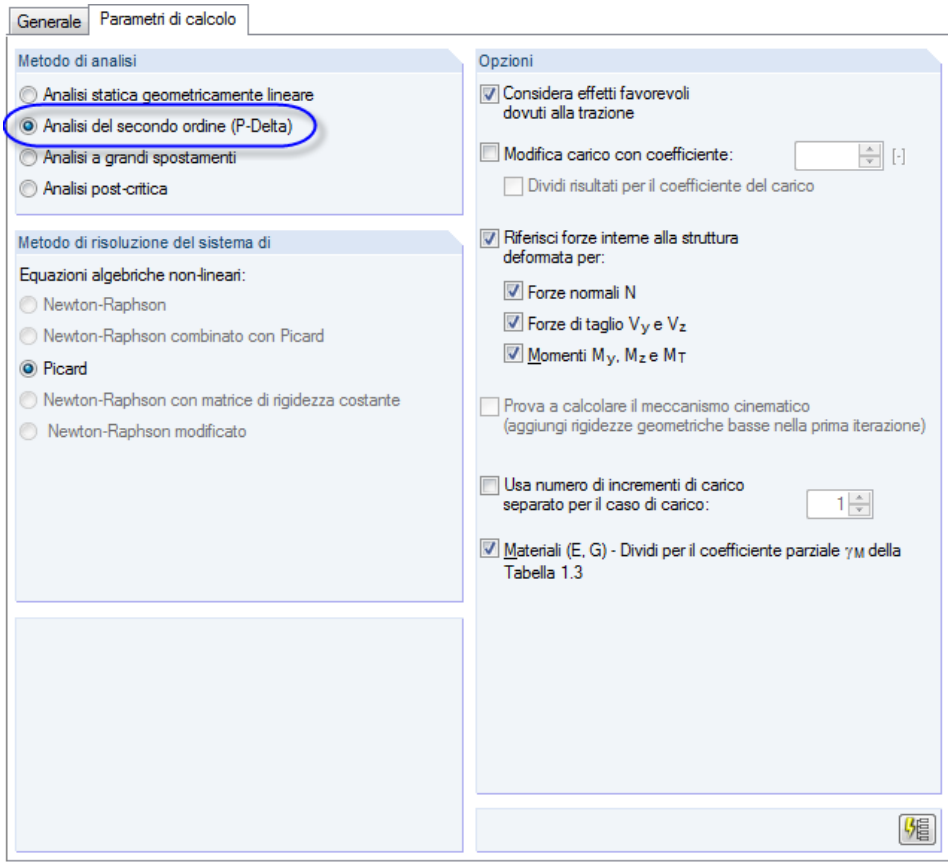


Figura 6.2: Scheda *Parametri di calcolo*

Dopo aver fatto clic si [OK] tutti i carichi contenuti nella combinazione di carico saranno visibili nel modello.

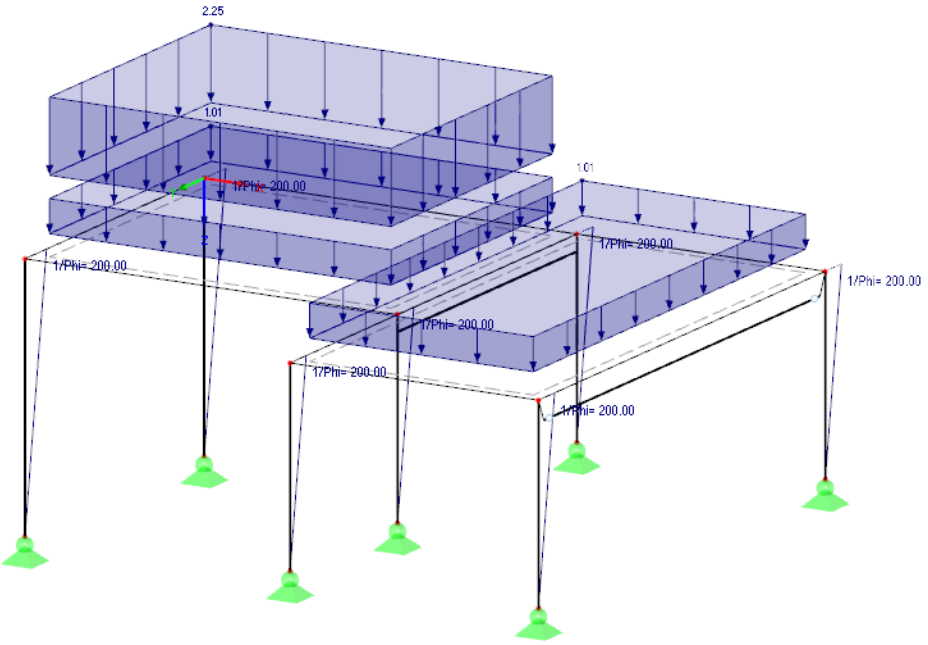
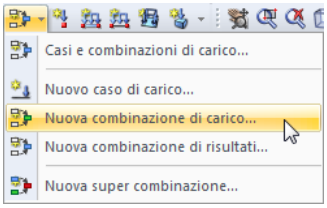


Figura 6.3: Carichi della combinazione di carico OC1

Successivamente, si potrà utilizzare la scheda dei *Parametri di calcolo* per controllare le specificazioni applicate da RFEM per il calcolo delle combinazioni di carico differenti.

Esempio introduttivo di RFEM © 2012 Dlubal Engineering Software



Creazione di OC2

Si creerà la seconda combinazione di carico allo stesso modo: Si creerà una [Nuova combinazione di carico], ma questa volta si inserirà un **Carico variabile nel campo 2** per la *Descrizione della combinazione di carico*.

I casi di carico che sono pertinenti per questa combinazione di carico sono **CC1** , **CC3** e **CC4.** Di nuovo, si utilizzerà il [▶] per selezionarli.

Creazione di OC3

Per creare l'ultima combinazione di carico, si proseguirà con una altra metodologia: Si faccia clic con il pulsante destro del mouse sull'ingresso del navigatore *Combinazioni di carico* e si selezioni l'ingresso *Nuova combinazione di carico* nel menu di scelta rapido.

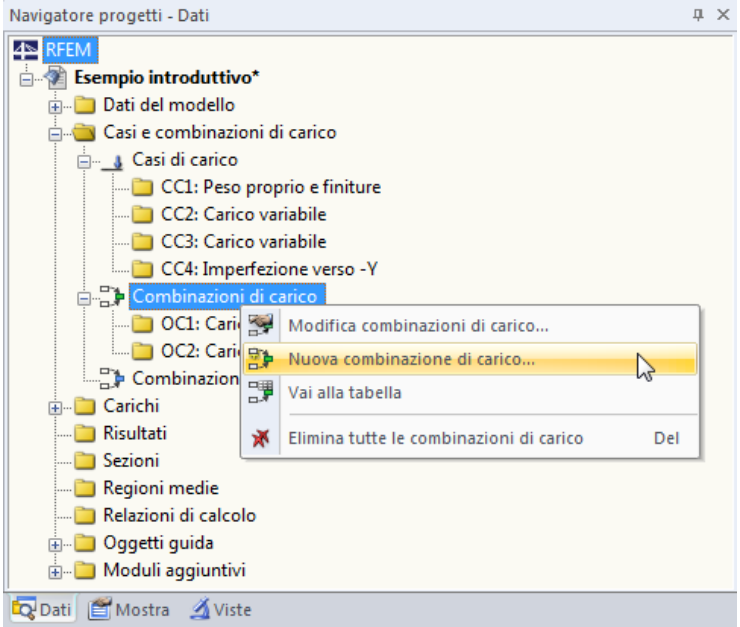


Figura 6.4: Creazione delle OC tramite il men ù di scelta rapido del navigatore

Si inserisca il **carico variabile** per la *Descrizione del caso di carico*. Con il pulsante [Aggiungi tutti i casi di carico] si possono trasferire tutti i quattro casi di carico insieme nell'elenco a destra.

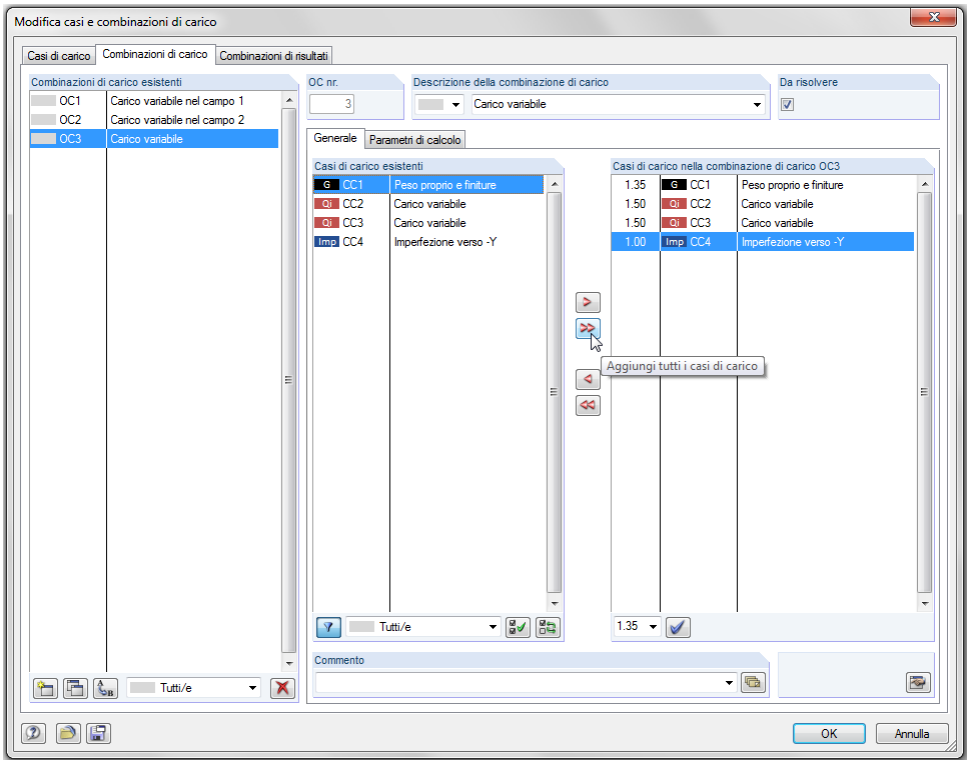
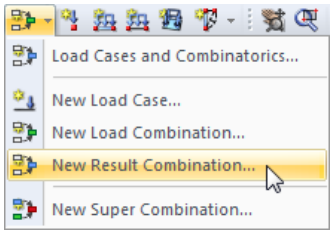


Figura 6.5: Finestra di dialogo *Modifica i casi di carico e combinatorica*, scheda *Casi di carico*

Poiché i casi di carico CC2 e CC3 sono assegnati al tipo di azione *Variabili*, essi si applicheranno insieme al coefficiente di sicurezza parziale 1,5. Nel caso di diverse categorie un caso di carico sarà quello avente una azione determinante l'altro sarà quello secondario con il fattore ridotto.

