Dlubal

Versione
Agosto 2014

Programma

RFEM 5

Strutture spaziali calcolate secondo il metodo degli elementi finiti

Tutorial

Tutti i diritti, compresi quelli di traduzione, sono riservati.

Nessuna parte di questo manuale può essere riprodotto - meccanicamente, elettronicamente, o in ogni altro modo, incluse fotocopie - senza il permesso di DLUBAL SOFTWARE GMBH.

© Dlubal Software GmbH
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.it

Indice

	Indice	Pagina
1.	**Introduzione**	**5**
2.	**Sistema e carichi**	**6**
2.1	Schema del sistema	6
2.2	Materiali, spessore e sezioni trasversali	6
2.3	Carico	7
3.	**Creazione del modello**	**8**
3.1	Avvio di RFEM	8
3.2	Creazione del file del modello	8
4.	**Dati del modello**	**10**
4.1	Regolazione del piano di lavoro e della griglia	10
4.2	Creazione di superfici	12
4.2.1	Impalcato	12
4.2.1.1	Definizione della superficie rettangolare	12
4.2.1.2	Creazione dell'arco	15
4.2.1.3	Regolazione della superficie dell'impalcato	16
4.2.2	Parete	17
4.2.3	Aperture	20
4.2.3.1	Creazione di un'apertura	20
4.2.3.2	Regolazione dell'apertura	21
4.3	Creazione di aste in calcestruzzo	22
4.3.1	Colonne	22
4.3.2	Nervatura	25
4.4	Definizione dei vincoli esterni	29
4.4.1	Vincoli esterni dei nodi	29
4.4.2	Vincoli esterni della linea	31
4.5	Creazione delle aste di acciaio	32
4.5.1	Telaio	32
4.5.1.1	Definizione di aste continue	33
4.5.1.2	Stira travi orizzontali	35
4.5.1.3	Vincoli interni delle travi	36
4.5.1.4	Inverti orientamento asta	37
4.5.1.5	Copia del telaio	38
4.5.2	Arcarecci	39
4.5.2.1	Definizione delle aste	39
4.5.2.2	Collegamento delle aste con eccentricità	41
4.5.3	Diagonale	43
4.5.3.1	Definizione dell'asta	43
4.5.3.2	Rotazione dell'asta	44
4.6	Controllo degli input	46
5.	**Carichi**	**47**
5.1	Caso di carico 1: peso proprio	47
5.1.1	Peso proprio	48
5.1.2	Struttura dell'impalcato	48
5.1.3	Pressione del terreno	49
5.1.4	Carico della copertura	50
5.2	Caso di carico 2: sovraccarichi	52
5.2.1	Impalcato	53
5.2.2	Bordo dell'apertura	54
5.3	Caso di carico 3: neve	55
5.3.1	Copertura	55
5.3.2	Impalcato	56
5.4	Caso di carico 4: vento	58
5.4.1	Carichi della costruzione in acciaio	58
5.4.2	Carichi della colonna	59
5.5	Caso di carico 5: imperfezione	62
5.5.1	Colonne in acciaio	63
5.5.2	Colonne di calcestruzzo	64
5.6	Verifica dei casi di carico	65
6.	**Combinazioni di azioni**	**66**
6.1	Verifica delle azioni	66
6.2	Definizione delle espressioni di combinazione	67
6.3	Creazione delle combinazioni di azioni	70
6.4	Creazione delle combinazioni di carico	70
6.5	Verifica delle combinazioni di risultati	73
7.	**Calcolo**	**74**
7.1	Verifica dei dati di input	74
7.2	Generazione della mesh agli EF	75

Indice

	Indice	Pagina
7.3	Calcolo del modello	77
8.	**Risultati**	**78**
8.1	Risultati grafici	78
8.2	Tabelle dei risultati	81
8.3	Filtro dei risultati	83
8.3.1	Visibilità	83
8.3.2	Risultati sugli oggetti	86
8.3.3	Intervallo di valori	88
8.4	Visualizzazione dei diagrammi dei risultati	90
8.5	Creazione della sezione	91
9.	**Documentazione**	**94**
9.1	Creazione della relazione di calcolo	94
9.2	Modifica della relazione di calcolo	95
9.3	Inserimento di grafici nella relazione di calcolo	97
10.	**Conclusioni**	**103**

1. Introduzione

Lo scopo di questo tutorial è quello di far conoscere all'utente le diverse funzionalità di RFEM. Esistono spesso diverse strade per raggiungere un obiettivo. A seconda della situazione e delle preferenze, potrebbero essere utili diversi metodi. Al fine d'imparare di più sulle possibilità del programma si invita a sperimentare il software. Con questo esempio si incoraggia a scoprire le funzioni utili di RFEM.

L'esempio successivo rappresenta una costruzione mista costituita da calcestruzzo e da elementi di acciaio. Si vuole calcolare il modello per i casi di carico peso proprio, sovraccarico, neve, vento e imperfezioni secondo l'analisi statica lineare e non lineare del secondo ordine.

È possibile introdurre, calcolare e valutare l'esempio di questo tutorial anche con le restrizioni della versione demo - massimo 2 superfici e 12 aste. Pertanto, il modello incontra le richieste delle progettazioni di costruzioni realistiche solo fino ad un certo punto. Con le funzionalità presentate si vuole soltanto visualizzare come sia possibile definire il modello e gli oggetti di carico in diversi modi.

Siccome le combinazioni di azioni secondo l'EN 1990 richiedono un considerevole ammontare di tempo e di sforzo, si userà il generatore per le combinazioni di carico già integrato in RFEM 5.

Con la versione trial di 30 giorni, è possibile lavorare sul modello senza alcuna restrizione. Dopo tal periodo, verrà applicata la versione demo e quindi il salvataggio dei dati non sarà più possibile. In quel caso, sarà necessario ritagliarsi un tempo sufficiente (approssimatamene due o tre ore) per l'immissione dei dati e provare le funzioni. È possibile anche interrompere il proprio lavoro sul modello nella versione demo purché RFEM non venga chiuso: quando si fa una pausa, non arrestare il sistema ma usare la modalità standby.

È più facile inserire i dati usando due schermi, oppure si può stampare il tutorial per evitare di passare continuamente dal file in PDF all'input di RFEM.

Il testo del manuale mostra i **pulsanti** descritti in parentesi quadre, per esempio [Applica]. Questi pulsanti sono raffigurati simultaneamente a sinistra. Inoltre, le **espressioni** usate nelle finestre di dialogo, nelle tabelle e nei menu sono in *corsivo* per chiarire le spiegazioni. Gli input richiesti sono scritti in **grassetto**.

È possibile ricercare la descrizione delle funzioni del programma nel manuale RFEM che si può scaricare dal sito **http://www.dlubal.it/downloading-manuals.aspx**.

2. Sistema e carichi

2.1 Schema del sistema

L'esempio rappresenta una struttura in calcestruzzo armato a cui è collegata una costruzione in acciaio.

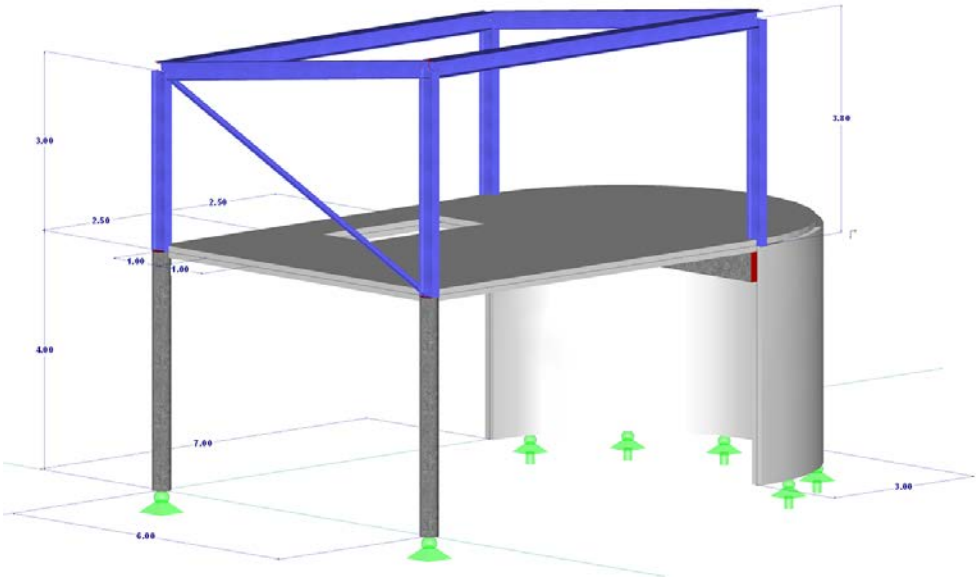


Figura 2.1 Sistema strutturale

La struttura di calcestruzzo armato è una sottostruttura consistente di un impalcato con una trave emergente, un guscio semicircolare e due colonne circolari. Il sistema strutturale è edificato parzialmente nel terreno.

L'intelaiatura in acciaio è una costruzione a tetto monofalda irrigidita con una diagonale.

Come menzionato precedentemente, il modello rappresenta una struttura piuttosto "astratta" che può essere progettata anche con la versione demo le cui funzioni sono limitate ad un massimo di due superfici e dodici aste.

2.2 Materiali, spessore e sezioni trasversali

Si useranno come materiali il calcestruzzo C30/37 e l'acciaio S 235.

Lo spessore delle pareti e degli impalcati è di 20 cm ciascuno. Entrambe le colonne di calcestruzzo hanno un diametro di 30 cm. La trave ha una larghezza di 25 cm e un'altezza di 40 cm.

Si useranno sezioni trasversali HE-A 300 per le intelaiature in acciaio destra e sinistra della struttura a tetto monofalda. Entrambi gli arcarecci sono definiti con sezioni trasversali HE-B 260. La controventatura diagonale consiste di un angolare L 80x8 con lati uguali.

2.3 Carico

Caso di carico 1: peso proprio e finiture

Nel primo caso di carico, viene applicato il peso proprio del modello ed include la struttura dell'impalcato di 1,5 kN/m^2. Non sarà necessario determinare manualmente il peso proprio. RFEM calcola automaticamente il peso dai materiali definiti, dallo spessore della superficie e dalle sezioni trasversali.

La pressione del terreno agisce aggiuntivamente sulla parete semicircolare. L'ordinata del carico al fondo della parete viene determinata per una ghiaia di riempimento come segue: q = 16,0 kN/m^3 * 4,0 m = 64 kN/m^2.

Il carico del tetto (copertura, struttura portante) è ipotizzato pari a 1,2 kN/m^2.

Caso di carico 2: sovraccarico

L'area della superficie dell'impalcato viene usata come una sala riunioni di categoria A1 portante un sovraccarico di 3,0 kN/m^2.

In aggiunta, un carico lineare agente verticalmente di 5,0 kN/m è preso in considerazione attorno all'apertura, rappresentante il carico dovuto ad una scala di accesso.

Caso di carico 3: neve

Il carico da neve viene applicato secondo l'EN 1993-1-3 per la zona 2 del carico da neve in Germania e per un'altitudine di 500 m.

Caso di carico 4: vento

Nell'esempio si analizzerà il carico del vento solo in direzione Y (direzione del vento: dal cornicione di gronda inferiore a quello superiore). È applicato secondo l'EN 1991-1-4 per i tetti ad una falda e pareti verticali chiuse. Inoltre, si applicherà una zona del vento 1 e una categoria del terreno III. Siccome l'inclinazione del tetto è superiore a 5°, è necessario prendere in considerazione i coefficienti di pressione esterna positivi e negativi. In questo caso di carico si assumeranno i coefficienti positivi.