6.2 Creazione di combinazioni di risultati

Dai risultati delle combinazioni dell'albero di carichi, si creerà un inviluppo contenente valori estremi positivi e negativi.



Nel menù dei pulsanti in elenco [Casi di carico], si selezioni l'ingresso *Nuova combinazione di risultati*. Si vedrà la finestra di dialogo *Modifica casi di carichi e combinazioni* che già si conosce.

Esempio introduttivo di RFEM © 2012 Dlubal Engineering Software

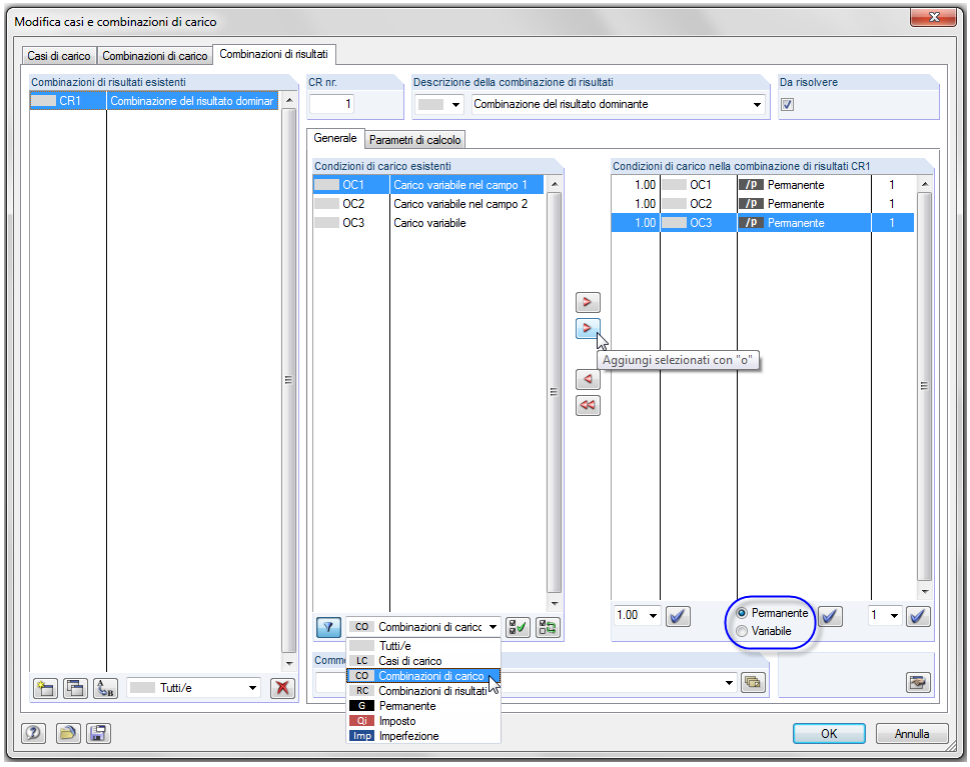


Figura 6.6: Finestra di dialogo *Modifica i casi di carico e combinatorica*, scheda *Casi di carico*

Si scelga **Combinazione del risultato dominante** dall'elenco *Descrizione della combinazione dei risultati*.

Per visualizzare le combinazioni di carico nella sezione del dialogo *Carichi esistenti*, si selezioni *Combinazioni di carico OC* dall'elenco sotto la tabella di carico sulla sinistra. Dopo, si selezionino tutte e tre le combinazioni di carico facendo clic sul pulsante [Seleziona tutti i carichi in elenco].

Il campo di selezione sotto la tabella di carico sulla destra indica il coefficiente di superposizione che è impostato a 1,00. Le impostazioni sono conformi alle nostre intenzioni per determinare i valori estremi di questa combinazione di carico. Si cambierà la regola di superposizione a **Permanente** cosicché RFEM prenda in considerazione almeno una delle azioni.

Si utilizzerà il pulsante [Aggiungi selezionati con 'o'] per trasferire le combinazioni di carico dell'albero all'elenco a destra. Il valore 1 sotto il pilastro finale informa che gli ingressi appartengono allo stesso gruppo. Non saranno considerati come aggiuntivi ma come agenti alternativamente.

Adesso, il criterio di superposizione è del tutto definito. Si faccia clic su [OK] e si salvi l'input con il pulsante [Salva].

7. Calcolo

7.1 Controllo dei dati di ingresso

Prima di calcolare la nostra struttura, si desidera che RFEM esegua il controllo dei dati. Per aprire la finestra di dialogo corrispondente,

si selezioni **Controllo di plausibilità** nel menù degli **Strumenti**.

La finestra di dialogo *Controllo di plausibilità* si aprirà lì dove si definiscono le seguenti impostazioni.

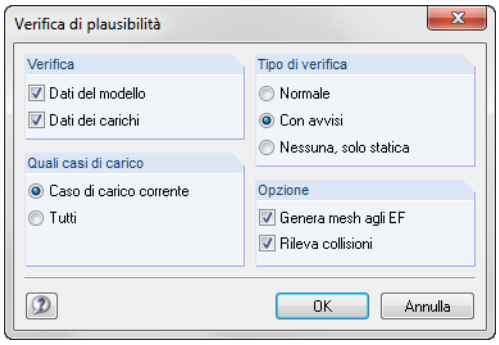


Figura 7.1: Finestra di dialogo *Controllo di plausibilità*

Se non è segnalato nessun errore dopo avere fatto click sul pulsante [OK], si visualizzerà il seguente messaggio. In aggiunta, si mostrerà un breve riepilogo dei dati strutturali e di carico.

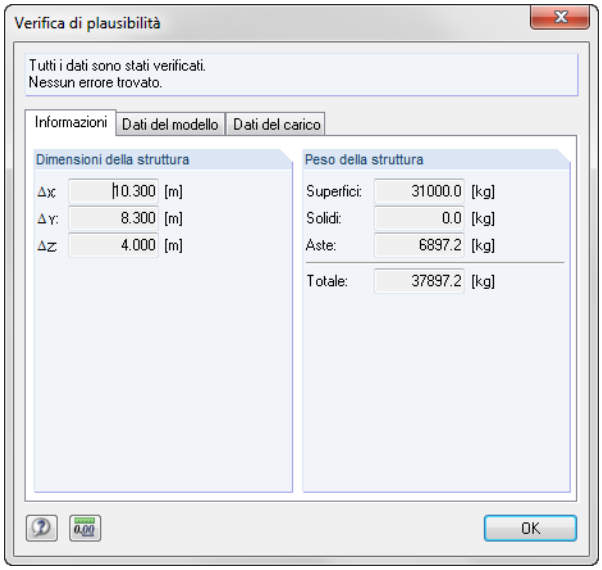


Figura 7.2: Risultato del controllo di plausibilità

Si troveranno più strumenti per il controllo dei dati selezionando il

Controllo della struttura nel menù degli **Strumenti**.

Esempio introduttivo di RFEM © 2012 Dlubal Engineering Software

7.2 Generare la mesh agli EF

Poiché è stata segnata l'opzione *Generazione della mesh agli EF* nella finestra di dialogo *Controllo della plausibilità* (vedere Figura 7.1), si genererò una mesh con una dimensione standard di 50 cm. (si può modificare la predisposizione della mesh selezionando le *Impostazioni della mesh agli EF* nel menù *Calcola*.)

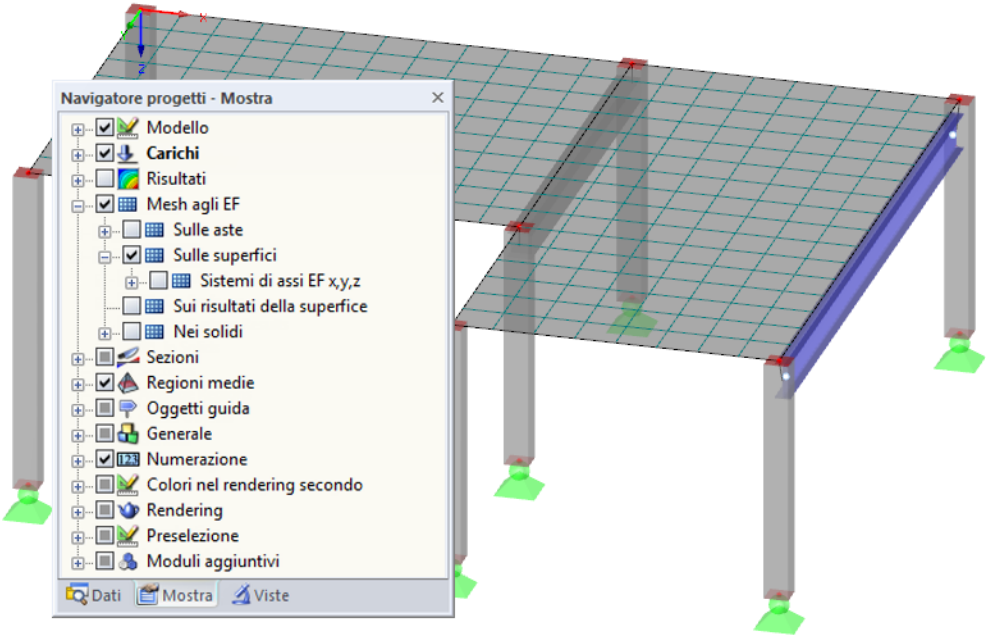


Figura 7.3: Modello con la mesh generata agli EF

7.3 Calcolo della struttura

Per avviare il calcolo,

si selezioni **Calcolare tutto** nel menù di **Calcolo**.

o si utilizzi il pulsante della barra degli strumenti mostrato sulla sinistra.

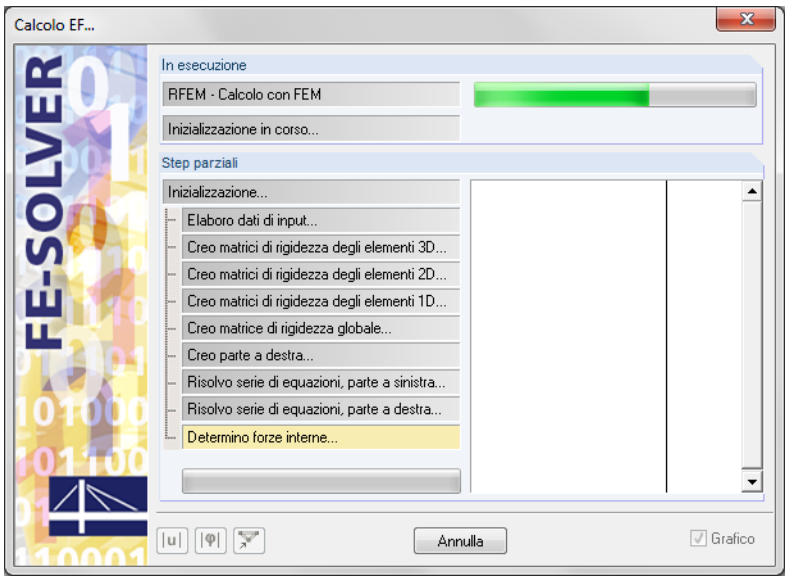


Figura 7.4: Processo di calcolo

8. Risultati

8.1 Risultati grafici

Non appena il calcolo sarà terminato, RFEM visualizzerà le inflessioni del caso di carico attualmente selezionato. L'impostazione dell'ultimo carico era CR1, così adesso saranno visibili i risultati minimi e massimi di questa combinazione di risultato.

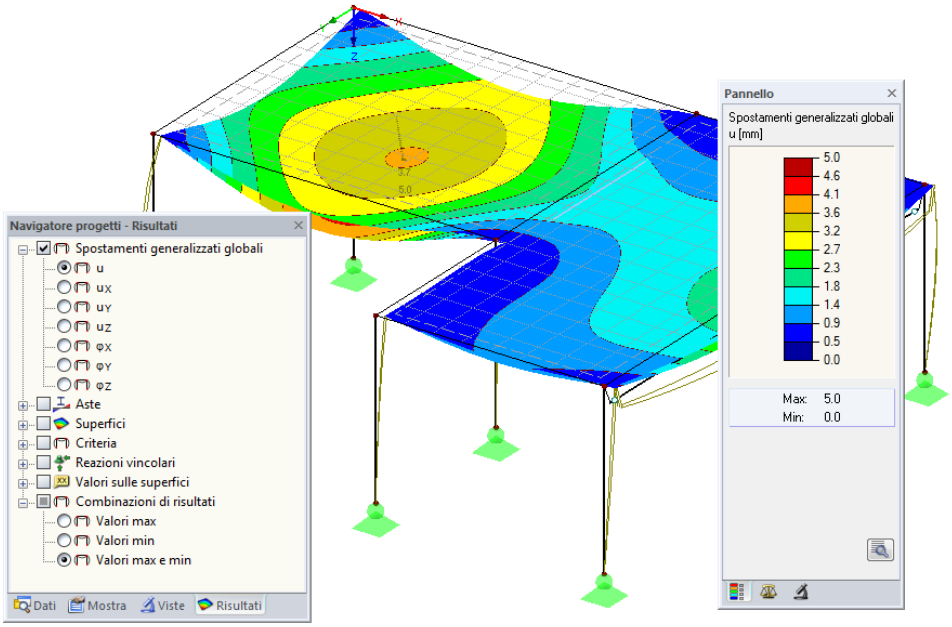


Figura 8.1: Grafico delle inflessioni max/min della combinazione di risultato CR1.

Selezione dei casi di carico e delle combinazioni di carico.

Si possono utilizzare i pulsanti della barra degli strumenti [◀] e [▶] (a destra dell'elenco dei casi di carico) per alternare i risultati dei casi di carico, combinazioni di carico e combinazioni dei risultati. Si conoscono già i pulsanti dal controllo dei casi di carico. È anche possibile selezionare i carichi nell'elenco.

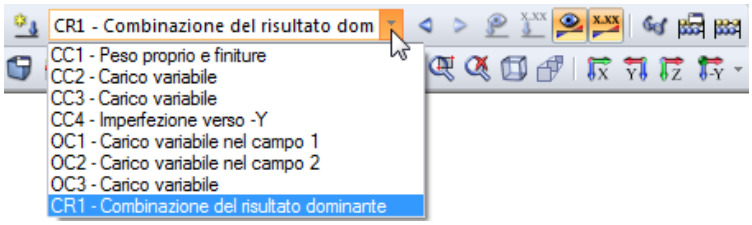


Figura 8.2: Elenco di casi di carico nella barra degli strumenti.

Selezione dei risultati nel navigatore

Apparirà un nuovo navigatore, che gestisce tutti i tipi di risultati per la visualizzazione grafica. Si potrà accedere al navigatore dei *Risultati* quando sarà attiva la visualizzazione dei risultati. Si potrà disattivare la visualizzazione dei risultati nel navigatore *Visualizza*, ma si potrà anche usare il pulsante della barra degli strumenti [Mostra risultati] mostrato sulla sinistra.

Le caselle di controllo precedenti le categorie individuali dei risultati (per esempio *Inflessioni globali*, *Superfici*, *Aste*, *Reazioni vincolari*) determinano quali inflessioni o forze interne si

Esempio introduttivo di RFEM © 2012 Dlubal Engineering Software

dovranno visualizzare. Di fronte agli ingressi contenuti nelle categorie sono visibili anche più caselle di controllo con le quali si possono impostare i risultati che si vogliono visualizzare.

Finalmente, si potranno sfogliare i singoli casi di carico e combinazioni di carico. Le varie categorie dei risultati permettono di visualizzare le inflessioni , le forze interne e le superfici, le sollecitazioni o le forze dei vincoli esterni.

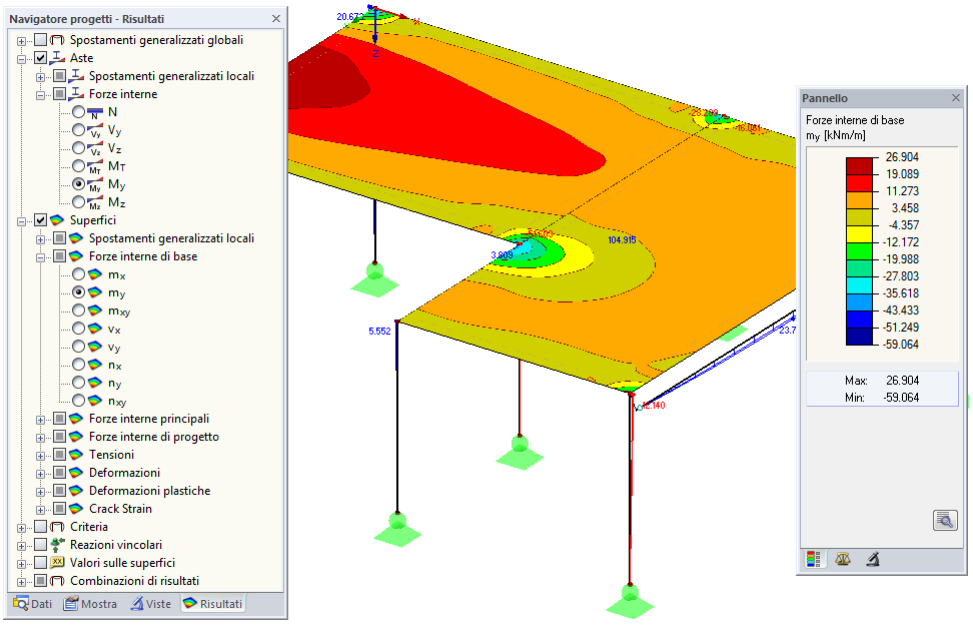
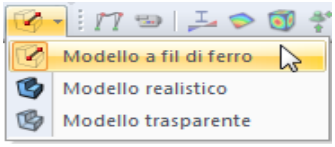


Figura 8.3: Impostazioni delle forze interne di aste e di superfici nel navigatore *Risultati*



Nella figura sopra, sono visibile le forze interne delle aste M_y e le forze interne di superficie m_y calcolate per la OC1. Per visualizzare le forze, si raccomanda di utilizzare il modello a fil di ferro. Si potrà impostare questa visualizzazione con il pulsante della barra degli strumenti mostrato a sinistra.

Visualizzazione di valori

La scala di colori nel pannello di controllo mostra l'intervallo di colore. Si può accedere ai valori dei risultati selezionando l'opzione **Valori sulle superfici** nel navigatore *Risultati*. Per visualizzare tutti i valori dei nodi della mesh agli EF o dei punti della griglia, si deve disattivare l'opzione *Valori estremi* aggiuntivi.