L'area in calcestruzzo armato viene esposta solo parzialmente ai carichi del vento. Per la colonna sul lato del cornicione di gronda inferiore si ipotizzerà un carico equivalente trapezoidale con ordinate 0,5 kN/m e 2,0 kN/m. Per la colonna nel cornicione di gronda nel lato superiore si applicherà un carico uniforme equivalente di 1,5 kN/m.

Caso di carico 5: imperfezione

Le imperfezioni devono essere spesso considerate, per esempio secondo l'Eurocodice 3. Inclinazioni e controfrecce sono gestite in un caso di carico separato. Quindi è possibile assegnare specifici coefficienti parziali di sicurezza quando si combina questo tipo di carico con altre azioni.

Nell'esempio si analizzeranno solo le imperfezioni in direzione Y.

Per le sezioni trasversali della colonna (HE-A 300) si assumerà la curva di instabilità *b* (spostamento nella direzione dell'asse y) secondo l'EN 1993-1-1, tabella 6.2. Le inclinazioni φ_0 e le controfrecce $w_{0,d}$ sono determinate secondo l'EN 1993-1-1, sezione 5.3.2.

Si applicheranno le imperfezioni per entrambe le colonne in calcestruzzo armato secondo l'EN 1992-1-1, clausola 5.2.

3. Creazione del modello

3.1 Avvio di RFEM

Per avviare RFEM nella barra delle applicazioni,

cliccare su **Start**, puntare su **Tutti i programmi** e **Dlubal**, e poi selezionare **Dlubal RFEM 5.01**

o fare doppio clic sull'icona **Dlubal RFEM 5.01** sul desktop del computer.

3.2 Creazione del file del modello

Si aprirà l'area di lavoro di RFEM mostrante la finestra di dialogo sottostante. È necessario inserire i dati di base per il nuovo modello.

Se RFEM visualizzerà già un modello, chiuderlo cliccando **Chiudi** nel menu **File**. Poi, aprire la finestra di dialogo *Dati Generali* cliccando su **Nuovo** nel menu **File**.

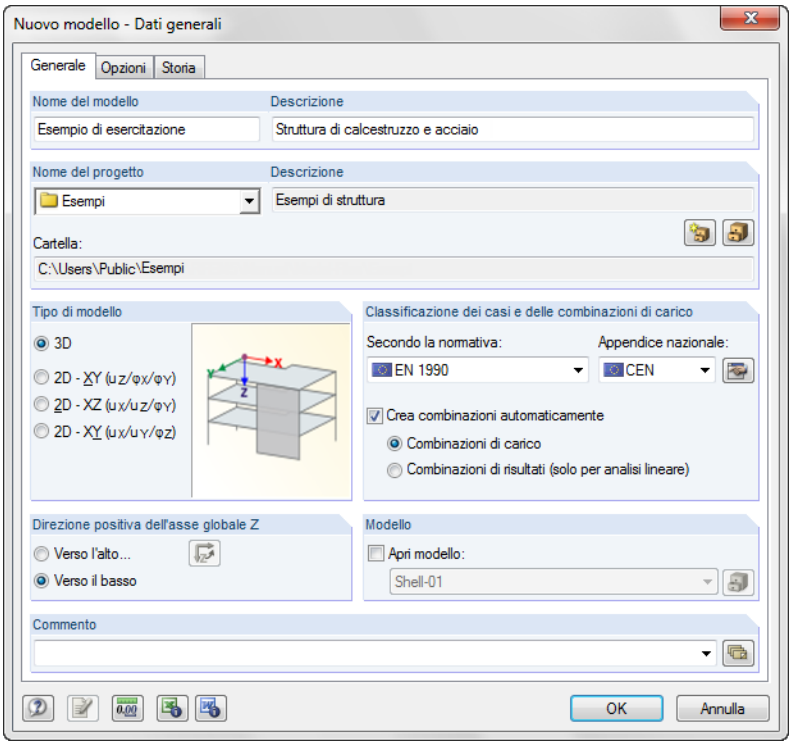
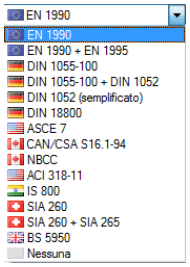


Figura 3.1 Finestra di dialogo *Nuovo modello - Dati generali*

Scrivere **Esempio di esercitazione** nel campo d'immissione *Nome del modello*. A destra, iscrivere **Struttura di calcestruzzo e acciaio** come *Descrizione*. Si deve definire sempre un *Nome del modello* perché questo determinerà il nome del file di RFEM. Il campo della *Descrizione* invece non deve essere necessariamente compilato.

Nel campo di immissione *Nome del progetto*, selezionare **Esempi** dall'elenco se non già impostato per impostazione predefinita. La *Descrizione* del progetto e la corrispondente *Cartella* saranno visualizzate automaticamente.

Nella sezione di dialogo *Tipo di modello*, è preimpostata l'opzione **3D**. Questa impostazione permette una modellazione spaziale. Lasciare l'impostazione predefinita **Verso il basso** per *Direzione positiva dell'asse globale Z*.



La sezione di dialogo *Classificazioni dei casi e delle combinazioni di carico* richiede alcune impostazioni: si selezionerà la voce **EN 1990** dalla lista *Secondo la normativa*. Non si cambierà l'impostazione **CEN** nel campo *Appendice nazionale* a destra. Queste specifiche sono importanti quando si combineranno le azioni con i coefficienti parziali di sicurezza e i coefficienti di combinazione conformi alle normative.

Poi, spuntare la casella di controllo *Crea combinazioni automaticamente*. Si combineranno le azioni in **Combinazioni di carico**.

Ora, i dati generali del modello sono definiti. Chiudere la finestra di dialogo facendo clic sul pulsante [OK].

Verrà visualizzata l'area di lavoro vuota di RFEM.

4. Dati del modello

4.1 Regolazione del piano di lavoro e della griglia

Visualizzazione

Per prima cosa, fare clic sul pulsante [Ingrandisci] sulla barra del titolo per ingrandire l'area di lavoro. Gli assi delle coordinate con le direzioni globali X, Y e Z saranno visualizzati nell'area di lavoro.

Per cambiare la posizione degli assi delle coordinate, fare clic sul pulsante [Muovi, Zoom, Ruota] nella barra degli strumenti sovrastante. Il puntatore si trasforma in una mano. Ora, è possibile posizionare l'area di lavoro secondo le preferenze muovendo il puntatore e tenendo premuto il tasto sinistro del mouse.

Inoltre, sarà possibile usare la mano per ingrandire o ruotare la vista:

- Zoom: muovere il puntatore e mantenere premuto il tasto [MAIUSC].
- Rotazione: muovere il puntatore e mantenere premuto il tasto [CTRL].

Sono possibili diversi metodi, per uscire dalla funzione:

- fare clic sul pulsante ancora una volta
- premere sulla tastiera il tasto [ESC]
- fare clic con il pulsante destro del mouse nell'area di lavoro.

Funzioni del mouse

Le funzioni del mouse seguono lo standard generale per le applicazioni Windows. Per selezionare un oggetto per modificarlo, fare clic una volta sul pulsante **sinistro** del mouse. Fare doppio clic sull'oggetto per aprire la finestra di dialogo per le modifiche.

Quando si clicca su un oggetto con il pulsante **destro** del mouse, apparirà il menu di scelta rapida mostrante i comandi e le funzioni relativi all'oggetto.

Per cambiare la grandezza del modello visualizzato, usare **il pulsante rotellina** del mouse. Tenendo premuto il pulsante rotellina del mouse è possibile spostare il modello direttamente. Quando si preme anche il tasto [CTRL], è possibile ruotare la struttura. Per ruotare la struttura è anche possibile usare il pulsante rotellina e contemporaneamente tenere premuto il tasto destro del mouse. I simboli del puntatore a sinistra mostrano la funzione selezionata.

Griglia

La griglia forma lo sfondo dell'area di lavoro. Nella finestra di dialogo *Piano di lavoro e Griglia/Snap*, è possibile regolare la spaziatura dei punti della griglia. Per aprire la finestra di dialogo, usare il pulsante [Imposta origine della griglia/piano di lavoro].

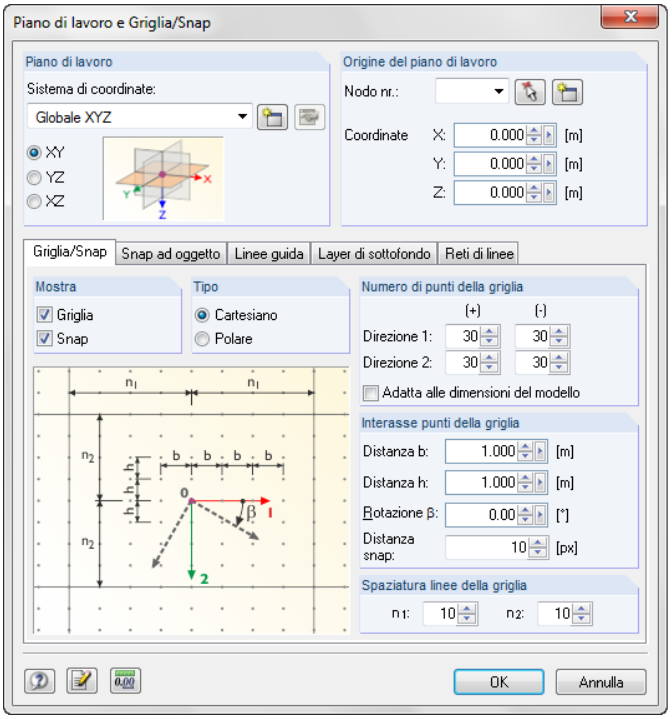


Figura 4.1 Finestra di dialogo *Piano di lavoro e Griglia/Snap*

Successivamente, per inserire i dati nei punti della griglia, è importante che i campi di controllo *SNAP* e *GRIGLIA* nella barra di stato siano impostati come attivi. In questo modo, la griglia diventa visibile e i punti, quando cliccati, si aggrapperanno alla griglia.

Piano di lavoro

Per impostazione predefinita il piano XY è impostato come un piano di lavoro. Con questa impostazione tutti gli oggetti graficamente immessi verranno generati nel piano orizzontale. Il piano non ha valore per gli input dei dati utilizzando le finestre di dialogo o le tabelle.

Le impostazioni predefinite sono appropriate per questo esempio. Chiudere la finestra di dialogo con il pulsante [OK] per iniziare ad inserire il modello.

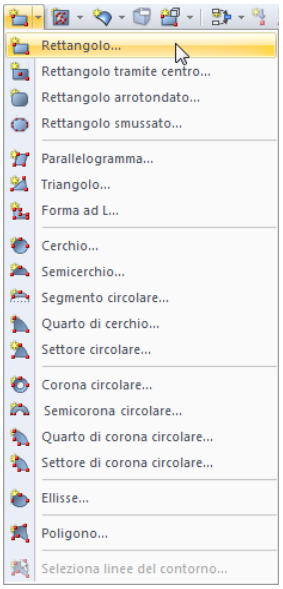
4.2 Creazione di superfici

Le superfici potrebbero essere create definendo prima i nodi dei vertici nella finestra di lavoro o nella tabella e poi collegandoli con le linee. Tuttavia, nell'esempio si userà l'input grafico diretto delle linee e delle superfici.