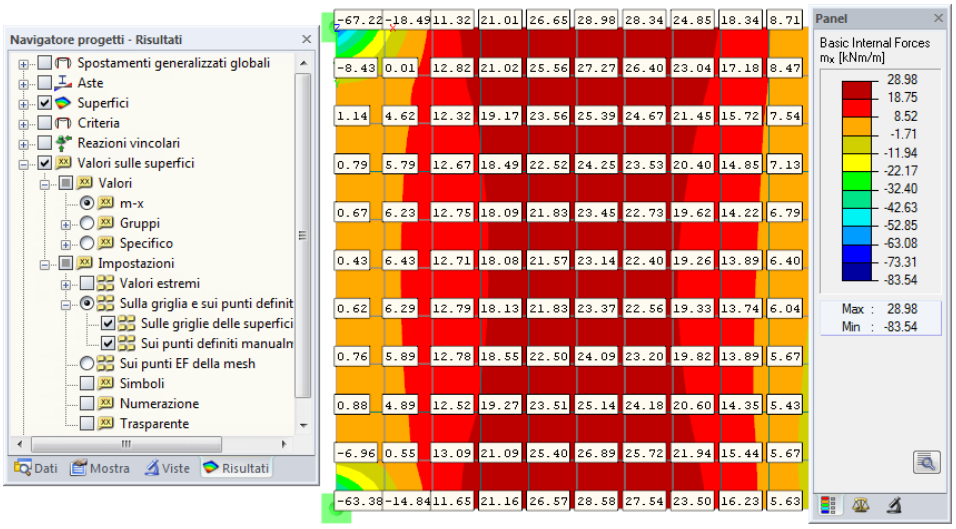
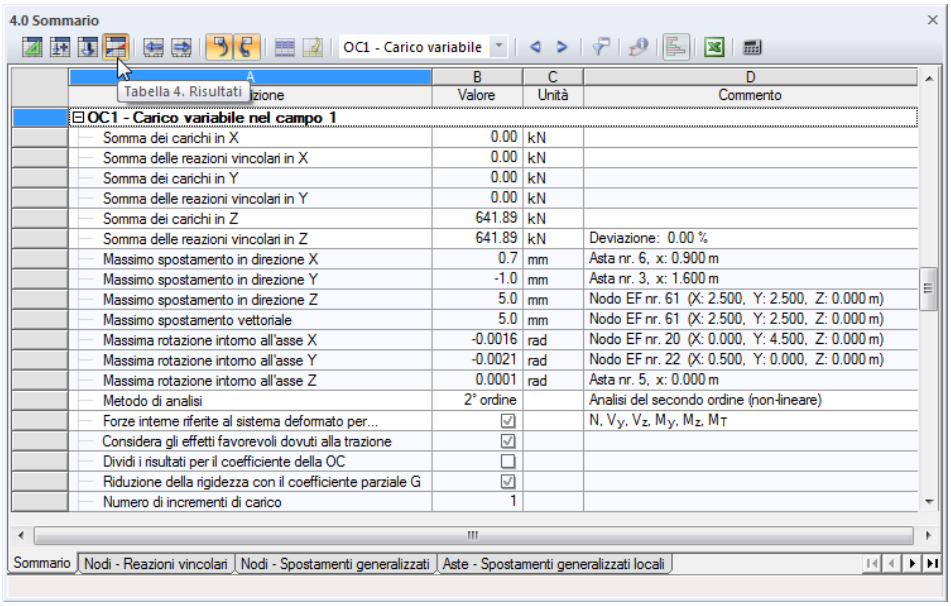


Figura 8.4: Momenti m_x del punto della griglia della soletta dell'impalcato nella vista Z (OC1)

8.2 Tabelle di risultati

Si possono valutare i risultati anche nelle tabelle.

Le tabelle dei risultati sono visualizzate automaticamente quando è avvenuto il calcolo della struttura. Come per l'input numerico si vedranno tabelle differenti con i risultati. La tabella 4.0 *Riepilogo* fornisce un riepilogo del processo di calcolo, ordinato per casi di carico e combinazioni.



4.0 Sommario

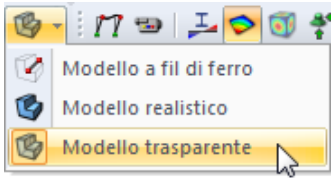
OC1 - Carico variabile

Tabella 4. Risultati

	A	B	C	D
	zione	Valore	Unità	Commento
	OC1 - Carico variabile nel campo 1			
	Somma dei carichi in X	0.00	kN	
	Somma delle reazioni vincolari in X	0.00	kN	
	Somma dei carichi in Y	0.00	kN	
	Somma delle reazioni vincolari in Y	0.00	kN	
	Somma dei carichi in Z	641.89	kN	
	Somma delle reazioni vincolari in Z	641.89	kN	Deviazione: 0.00 %
	Massimo spostamento in direzione X	0.7	mm	Asta nr. 6, x: 0.900 m
	Massimo spostamento in direzione Y	-1.0	mm	Asta nr. 3, x: 1.600 m
	Massimo spostamento in direzione Z	5.0	mm	Nodo EF nr. 61 (X: 2.500, Y: 2.500, Z: 0.000 m)
	Massimo spostamento vettoriale	5.0	mm	Nodo EF nr. 61 (X: 2.500, Y: 2.500, Z: 0.000 m)
	Massima rotazione intorno all'asse X	-0.0016	rad	Nodo EF nr. 20 (X: 0.000, Y: 4.500, Z: 0.000 m)
	Massima rotazione intorno all'asse Y	-0.0021	rad	Nodo EF nr. 22 (X: 0.500, Y: 0.000, Z: 0.000 m)
	Massima rotazione intorno all'asse Z	0.0001	rad	Asta nr. 5, x: 0.000 m
	Metodo di analisi	2° ordine		Analisi del secondo ordine (non-lineare)
	Forze interne riferite al sistema deformato per...	☑		N, V_y, V_z, M_y, M_z, M_T
	Considera gli effetti favorevoli dovuti alla trazione	☑		
	Dividi i risultati per il coefficiente della OC	☐		
	Riduzione della rigidezza con il coefficiente parziale G	☑		
	Numero di incrementi di carico	1		

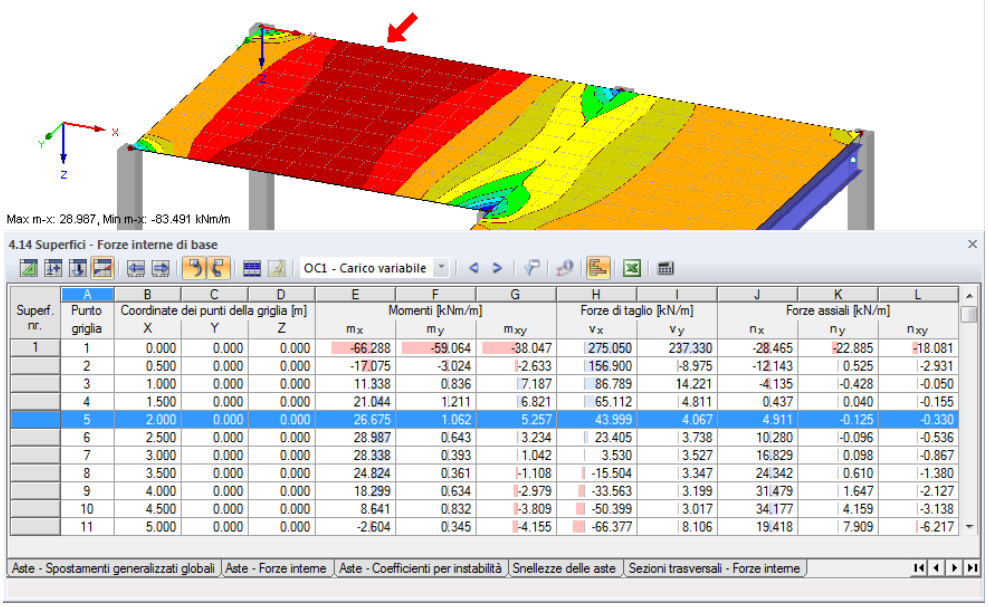
Sommario | Nodi - Reazioni vincolari | Nodi - Spostamenti generalizzati | Aste - Spostamenti generalizzati locali

Figura 8.5: Tabella 4.0 *Riepilogo*



Per selezionare le altre tabelle, si faccia clic sulle schede delle tabelle pertinenti. Per trovare dei risultati specifici nella tabella, per esempio le forze interne sulla superficie dell'impalcato 1, si punti la tabella 3.14 *Superfici - Forze interne di base*. Adesso si selezioni la superfice nella grafica (la rappresentazione trasparente del modello rende agevole la selezione) e si vedrà che RFEM andrà sulle forze interne di base della superfice nella tabella. Il punto attuale della griglia, il che significa la posizione del puntatore nella riga della tabella, è indicato da un freccia di segnalazione nella grafica.

Esempio introduttivo di RFEM © 2012 Dlubal Engineering Software



Superf. nr.	Punto griglia	Coordinate dei punti della griglia [m] X	Y	Z	Momenti [kNm/m] m_x	m_y	m_{xy}	Forze di taglio [kN/m] v_x	v_y	Forze assiali [kN/m] n_x	n_y	n_{xy}
1	1	0.000	0.000	0.000	-66.288	-59.064	-38.047	275.050	237.330	-28.465	-22.885	-18.081
	2	0.500	0.000	0.000	-17.075	-3.024	-2.633	156.900	-8.975	-12.143	0.525	-2.931
	3	1.000	0.000	0.000	11.338	0.836	7.187	86.789	14.221	-4.135	-0.428	-0.050
	4	1.500	0.000	0.000	21.044	1.211	6.821	65.112	4.811	0.437	0.040	-0.155
	5	2.000	0.000	0.000	26.675	1.062	5.257	43.999	4.067	4.911	-0.125	-0.330
	6	2.500	0.000	0.000	28.987	0.643	3.234	23.405	3.738	10.280	-0.096	-0.536
	7	3.000	0.000	0.000	28.338	0.393	1.042	3.530	3.527	16.829	0.098	-0.867
	8	3.500	0.000	0.000	24.824	0.361	-1.108	-15.504	3.347	24.342	0.610	-1.380
	9	4.000	0.000	0.000	18.299	0.634	-2.979	-33.563	3.199	31.479	1.647	-2.127
	10	4.500	0.000	0.000	8.641	0.832	-3.809	-50.399	3.017	34.177	4.159	-3.138
	11	5.000	0.000	0.000	-2.604	0.345	-4.155	-66.377	8.106	19.418	7.909	-6.217

Figura 8.6: Forze interne della superficie nella tabella 4.14 e segnalazione del punto attuale della griglia nel modello

Come per la funzione di esplorazione nella barra degli strumenti principale si possono utilizzare i pulsanti [◀] e [▶] per selezionare i casi di carico nella tabella. Si può utilizzar anche l'elenco nella barra degli strumenti della tabella per impostare un caso di carico particolare.

8.3 Filtrazione dei risultati

RFEM offre diverse metodologie e strumenti con i quali si possono rappresentare e valutare i risultati in panoramiche chiaramente strutturate. Si possono utilizzare questi strumenti per il nostro esempio.

8.3.1 Visibilità

Le viste parziale ed i ritagli possono essere utilizzate per le così dette *Visibilità*, in modo da poter valutare i risultati.

Visualizzazione dei risultati per i pilastri in calcestruzzo

Si faccia clic nella scheda *Viste* nel navigatore. Si segnino gli ingressi elencati sotto l'ingresso *Generato*:

- Aste ordinate per tipo: *Trave*
- Aste ordinate per sezione trasversale: *2 - Rettangolo 300/300*

In più, si creerà una intersezione di entrambe le opzioni con il pulsante [Mostra l'intersezione].

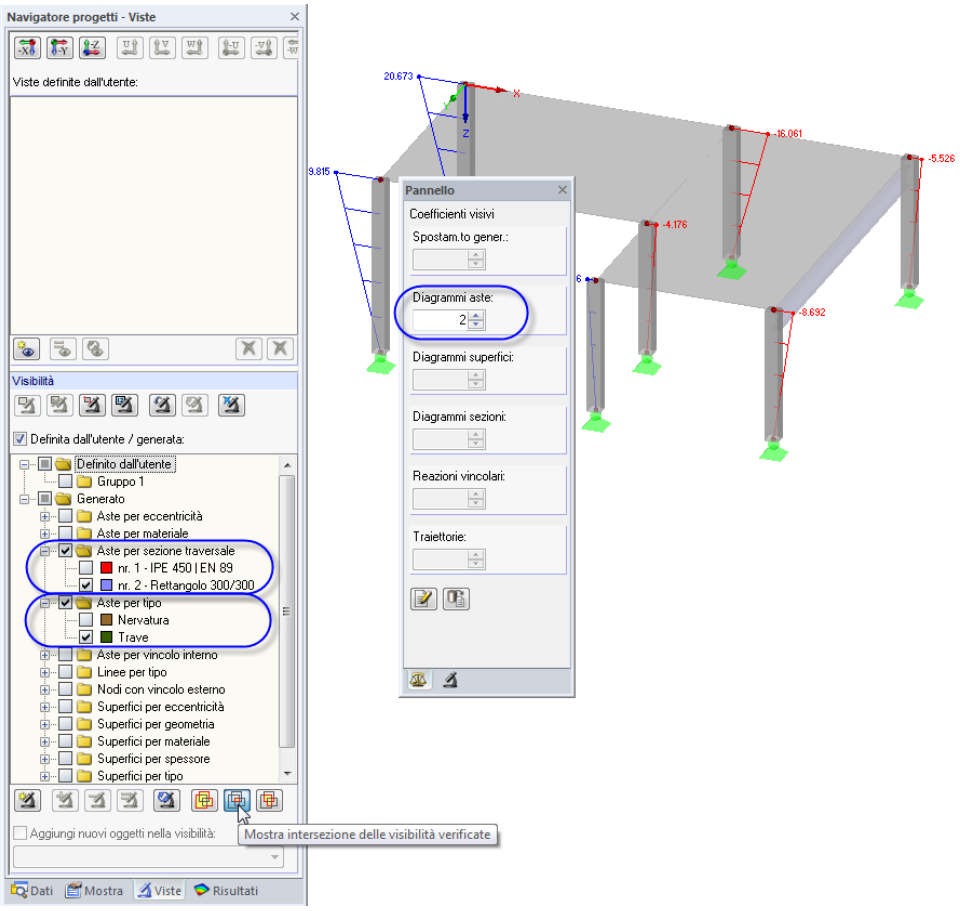


Figura 8.7: Momenti M_y dei pilastri di calcestruzzo nella rappresentazione in scala

Lo schermo mostrerà i pilastri di calcestruzzo includendo i risultati. Il modello che si crea sarà visualizzato solo leggermente e senza risultati.

Modifica dei fattori di scala

Per controllare il diagramma delle forze interne nel modello in rendering senza delle difficoltà, si metterà in scala la visualizzazione dei dati nella scheda di controllo del pannello. Si cambi il coefficiente per i *Diagrammi dell'asta* a **2** (vedere la figura sopra).

Visualizzazione dei risultati per la lastra dell'impalcato

Allo stesso modo, si possono filtrare i risultati nel navigatore della *Vista*. Si disattivino le opzioni *Aste per tipo* e *Aste per sezione trasversale* e si segni *Superfici per spessore* dove si selezionerà l'ingresso *200 mm*.

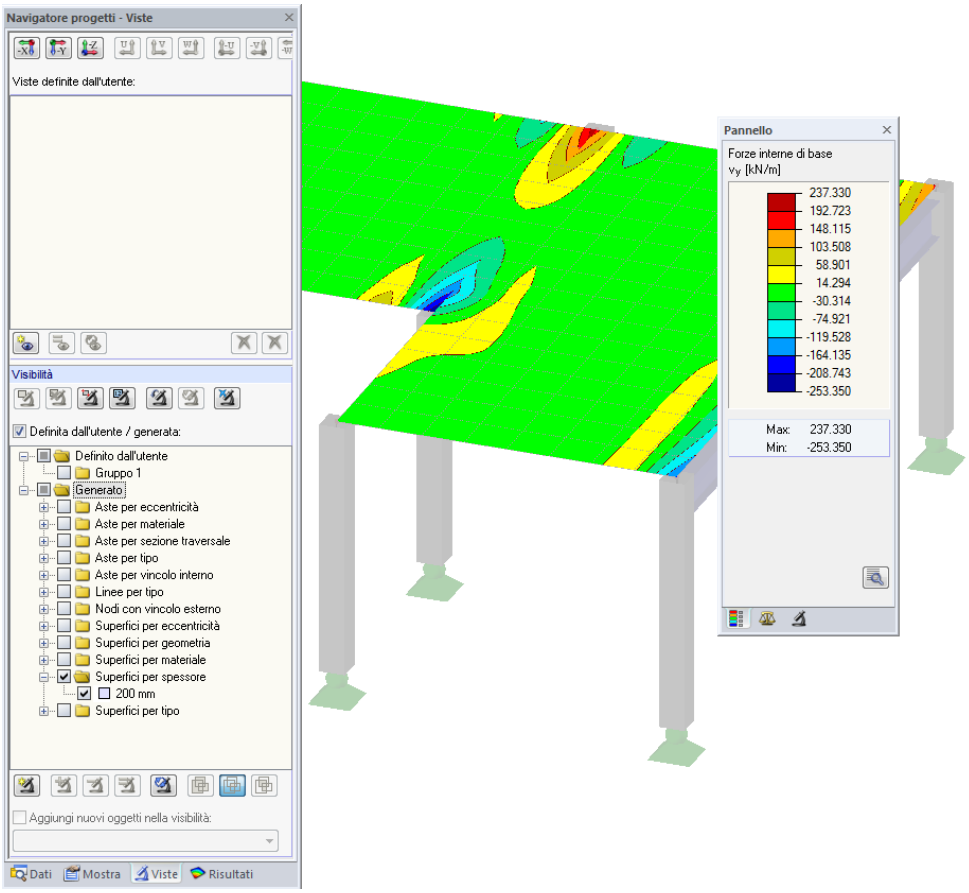


Figura 8.8: Inflessioni dell'impalcato

Come già è stato descritto, si cambierà la vista della visualizzazione dei tipi di risultato nel navigatore *Risultati* (vedere Figura 8.3, pagina 45). La figura sopra mostra la distribuzione delle forze di taglio v_y.

8.3.2 Risultati sugli oggetti

Un'altra possibilità per filtrare i risultati è quella di utilizzare la scheda del filtro nel pannello di controllo dove si possono specificare i numeri di aste particolari per visualizzare esclusivamente i loro risultati. In contrasto alla funzione della visibilità, il modello sarà visualizzato completamente nella grafica.

All'inizio, si disattiverà l'opzione *Definito dall'utente/generato* nel navigatore *Viste*.

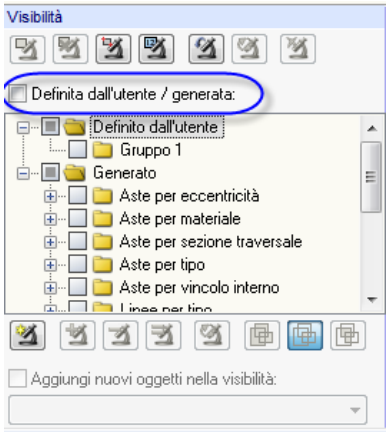


Figura 8.9: Ripristino della visualizzazione complessiva nel navigatore *Viste*

Si selezioni la superfice 1 con un clic. Dopo, nel pannello, si cambi la scheda di filtrazione e si controlli se il campo di selezione *Superfici* è attivo.

Si faccia clic sul pulsante [Importa dalla Selezione] e si vedrà che il numero della superficie selezionata è stato inserito nel campo di ingresso sopra. Adesso, la grafica mostrerà solo i risultati della superfice a sinistra.