4.2.1 Impalcato

La superficie dell'impalcato consiste in una superficie rettangolare ed una semicircolare.

4.2.1.1 Definizione della superficie rettangolare



Elenco per le superfici del piano

Le piastre rettangolari sono componenti strutturali usate frequentemente. Per creare velocemente delle piastre rettangolari,

fare clic su **Dati del modello** nel menu **Inserisci**, poi puntare su **Superfici**, **Piana** e **Graficamente** e selezionare **Rettangolo**,

o usare il corrispondente elenco per la selezione di superfici piane. Fare clic sul pulsante con la freccia [▼] per aprire un menu a tendina offrente un'ampia selezione di geometrie di superfici.

Con la voce di menu [Rettangolo] è possibile definire direttamente la piastra. Saranno creati automaticamente i nodi e le linee corrispondenti.

Si aprirà la finestra di dialogo *Nuova superficie rettangolare*.

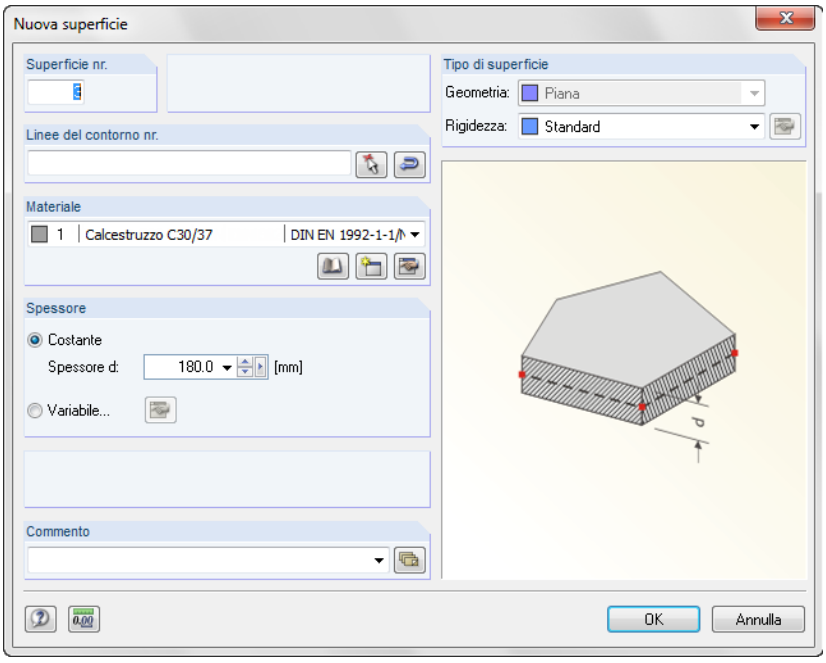


Figura 4.2 Finestra di dialogo *Nuova superficie*

Il campo *Superficie nr.* del nuovo rettangolo piano è specificato con *1*. Non è necessario cambiare questo numero.

Il *Materiale* è preimpostato come *Calcestruzzo C30/37* secondo l'EN 1992-1-1. Quando si vuole usare un materiale diverso, è possibile selezionarne un altro grazie al pulsante [Importa nuovo materiale dalla libreria].

Lo *Spessore* della superficie è *Costante*. Incrementare il valore *d* a **200** mm, usando la casella di selezione o l'input diretto.

Nella sezione di dialogo *Tipo di superficie* è preselezionata la *Rigidezza* con *Standard*.

Chiudere la finestra di dialogo con il pulsante [OK] per iniziare l'inserimento grafico dell'impalcato.

È possibile facilitare la definizione della superficie quando si imposta la vista in direzione Z (vista dall'alto) usando il pulsante mostrato a sinistra. La modalità di input non verrà interessata.

Per definire il primo angolo, fare clic con il tasto sinistro del mouse nell'**origine delle coordinate** (coordinate X/Y/Z **0,000/0,000/0,000**). Le coordinate correnti del puntatore sono visualizzate vicino al reticolo.

Poi, definire l'angolo opposto della lastra cliccando il punto della griglia con le coordinate X/Y/Z **7,000/6,000/0,000**.

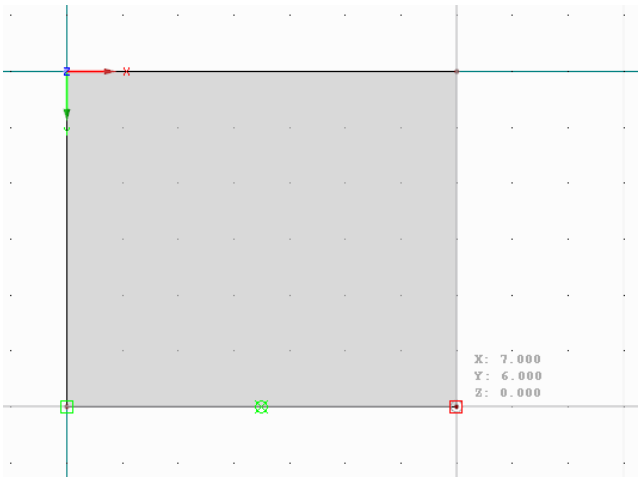


Figura 4.3 Superficie rettangolare 1

RFEM crea quattro nodi, quattro linee e una superficie.

Siccome non si vuole creare altri piani ulteriori, si lascia la modalità di input premendo il tasto [ESC]. È possibile usare anche il pulsante destro del mouse facendo clic con lo stesso su una parte vuota dell'area di lavoro.

Visualizzazione della numerazione

Se si vuole visualizzare il numero dei nodi, delle linee e delle superfici, fare clic con il tasto destro del mouse su uno spazio vuoto nell'area di lavoro. Apparirà un menu di scelta rapida con funzioni utili. Attivare la *Numerazione*.

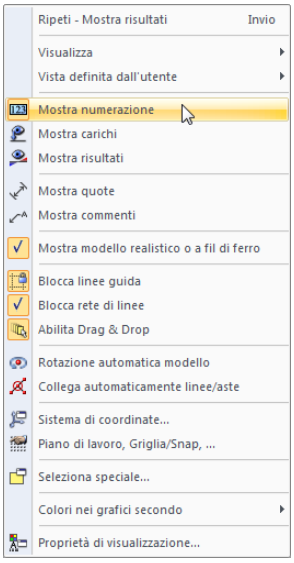


Figura 4.4 Mostra numerazione nel menu di scelta rapida

Usare la scheda *Visualizza* per controllare nel dettaglio la numerazione degli oggetti.

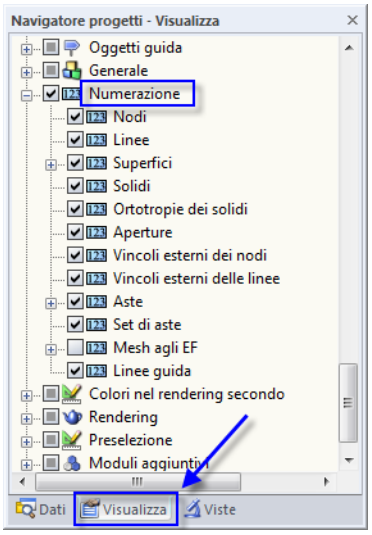


Figura 4.5 Navigatore *Visualizza* per la numerazione

4.2.1.2 Creazione dell'arco

Ora, si ha la necessità di definire un'area che sia limitata con un arco circolare.

Fare clic sulla freccia [▼] dell'elenco per le linee disponibili nella barra degli strumenti per aprire il menu a tendina che offre gli strumenti per i tipi di linee speciali. Selezionare la voce *Arco tramite tre punti*.

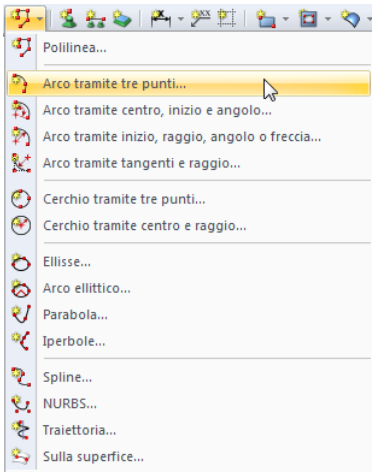


Figura 4.6 Elenco per linee - *Arco tramite tre punti*

Nell'area di lavoro, fare clic sui seguenti nodi uno dopo l'altro: il nodo **4**, il punto della griglia con le coordinate **10,000/3,000/0,000** e il nodo **3**. Dopo aver cliccato sull'ultimo nodo, l'arco verrà creato come linea 5.

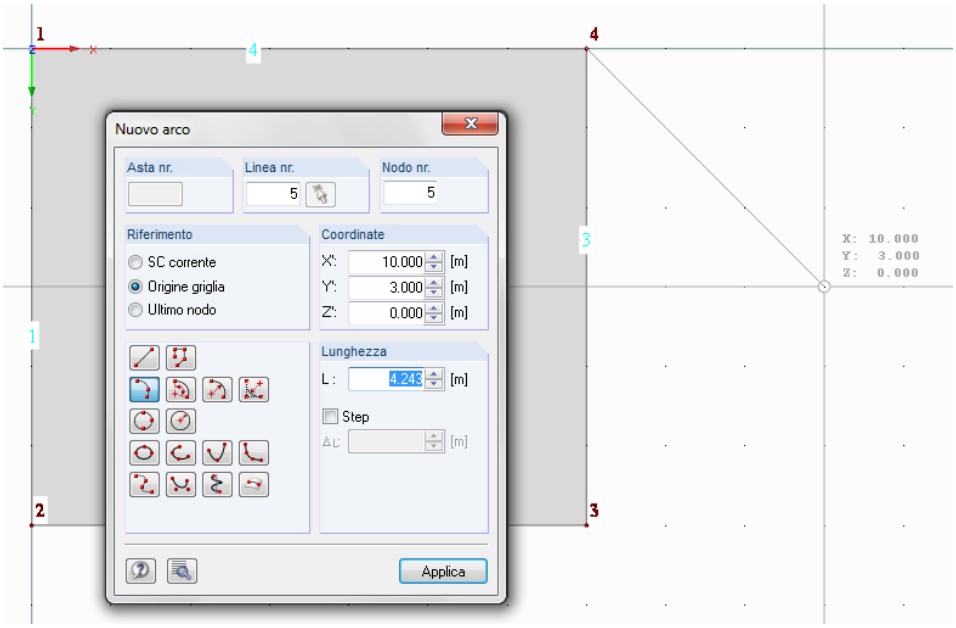


Figura 4.7 Definizione di un arco circolare con tre punti

Per uscire dalla modalità input, usare il pulsante [ESC].

4.2.1.3 Regolazione della superficie dell'impalcato

Siccome la versione demo consente la definizione di due superfici soltanto, non si potrà definire la superficie semicircolare come una nuova superficie. Quindi, si estenderà la superficie rettangolare ad una superficie piana generale includente l'area dell'arco.

Fare doppio clic sulla superficie 1 nell'area di lavoro per aprire la finestra di dialogo *Modifica superficie*.