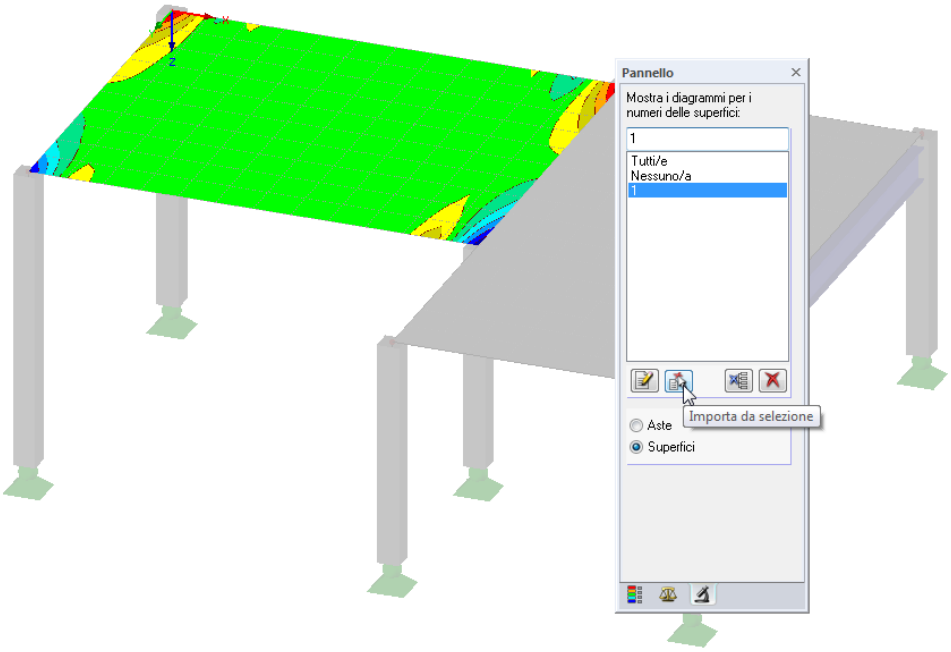
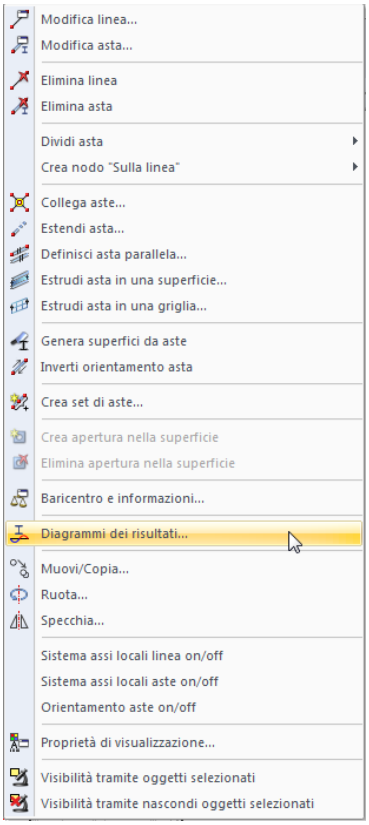


Figura 8.10: Diagramma della forza di taglio della superficie a sinistra.

Si potrà ripristinare la visualizzazione complessiva applicando l'opzione del pannello *Tutto*.

8.4 Visualizzazione dei diagrammi di risultati



Menù di scelta rapido *Asta*

Si possono valutare anche i risultati in un diagramma disponibile per linee, aste vincoli esterni di linea e sezioni trasversali. Adesso, si utilizzi la funzione per vedere il diagramma del risultato della trave a T.

Si faccia clic con il pulsante destro del mouse sull'asta *2* (se accadessero degli imprevisti, si potranno disattivare i risultati di superficie) e si selezioni l'opzione *Diagrammi di risultati*.

Si aprirà una nuova finestra che visualizzai diagrammi dei risultati dell'asta con nervature.

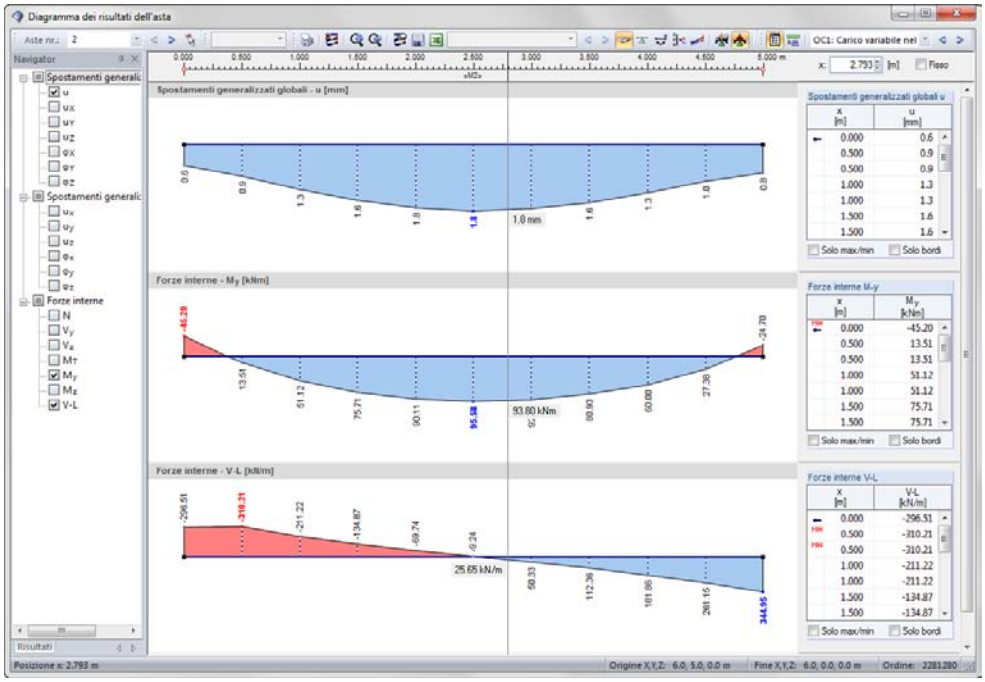


Figura 8.11: Visualizzazione dei diagrammi di risultati della trave emergente con la sporgenza verso il basso.

Nel navigatore, si faccia clic sulle caselle di controllo per le inflessioni globali *u* e le forze interne M_y e *V-l*. L'ultima opzione rappresenta la forza di taglio longitudinale tra la superficie e l'asta. Queste forze sono visualizzate quando il pulsante [Risultati con componenti di nervature] è attivo nella barra degli strumenti. Quando si farà clic sul pulsante per attivarlo e disattivarlo, sarà possibile vedere chiaramente la differenza tra le forze interne pure dell'asta e le forze interne di nervatura assieme ai componenti integrati dalle superfici.

Per modificare la dimensione dei diagrammi di risultato visualizzati, si utilizzeranno i pulsanti [+] e [-].

I pulsanti [◀] e [▶] per la selezione dei casi di carico sono anche disponibili nella finestra del diagramma di risultati. Ma si potrà anche utilizzare l'elenco per impostare i risultati del caso di carico.

Si chiuderà la funzione *Diagrammi dei risultati* chiudendo la finestra.

9. Documentazione

9.1 Creazione della relazione di calcolo

In generale, non si consiglia l'invio di risultati complessivi di un calcolo agli EF direttamente alla stampante. Perciò, RFEM genera un anteprima di stampa iniziale, che è denominata relazione di calcolo, che contiene gli ingressi e i dati dei risultati. Si userà la relazione di calcolo per determinare quei dati che si vorranno includere nella relazione. Per di più, si possono aggiungere delle grafiche, descrizioni o digitalizzazioni.

Per aprire la relazione di calcolo,

si selezionerà **Apri la relazione di calcolo** nel menù **File**.

o si utilizzerà il pulsante della barra degli strumenti mostrato sulla sinistra. Si aprirà una finestra di dialogo dove si potrà specificare un *Modello* come esempio di una nuova relazione di calcolo.

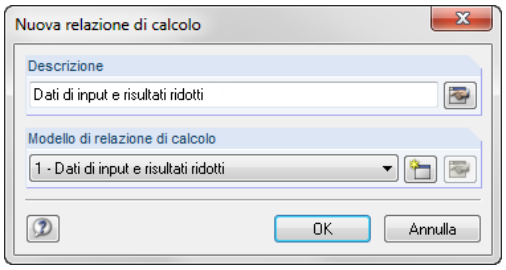


Figura 9.1: Finestra di dialogo *Nuova relazione di calcolo*

Si assumerà il modello 1 - *Dati di input e risultati ridotti* e si genererà l'anteprima di stampa con il pulsante [OK].

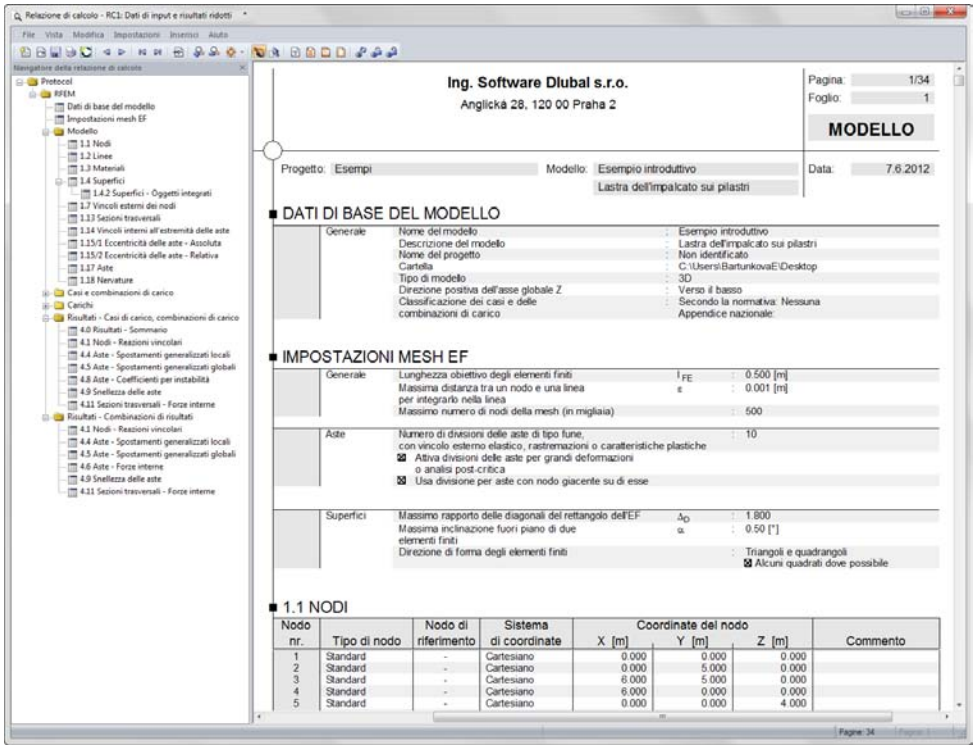


Figura 9.2: Stampa dell'anteprima nella relazione di calcolo

Esempio introduttivo di RFEM © 2012 Dlubal Engineering Software

9.2 Modificando la relazione di calcolo

Anche la relazione di calcolo ha un navigatore, che elenca i capitoli selezionati. Facendo clic con il tasto destro del mouse su un ingresso del navigatore, si potranno vedere i contenuti nella finestra alla destra.