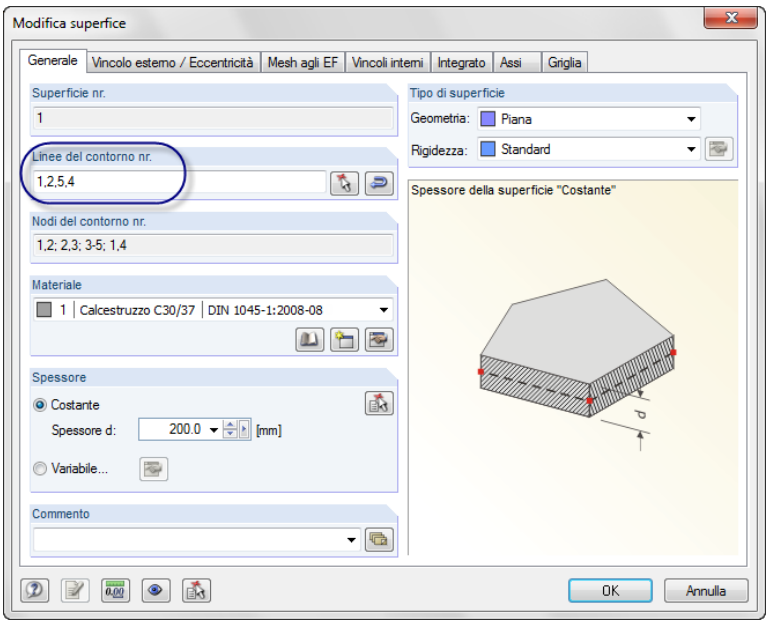
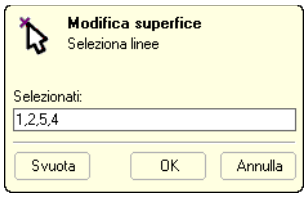


Figura 4.8 Modificazione delle linee di contorno

Si avranno due opzioni di input:

- nel campo di immissione *Linee di contorno nr.*, è possibile inserire manualmente i numeri delle nuove linee di contorno
  1, **2**, **4** e **5**.
- È possibile usare il pulsante [Seleziona linee di contorno dalla superficie] mostrato sulla sinistra per selezionare graficamente le nuove linee di contorno nell'area di lavoro. Ma prima di tutto è necessario svuotare l'elenco preimpostato nella finestra selezionata *Modifica superficie* cliccando sul pulsante [Svuota].



Ora, la superfice dell'impalcato assomiglia alla figura sottostante.

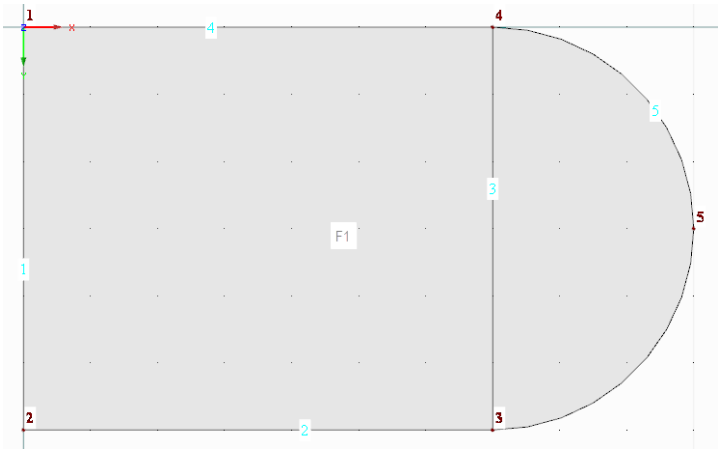


Figura 4.9 Impalcato

4.2.2 Parete

Copia dell'arco

Il metodo più confortevole per creare una superficie curva è copiando l'arco circolare grazie alla specifica di particolari impostazioni riguardanti il processo di copiatura.

Fare clic sulla linea dell'arco 5 con il tasto sinistro del mouse (un singolo clic) per selezionarlo. Ora la linea è visualizzata con un colore diverso. Per gli sfondi neri come colore di selezione è preimpostato il giallo.

Usare il pulsante della barra degli strumenti mostrato a sinistra per aprire la finestra di dialogo *Muovi o Copia - Copia*.

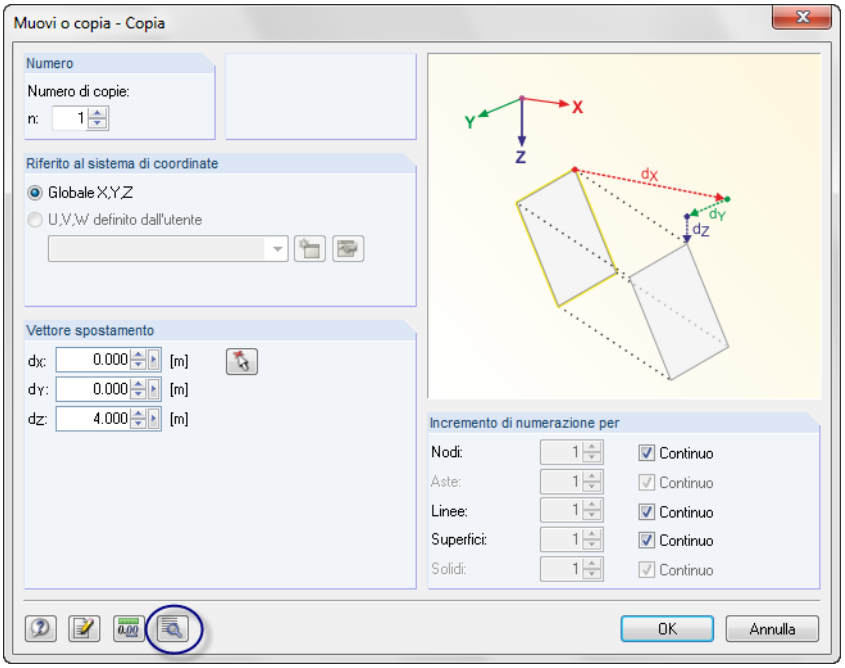


Figura 4.10 Finestra di dialogo *Muovi o copia - Copia*

Aumentare il *Numero di copie* ad **1**: con questa impostazione l'arco non verrà spostato ma copiato. Siccome la parete è alta 4 m, introdurre il valore di **4,0** m per il *Vettore spostamento* in d_z.

Ora, fare clic sul pulsante [Modifica impostazioni avanzate] per specificare ulteriori impostazioni.

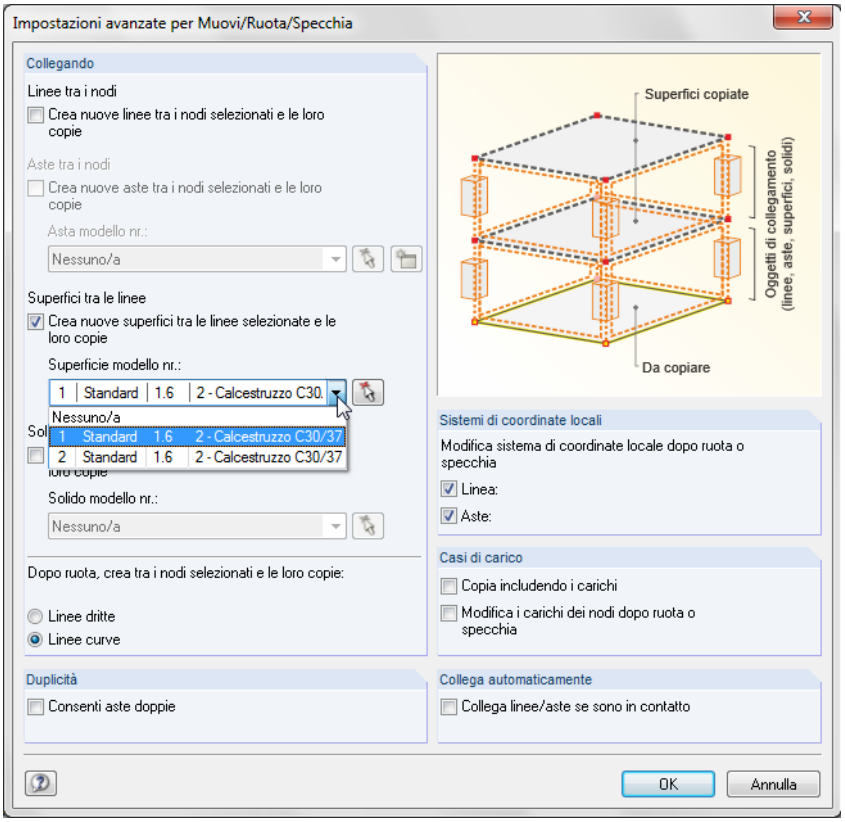


Figura 4.11 Finestra di dialogo *Impostazioni avanzate per Muovi/Ruota/Specchia*

Nella sezione di dialogo *Collegando*, spuntare la casella di controllo per le seguenti opzioni:

☑ Crea nuove superfici tra le linee selezionate e loro copie

Poi, selezionare la superficie **1** dall'elenco per definirla come *Superficie modello*. In questo modo, le proprietà dell'impalcato (materiale, spessore) sono preimpostate per la nuova superficie della parete.

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

Impostazione della vista isometrica

Usare il pulsante della barra degli strumenti mostrato sulla sinistra per selezionare la [Vista isometrica] per visualizzare la struttura in una rappresentazione grafica 3D.

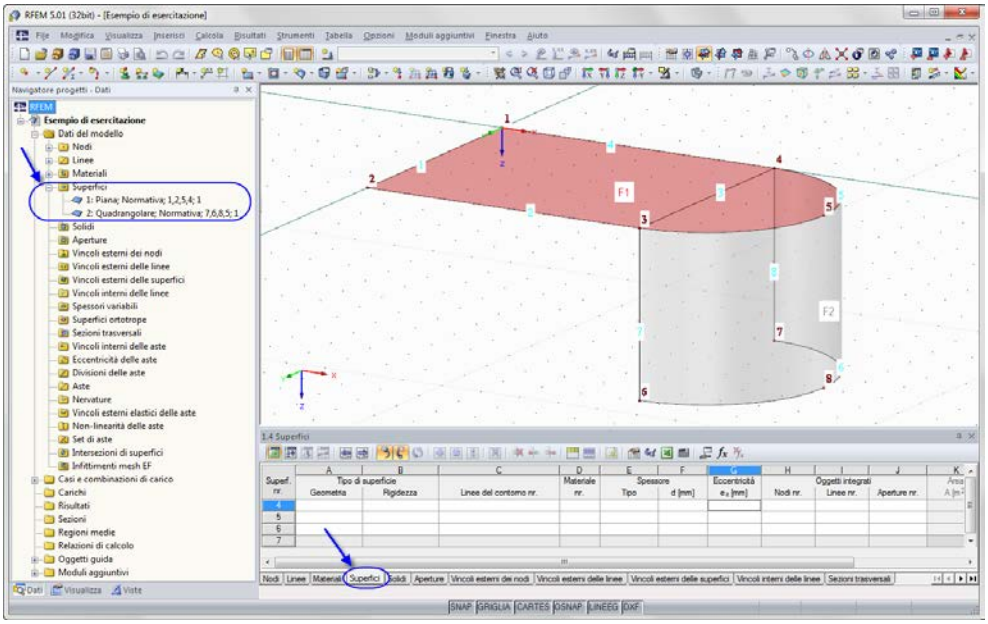


Figura 4.12 Modello in vista isometrica con il navigatore e le voci della tabella

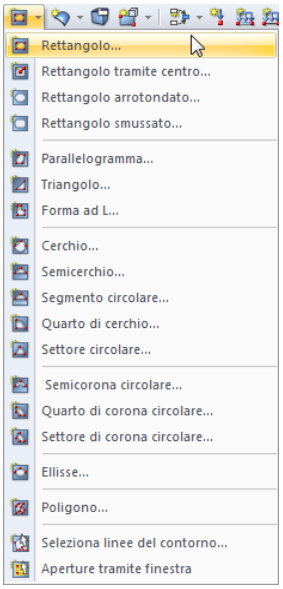
Controllo dei dati nel navigatore e nelle tabelle

Tutti gli oggetti immessi possono essere trovati nell'albero delle cartelle del navigatore *Dati* e nelle schede della tabella. Le voci nel navigatore possono essere aperte facendo clic su [+] (come in Windows Explorer). Per spostarsi tra le tabelle, fare clic sulle singole schede delle tabelle.

Nella voce del navigatore *Superfici* e nella tabella 1.4 *Superfici*, è possibile controllare i dati di input per entrambe le superfici in forma numerica (vedere figura sovrastante). RFEM ha creato le pareti come superfici quadrangole, vale a dire un guscio che è delimitato con quattro linee.

4.2.3 Aperture

4.2.3.1 Creazione di un'apertura



Elenco per le aperture

Ora, inserire un'apertura rettangolare nell'impalcato. L'inserimento dei dati è più facile quando si imposta la [Vista in direzione Z].

È possibile applicare direttamente l'apertura, il che significa senza prima definirne le linee. Usare l'elenco per le aperture disponibili nella barra degli strumenti e selezionare la voce *Rettangolo*.

Selezionare il primo nodo dell'apertura nel punto della griglia **3,000/1,000/0,000**. Il secondo nodo viene definito nel punto della griglia **5,000/2,000/0,000**.

L'apertura è troppo piccola. Nel passaggio successivo verrà regolata la lunghezza dell'apertura.

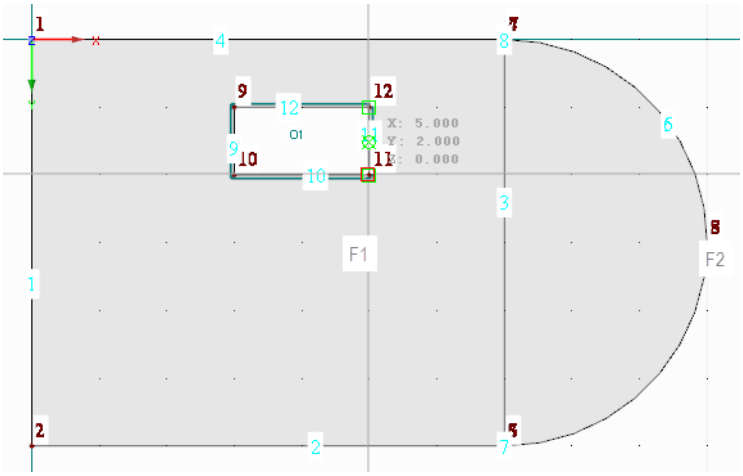


Figura 4.13 Definizione dell'apertura rettangolare

Chiudere la modalità di input con il pulsante [ESC] o fare clic con il tasto destro nell'area di lavoro vuota.

4.2.3.2 Regolazione dell'apertura

La lunghezza dell'apertura è di 2,50 m. Selezionare i nodi 11 e 12 uno dopo l'altro tenendo premuto il tasto [CTRL].

Aprire la finestra di dialogo *Modifica nodo* con un doppio clic su uno di questi nodi.

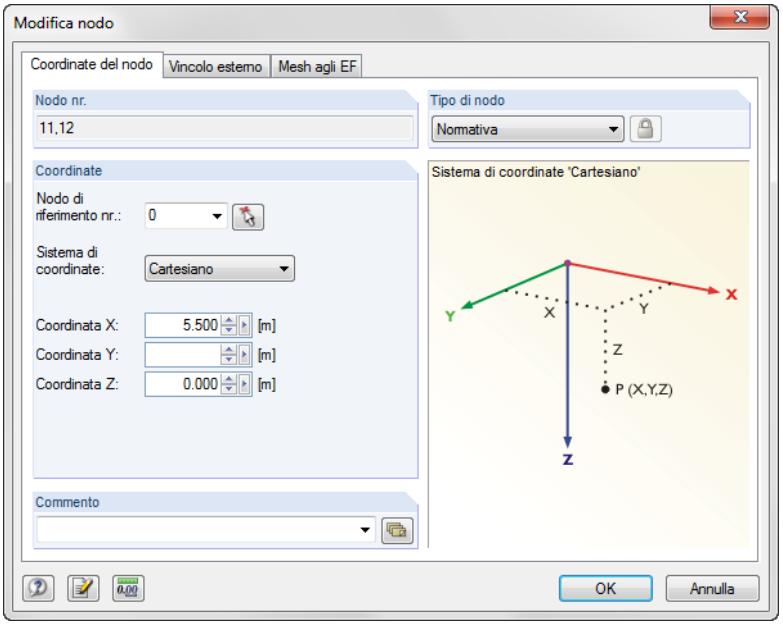
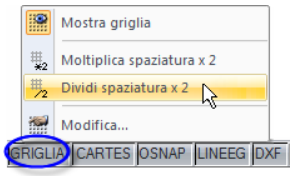


Figura 4.14 Finestra di dialogo *Modifica nodo*

Entrambi i nodi sono elencati nel campo di immissione *Nodo di riferimento nr.*. Correggere la *Coordinata X* inserendo **5,500** m, e poi confermare l'immissione con [OK]. Ora, l'apertura ha una lunghezza appropriata.



Alternativa: è possibile anche applicare istantaneamente l'apertura senza modificare le coordinate se si usa una griglia modificata: prima, si deve aprire la finestra di dialogo *Piano di lavoro e Griglia/Snap* (vedere figura 4.1, a pagina 11) dove si ridurrà la *Spaziatura dei punti della griglia* a 50 cm. È possibile usare anche il menu di scelta rapida del pulsante GRIGLIA disponibile nella barra di stato per modificare rapidamente la spaziatura della griglia. Basta fare clic con il pulsante destro del mouse mostrato a sinistra.

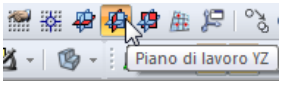
Ora, l'inserimento delle superfici è completo.

4.3 Creazione di aste in calcestruzzo

4.3.1 Colonne

Gli elementi asta dipendono dalle linee: creando un'asta viene creata automaticamente una linea.

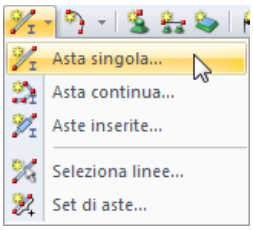
Modifica del piano di lavoro



Le colonne saranno definite graficamente, quindi sarà necessario passare dal piano di lavoro orizzontale a quello verticale. Per impostare il [Piano di lavoro YZ], fare clic sul secondo dei tre pulsanti dei piani nella barra degli strumenti.

Reimpostare la [Vista isometrica]. Ora, è possibile vedere che la griglia di immissione è situata nel piano delle due colonne (vedere figura 4.18).

Definizione della sezione trasversale



Fare clic sull'elenco [Nuova asta singola] per aprire la finestra di dialogo *Nuova asta*.

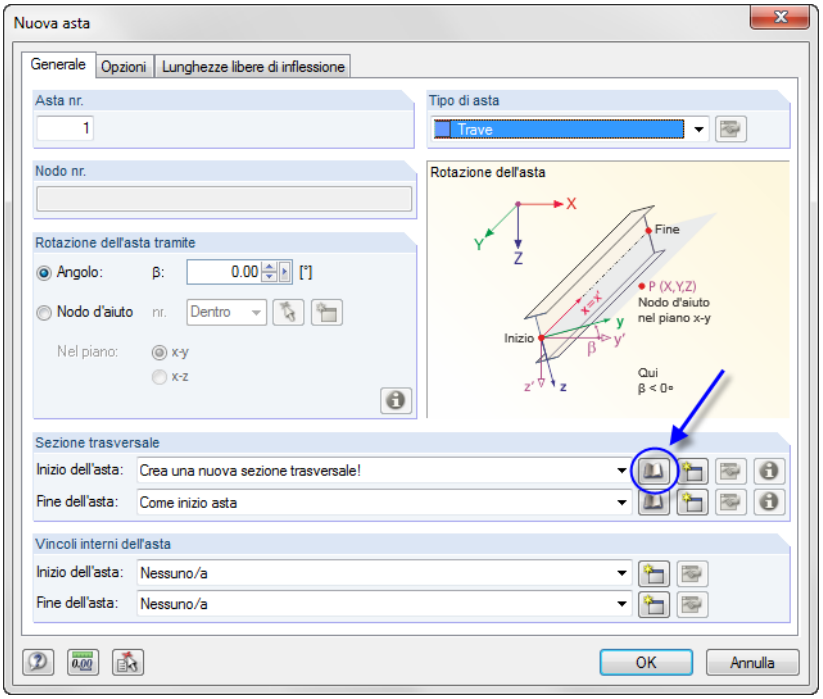


Figura 4.15 Finestra di dialogo *Nuova asta*

Non è necessario cambiare le impostazioni predefinite. Si deve soltanto creare una *Sezione trasversale*. Per definire la sezione trasversale all'*Inizio dell'asta*, fare clic sul pulsante [Importa sezione trasversale dalla libreria]. Apparirà la libreria delle sezioni trasversali.

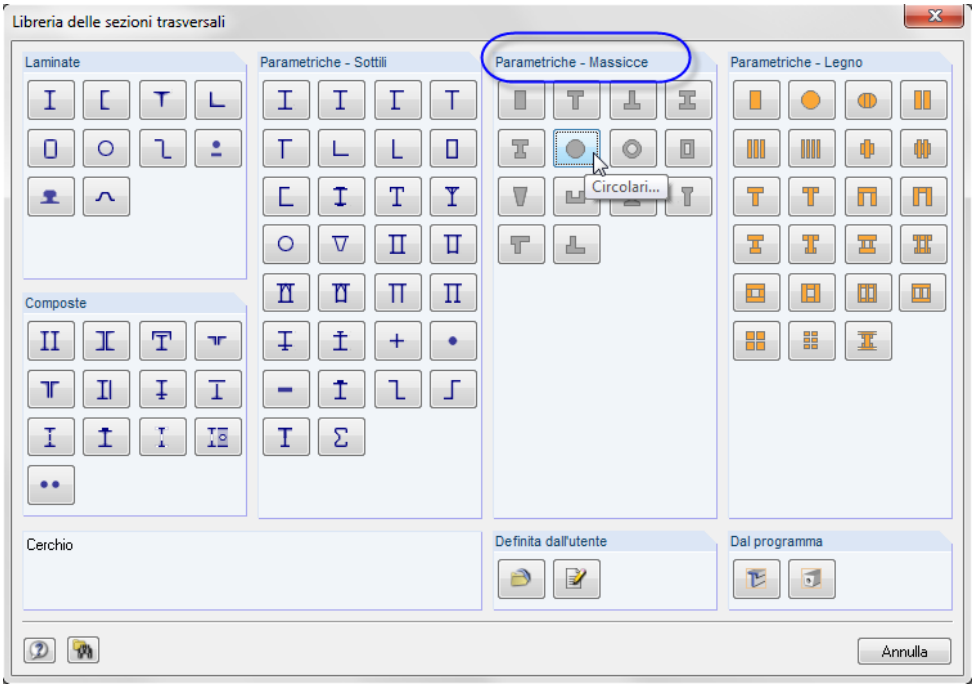


Figura 4.16 Libreria delle sezioni trasversali

Nella sezione di dialogo *Parametriche - Massicce*, selezionare il tipo di sezione trasversale *Circolari*. Apparirà un'altra finestra di dialogo.