I contenuti predisposti possono essere specificati in dettaglio. Adesso, si modifichi l'output delle forze interne dell'asta. Nel capitolo *Risultati - combinazioni dei risultati*, si faccia clic con il tato destro del mouse su *Aste - Forze interne*, e dopo si faccia clic su *Selezione*.

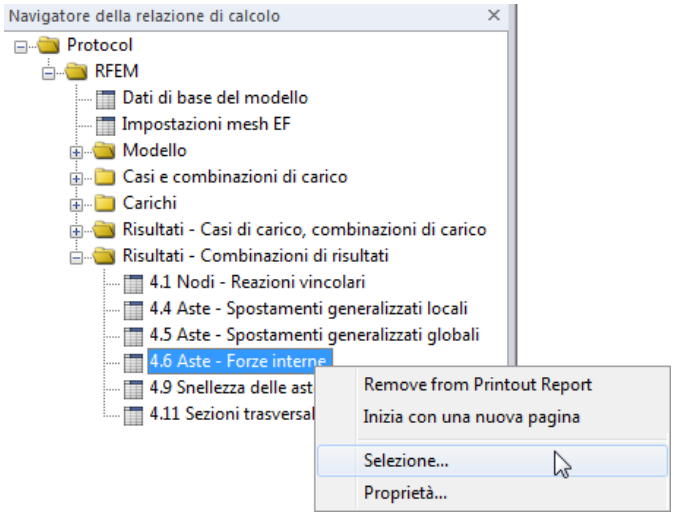


Figura 9.3: Menù di scelta rapida *Aste - Forze interne*

Si aprirà una finestra di dialogo, che offre una selezione dettagliata delle opzioni per i risultati della CR delle aste.

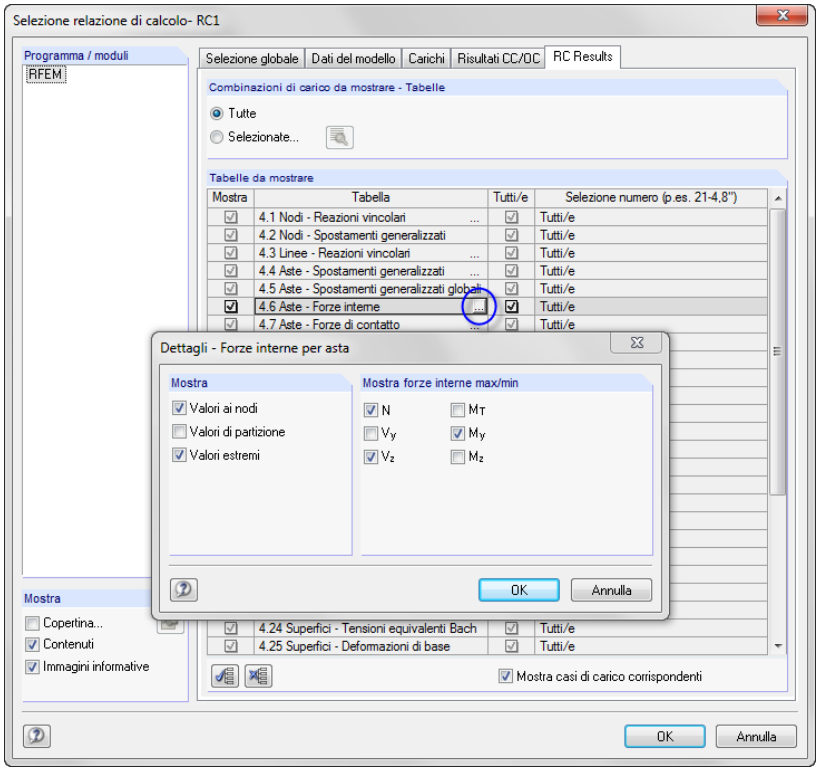


Figura 9.4: Riduzione dell'output delle forze interne ai sensi della *Selezione relazione di calcolo*

Si posizioni il puntatore nella cella della tabella *4.6 Aste - Forze interne*. Il pulsante [...] diventerà attivo, aprendo una finestra di dialogo *Dettagli - Forze interne dalle aste*. Adesso, si riduca l'output dei **Valori estremi** delle forze interne delle aste **N** $\mathbf{V_z}$ e $\mathbf{M_y}$.

Dopo avere confermato la finestra di dialogo, si vedrà che la tabella delle forze interne è stata aggiornata nella relazione di calcolo. Si potranno modificare i capitoli restanti della relazione di calcolo allo stesso modo.

Per cambiare la posizione di un capitolo all'interno della relazione di calcolo, lo si sposti in una nuova posizione utilizzando la funzione di Drag and Drop. Quando si vorrà eliminare un capitolo, si utilizzi il menù di scelta rapido (vedere Figura 9.3) o il tasto [Canc] sulla tastiera.

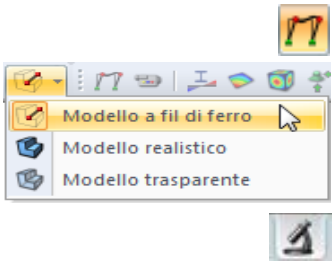
9.3 Inserimento di grafiche nella relazione di calcolo

Spesso, si inseriscono delle immagini grafiche nella relazione di calcolo per illustrare la documentazione.

Stampa di immagini grafiche inserite in modo errato

Si minimalizzi la relazione di calcolo con il pulsante [_] e si ritorni nella finestra di lavoro. Adesso la relazione di calcolo è visualizzata come una applicazione indipendente nella barra delle applicazioni.

Nella finestra di lavoro, si imposti la *Inflessione* di **OC1 - Carico variabile nel campo 1** e si inserisca la grafica in una posizione appropriata.



Poiché le inflessioni possono essere visualizzate più chiaramente nella *Visualizzazione del modello a fil di ferro*, si imposti la visualizzazione corrispondente nella opzione visualizza.

Se non è già impostata , si potrà cambiare la visualizzazione a *Tutte* le superfici nella scheda di filtro del pannello (vedere Figura 8.10, pagina 50).

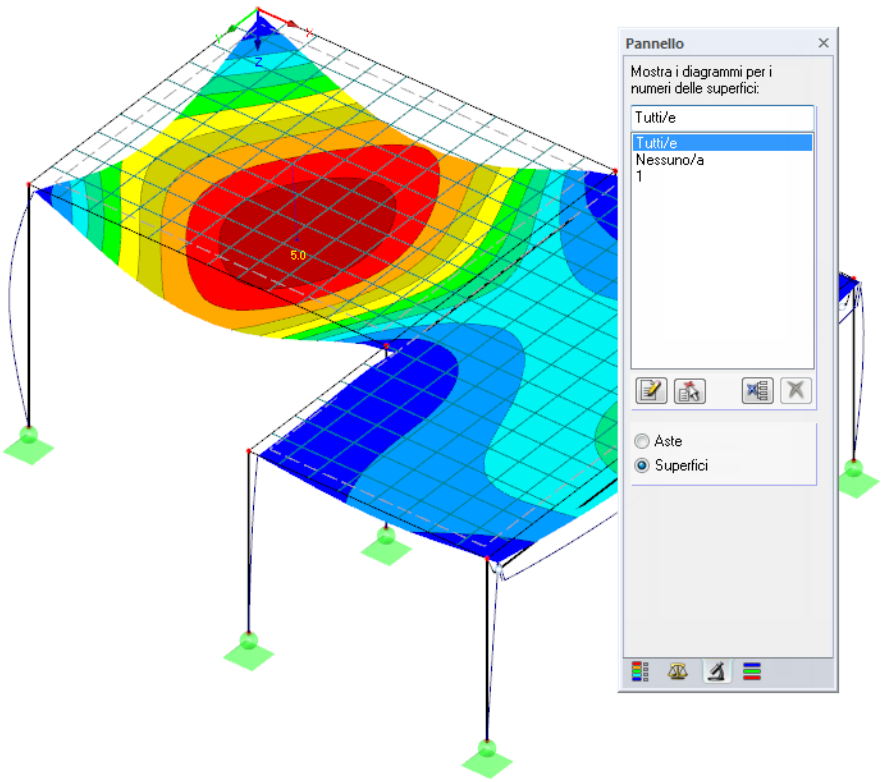


Figura 9.5: Cedimenti di OC1

Esempio introduttivo di RFEM © 2012 Dlubal Engineering Software

Adesso, si trasferisca questa rappresentazione grafica nella relazione di calcolo.

Si selezioni la**Stampa di immagini grafiche** nel menù del **File**.

o si utilizzi il pulsante della barra degli strumenti mostrato sulla sinistra.

Si impostino i seguenti parametri di input nella finestra di dialogo *Stampa di immagini grafiche*. Non è necessario cambiare le impostazione predefinite nelle schede *Opzioni* e *Spettro di colori*.