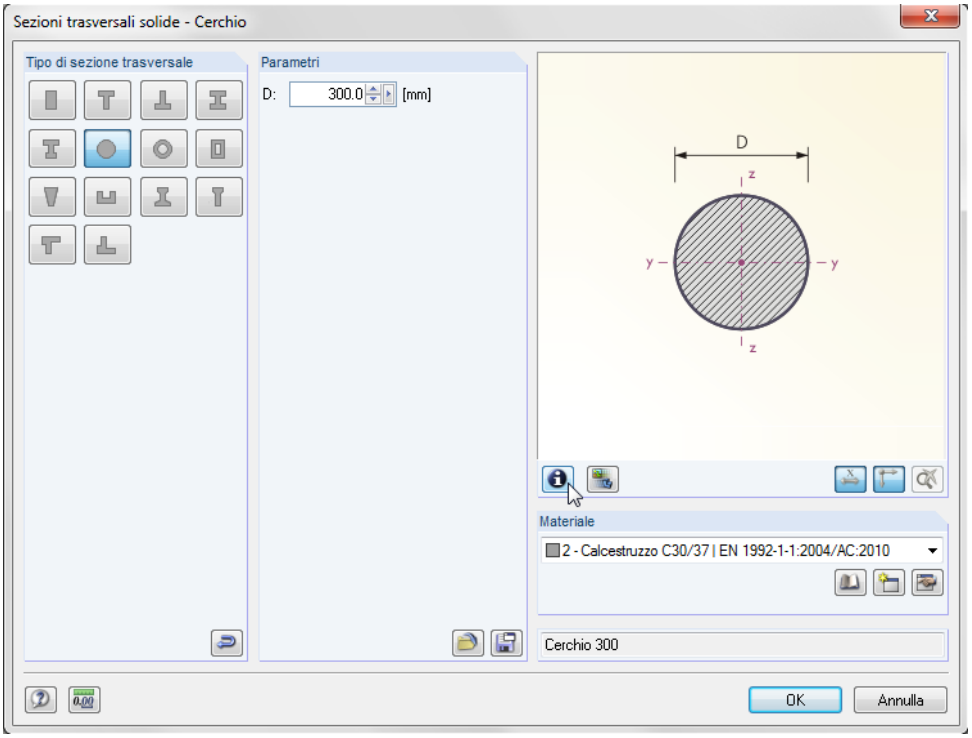


Figura 4.17 Finestra di dialogo *Sezioni trasversali solide - Cerchio*

Si definirà il diametro della colonna *D* con **300** mm.

Per sezioni trasversali solide RFEM preimposta il numero *1 - Calcestruzzo C30/37* come *Materiale*.

È possibile usare il pulsante [Informazioni sulla sezione trasversale] per verificare le proprietà della sezione trasversale.

Fare clic su [OK] per importare i valori della sezione trasversale e tornare alla finestra di dialogo iniziale *Nuova asta*. Ora il campo di immissione *Inizio dell'asta* visualizza la nuova sezione trasversale. Chiudere la finestra di dialogo con [OK] per impostare graficamente le colonne.

Definizione grafica delle aste

Definire la base della colonna frontale facendo clic sul punto della griglia **0,000/6,000/4,000**.

Impostare l'estremità superiore della colonna nel nodo **2**.

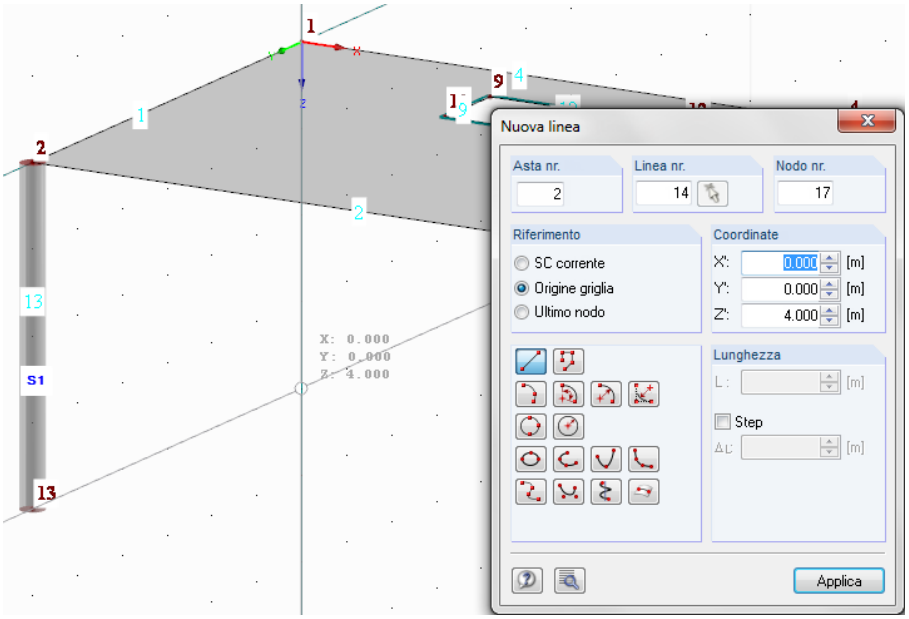


Figura 4.18 Definizione della base della seconda colonna

Il comando di immissione *Definisci asta* è ancora attivo. Quindi, è possibile continuare con la definizione della colonna posteriore.

Posizionare la base della seconda colonna nel punto della griglia **0,000/0,000/4,000**. L'estremità superiore della colonna è poi definita nel punto zero della griglia che è il nodo **1**.

Per uscire dalla modalità input, usare il tasto [ESC]. È anche possibile fare clic con il tasto destro nell'area di lavoro.

4.3.2 Nervatura

Nel prossimo passo, si inserirà la trave emergente al di sotto del soffitto.

Modifica delle proprietà delle linee

Fare doppio clic sulla linea *3* per aprire la finestra di dialogo *Modifica linea*. Passare alla seconda scheda *Asta* e spuntare l'opzione *Disponibile* (vedere figura 4.19).

Si aprirà di nuovo la finestra di dialogo *Nuova asta*.

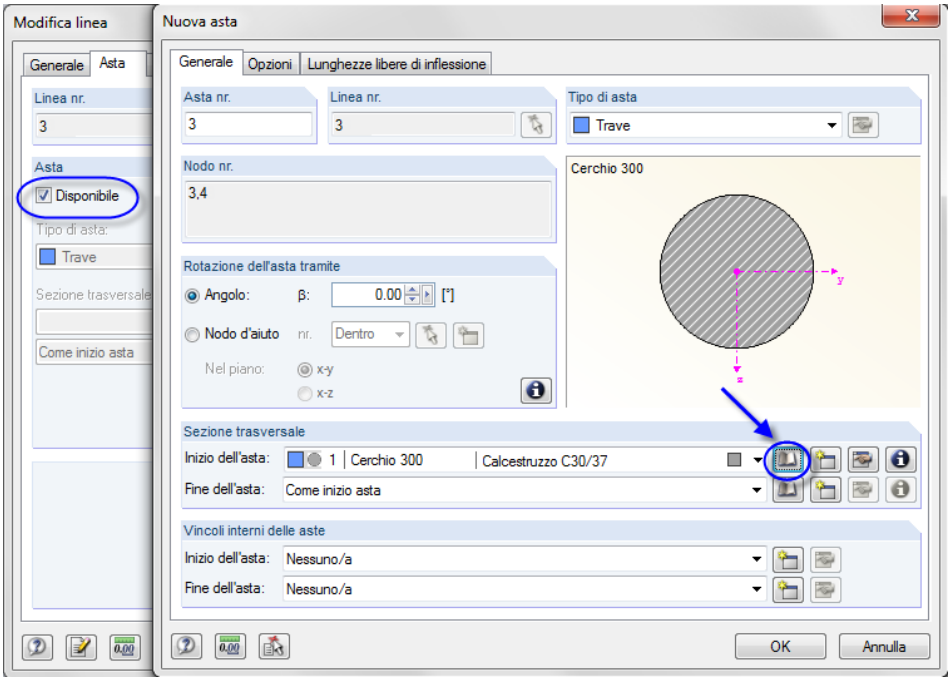


Figura 4.19 Finestra di dialogo *Nuova asta*

Questa volta fare clic sul pulsante [Crea nuova sezione trasversale all'inizio dell'asta] per definire la sezione trasversale all'*Inizio dell'asta*.

Nella parte superiore della finestra di dialogo *Nuova sezione trasversale*, selezionare la tabella delle sezioni trasversali massicce *REC*. Si aprirà la finestra di dialogo *Sezioni trasversali solide - Rettangolo* dove si imposterà la larghezza *b* con **250** mm e l'altezza con *h* con **400** mm.

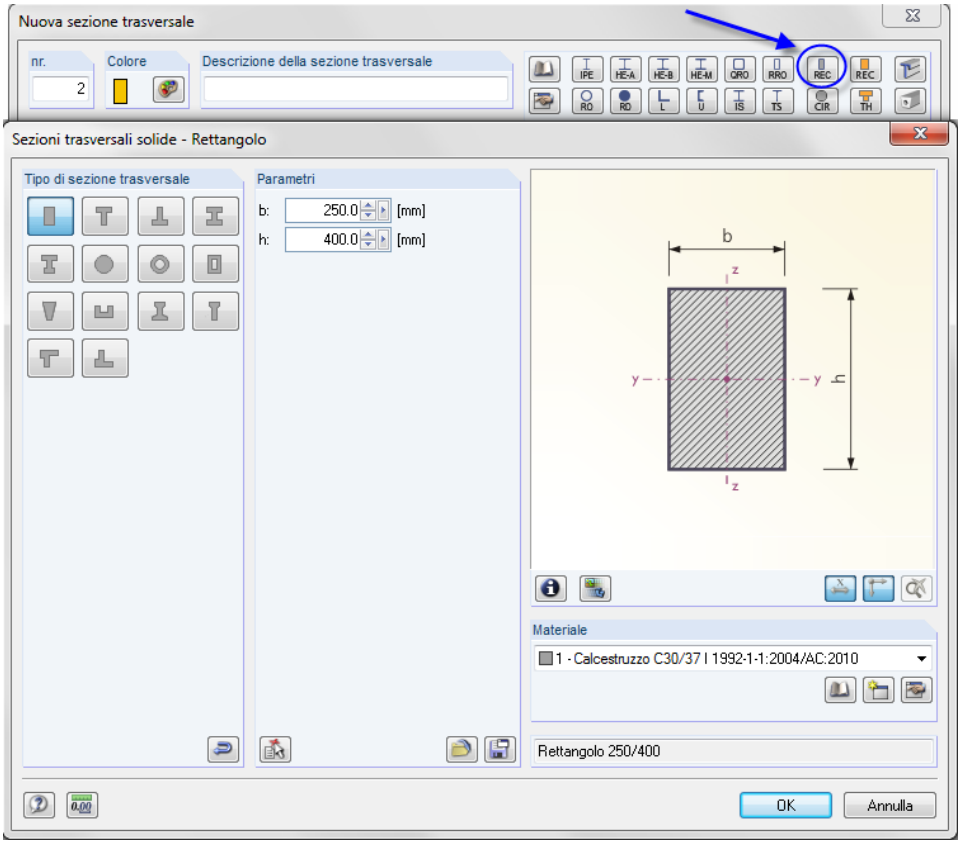


Figura 4.20 Finestra di dialogo *Sezioni trasversali solide - Rettangolo*

Fare clic su [OK] per importare i valori della sezione trasversale nella finestra di dialogo *Nuova sezione trasversale*. Ancora una volta, è preimpostato *il numero del materiale* 1 - Calcestruzzo 30/37.

Fare clic su [OK] e ritornare alla finestra di dialogo iniziale *Nuova asta*. Ora il campo di immissione *Inizio dell'asta* mostra la sezione trasversale rettangolare.

Definizione della nervatura

In RFEM è possibile modellare una trave emergente con il tipo di trave *Nervatura*. Cambiare solo il *Tipo di asta* nella finestra di dialogo *Nuova asta*: selezionare la voce *Nervatura* dall'elenco.

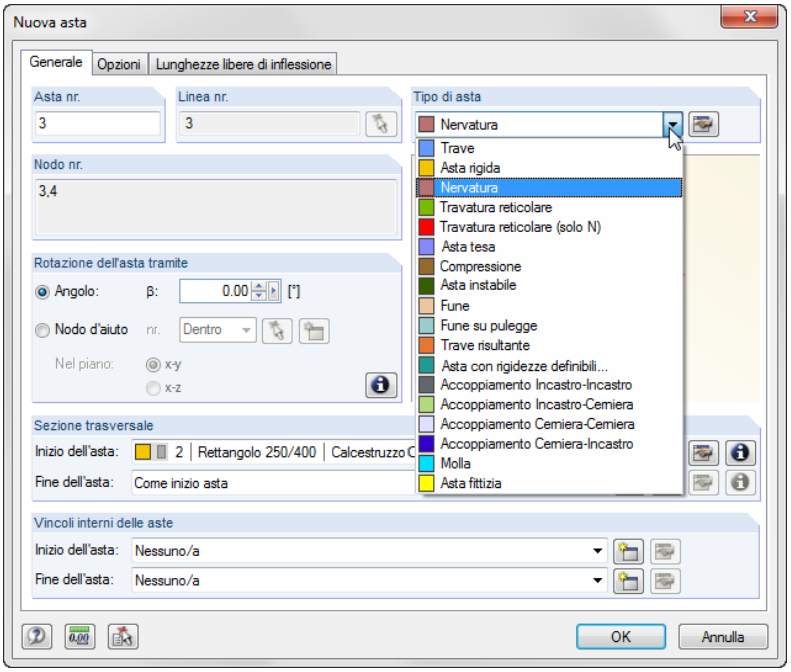


Figura 4.21 Cambiamento del tipo di asta

Con un clic del pulsante [Modifica tipo di asta] aprire la finestra di dialogo *Nuova nervatura*.

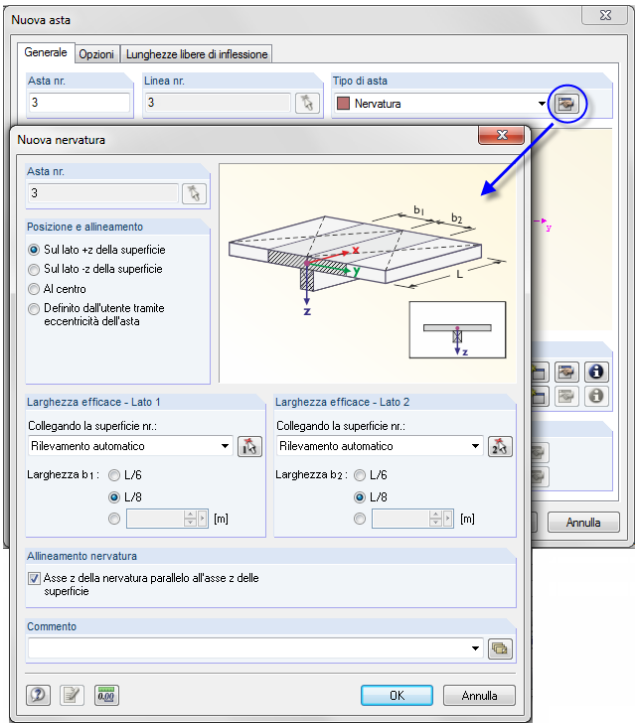


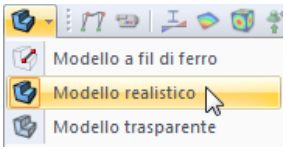
Figura 4.22 Definizione della nervatura

Definire *Posizione e allineamento* della nervatura **Sul lato +z della superficie**. Questo è il lato inferiore dell'impalcato.

Per la *Larghezza efficace* specificare per entrambi i lati **L/8**. RFEM troverà automaticamente le superfici.

Chiudere tutte le finestre di dialogo con il pulsante [OK] e verificare il risultato nell'area di lavoro.

Opzioni di visualizzazione



RFEM visualizza la nervatura come un'asta che è disposta eccentricamente. Siccome il modello trasparente non mostra gli spessori della superficie, impostare *Modello realistico* usando l'elenco mostrato a sinistra. Questa modalità di visualizzazione aiuta a verificare il collocamento della nervatura.

Inoltre, impostare l'opzione di rendering *Riempito incluso lo spessore* disponibile nel navigatore *Visualizza*.

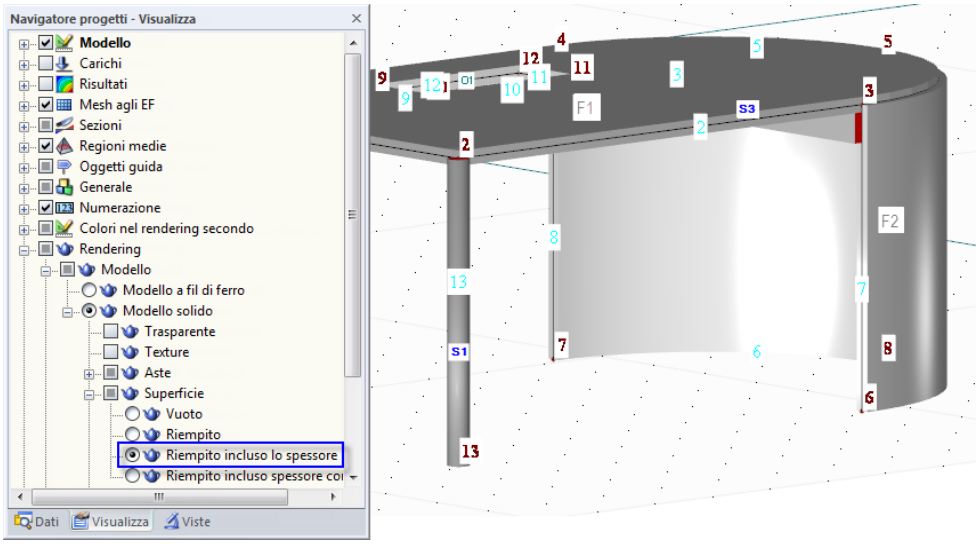
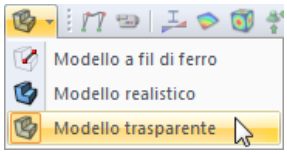


Figura 4.23 Rappresentazione grafica del modello solido

Per regolare la visualizzazione, si userà il pulsante [Muovi, Zoom, Ruota] (vedere "funzioni del mouse" a pagina 10). Il puntatore si trasforma in una mano. Quando si terrà premuto aggiuntivamente il tasto [CTRL], è possibile ruotare il modello muovendo il puntatore.



Per il seguente input reimpostare la modalità *Modello solido trasparente*. Impostare anche il rendering per le superfici a *Riempite* nel navigatore *Visualizza* in modo da nascondere lo spessore.

4.4 Definizione dei vincoli esterni

Il modello è ancora senza vincoli esterni. In RFEM è possibile assegnare i vincoli esterni ai nodi, alle linee, alle aste e alle superfici.

4.4.1 Vincoli esterni dei nodi

Le colonne sono vincolate alle loro basi in tutte le direzioni ma senza vincoli rotazionali.

Selezionare i nodi inferiori delle colonne disegnando una finestra attorno all'area includendo i nodi X e Y. Poi, fare clic sul pulsante della barra degli strumenti [Nuovo vincolo esterno del nodo] per aprire la finestra di dialogo *Nuovo vincolo esterno del nodo*.

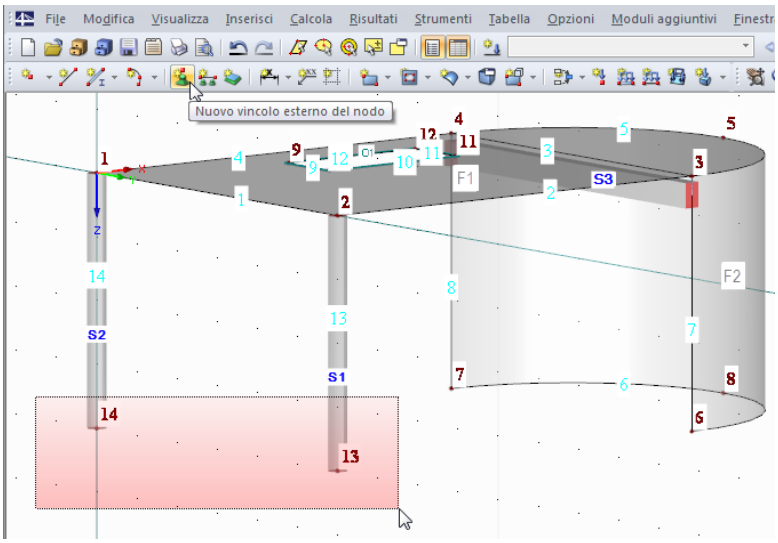


Figura 4.24 Selezione dei nodi della colonna con una finestra

Entrambi i numeri dei nodi 13 e 14 sono mostrati nel campo *Nodo nr.*

Modificare il tipo di vincolo esterno perché il tipo preimpostato *1* risulta in un incastro intorno all'asse longitudinale dell'asta. Con un clic sul pulsante [Nuovo tipo di vincolo esterno del nodo] (vedere figura 4.25) si aprirà un'altra finestra di dialogo.