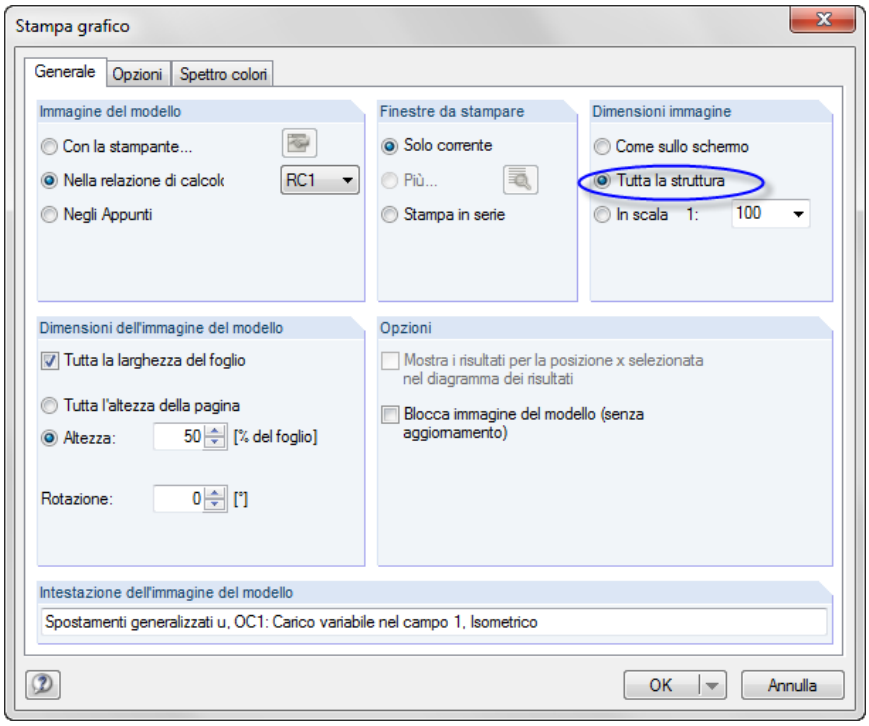


Figura 9.6: Finestra di dialogo *Stampa di immagini grafiche*

Si faccia clic su [OK] per stampare l'irregolarità grafica nella relazione di calcolo. Apparirà l'immagine grafica alla fine del capitolo *Risultati, - Casi di carico, combinazioni di carico* (se la relazione di calcolo non apparirà automaticamente, allora la si massimizzi nella barra delle applicazioni).

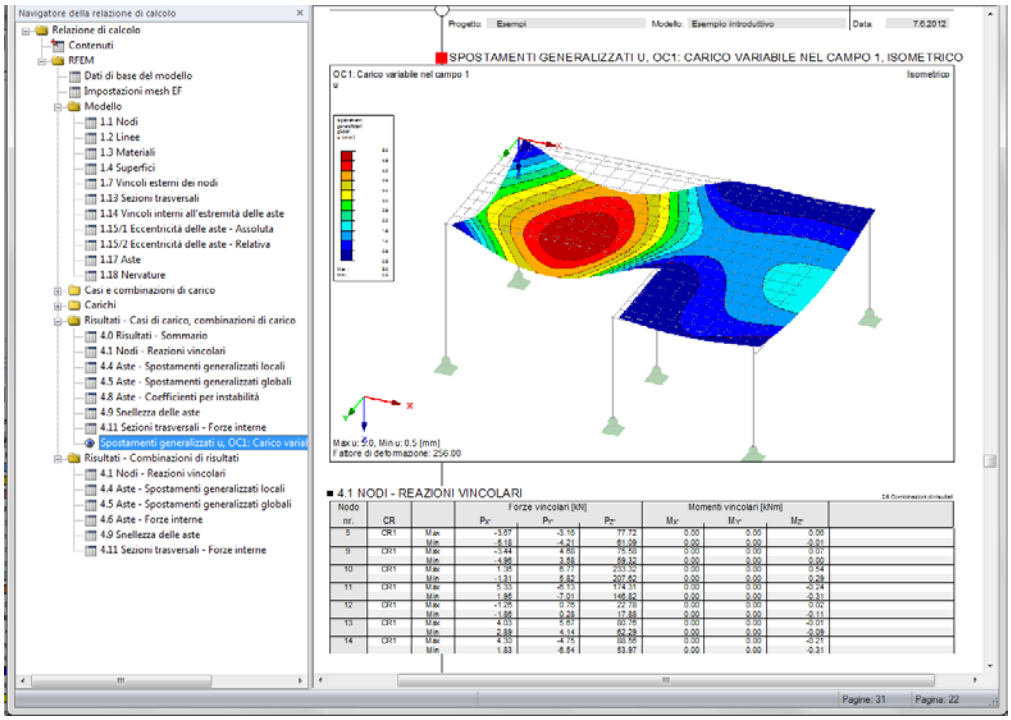


Figura 9.7: Irregolarità di immagini grafiche nella relazione di calcolo

Stampa della relazione di calcolo

Quando la relazione di calcolo è completamente preparata, la si potrà inviare alla stampante utilizzando il pulsante [Stampa].

La periferica di stampa PDF integrata in RFEM permette di creare un file in formato PDF. Per attivare questa funzione,

si selezioni **Esportare a PDF** nel menù del **File**.

Nella finestra di dialogo di Windows *Salva con nome*, si inserisca il nome del file e la cartella di archiviazione.

Facendo clic sul pulsante [Salva] si creerà un file in formato PDF con il segnalibro che facilita la navigazione tra i documenti in formato digitale.

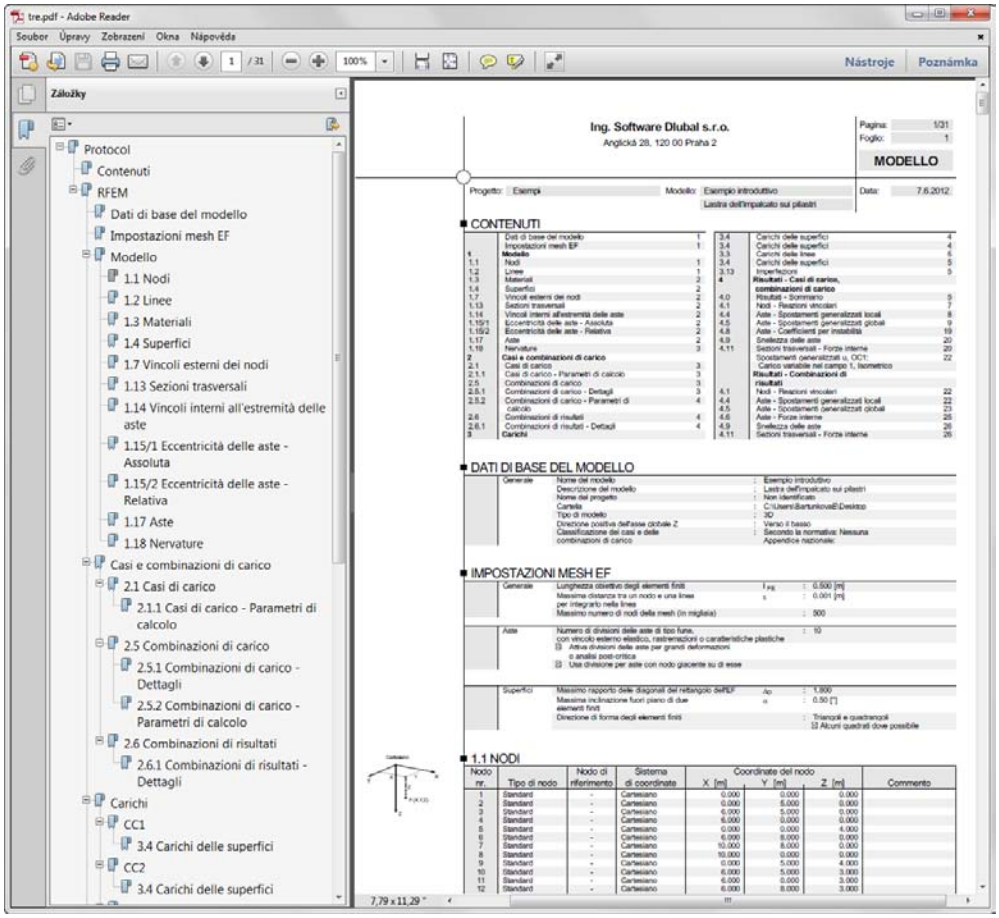


Figura 9.8: Relazione di calcolo come file in formato PDF con segnalibri

10. Outlook

Adesso, siamo alla fine dell'esempio introduttivo. Ci si augura, che questa breve introduzione aiuti ad utilizzare il programma RFEM e incuriosisca il lettore a scoprire le altre funzionalità del programma. Si troverà una descrizione dettagliata del programma nel manuale di RFEM disponibile come un file da scaricare dal nostro sito Web www.dlubal.com/downloading-manuals.aspx. Nella pagina del sito inoltre vi è un esempio di esercizio che descrive altre funzioni del programma.

Con il menù **Aiuto** o con il tasto [F1] è possibile richiamare il sistema di aiuto online del programma, dove è possibile eseguire una ricerca di alcuni termini particolari (come nel manuale). Il sistema di aiuto è fondamentalmente simile a quello del programma di RFEM.

Finalmente, se si desidera inviare dei messaggi , Vi invitiamo ad inviarli tramite fax (il costo del fax è a carico della compagnia, oppure di consultare le FAQ nella pagina www.dlubal.com.

Osservazione: Questo esempio si può es eguire nella versione Demo dei moduli aggiuntivi, per esempio in progetti di acciaio e di calcestruzzo armato (RF-STEEL Aste, RF-CONCRETE Superfici/ Aste, RF-STABILITY ecc.). Per essere conforme alla restrizioni Demo del programma, si consiglia di rimpiazzare gli oggetti: Per esempio in RF-STEEL CE3, si può sostituire la trave con una sezione trasversale IPE 300. In questo modo, sarà possibile eseguire il progetto, ricevendo una panoramica della funzionalità dei moduli aggiuntivi. In seguito, si potranno valutare i risultati del progetto nella finestra di lavoro di RFEM.

Esempio introduttivo di RFEM © 2012 Dlubal Engineering Software