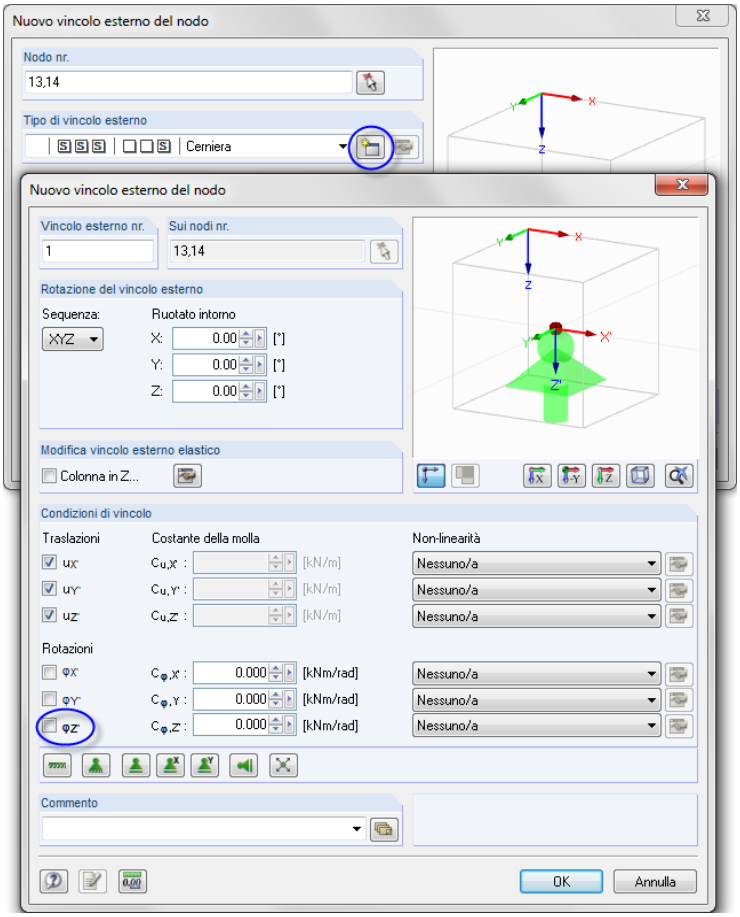


Figura 4.25 Definizione dei gradi di libertà

Nella seconda finestra di dialogo *Nuovo vincolo esterno del nodo*, rimuovere il segno di spunta dell'*Incastro* per la rotazione $\varphi_{Z'}$.

Confermare con [OK] le finestre di dialogo. Adesso, è possibile vedere i vincoli esterni visualizzati nel modello.

4.4.2 Vincoli esterni della linea

Anche la linea inferiore della parete curva è vincolata. Questa volta si sceglierà un altro modo per inserire i dati dei vincoli esterni. Si definiranno prima le proprietà dei vincoli esterni e poi si assegneranno graficamente queste proprietà agli oggetti.

Con un clic sul pulsante [Nuovo vincolo esterno della linea] aprire la finestra di dialogo *Nuovo vincolo esterno della linea*.

L'opzione *Cerniera* è preimpostata come *Tipo di vincolo esterno*. Le prime tre caselle di controllo contrassegnate con il segno di spunta stanno ad indicare che le direzioni X, Y e Z sono vincolate esternamente. Gli ultimi tre campi non presentano il segno di spunta perché una cerniera non ha vincoli rotazionali intorno a X, Y e Z.

Confermare la finestra di dialogo con [OK] perché il vincolo esterno incernierato risulta adeguato per il nostro esempio.

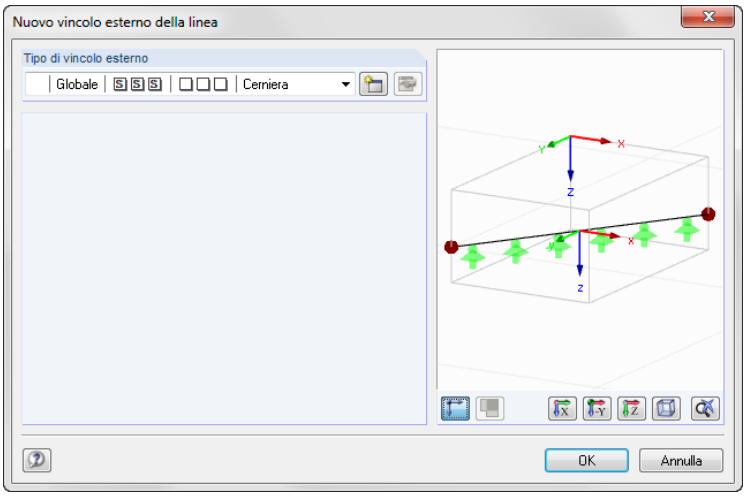


Figura 4.26 Finestra di dialogo *Nuovo vincolo esterno della linea*

RFEM visualizza un simbolo raffigurante un vincolo esterno prossimo al puntatore del mouse. Non appena si approccia una linea il puntatore diventa un reticolo. Il numero della linea corrispondente viene visualizzato nella barra di stato. Selezionare il vincolo esterno sulla linea curva *6*.

Ora, l'inserimento del modello in calcestruzzo armato del modello è completo.

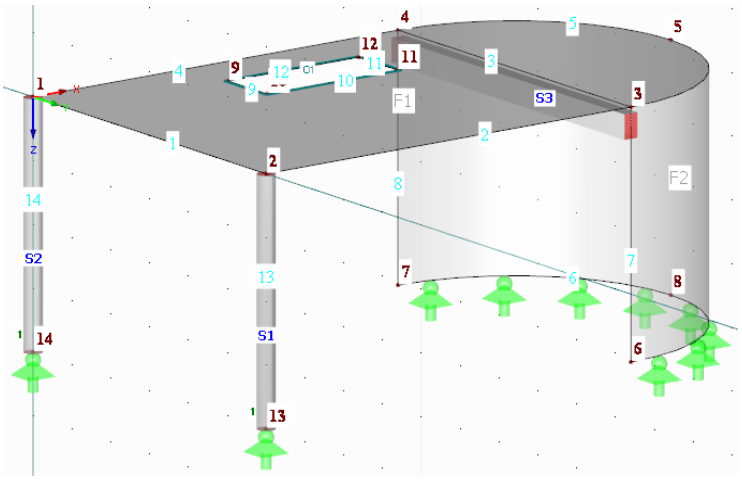


Figura 4.27 Struttura in calcestruzzo armato con vincoli esterni

4.5 Creazione delle aste di acciaio

4.5.1 Telaio

Introdurremo ora la costruzione in acciaio. Per prima cosa, definire l'intelaiatura che giace sul piano delle due colonne. È utile usare per questo piano una **visibilità**: questo tipo di vista parziale permette di lavorare in una particolare zona del modello e non si è disturbati dagli oggetti che giacciono su un altro piano.

Creazione di visibilità

Passare alla scheda *Viste* nel navigatore. Un certo numero di visibilità è già disponibile. Queste visibilità erano state *Generate* con RFEM in base ai dati che sono stati inseriti.

Il pulsante [Visibilità tramite finestra] rende possibile estrapolare graficamente una zona specifica dal modello: attivare la funzione e disegnare una finestra da sinistra a destra, racchiudendo completamente entrambe le aste della colonna.

Notare: se si disegna la finestra da sinistra a destra, la visibilità conterrà solo oggetti che sono completamente dentro questa finestra. Se si disegna la finestra da destra a sinistra, la visibilità conterrà anche quegli oggetti che sono tagliati dalla finestra.

Ora è possibile vedere che il resto del modello (impalcato, parete) che viene visualizzato con un'intensità di colore più bassa. Gli oggetti corrispondenti non possono essere modificati.

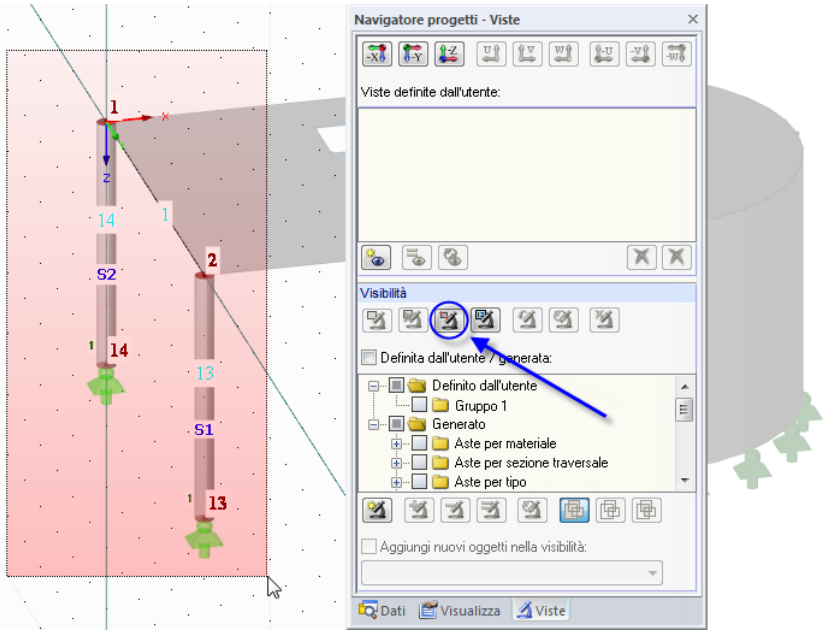


Figura 4.28 Creazione di una visibilità tramite una finestra

Cambiamento dell'origine del piano di lavoro

Il piano YZ è impostato ancora come piano di lavoro, ciò è appropriato per definire l'intelaiatura del tetto ad una falda. Per lo scopo prefissato anche l'origine del piano di lavoro è conveniente. Si vuole mostrare tuttavia, in che modo è possibile regolare il piano di lavoro. Si modificherà pertanto la posizione dell'origine del piano di lavoro.

Fare clic sul pulsante della barra degli strumenti [Imposta origine della griglia/piano di lavoro]. Poi, nell'area di lavoro, selezionare il nodo 2, che è la testa della colonna anteriore, in modo che risulti la nuova origine dell'area di lavoro. Il reticolo della griglia cambierà la sua posizione.

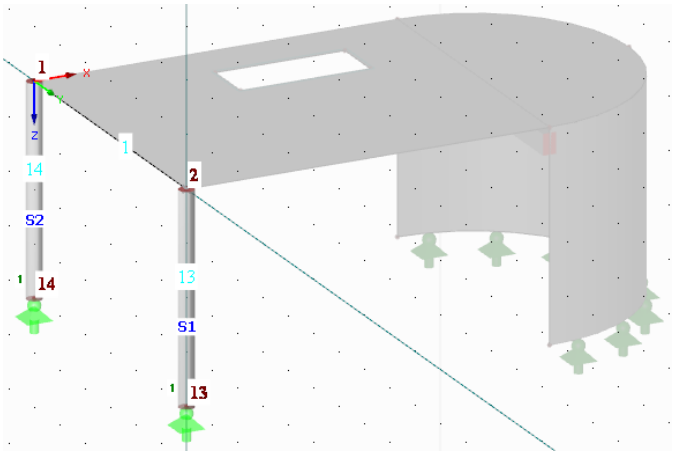
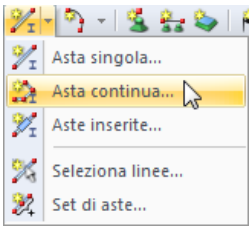


Figura 4.29 Nuova origine nel nodo 2

4.5.1.1 Definizione di aste continue



Si vuole creare l'intelaiatura del tetto ad una falda come una catena poligonale. Aprire l'elenco [Nuove aste continue] e selezionare la voce di menu *Asta continua*.

Si aprirà la finestra di dialogo *Nuova asta*. Per prima cosa, cambiare il *Tipo di asta* in **Trave**.

Come mostrato in figura 4.19 a pagina 25, creare una sezione trasversale per l'*Inizio dell'asta* usando il pulsante [Crea nuova sezione trasversale all'inizio dell'asta]. Si aprirà la finestra di dialogo *Nuova sezione trasversale* e cliccare il pulsante [HE-A]
nella parte superiore. Poi, nella finestra di dialogo *Sezioni trasversali laminate - Sezioni ad I*, selezionare la sezione trasversale **HE A 300** dalla tabella delle sezioni trasversali del tipo HE A. Per le sezioni trasversali laminate RFEM preimposta il numero
2 - Acciaio S 235 come *Materiale*.

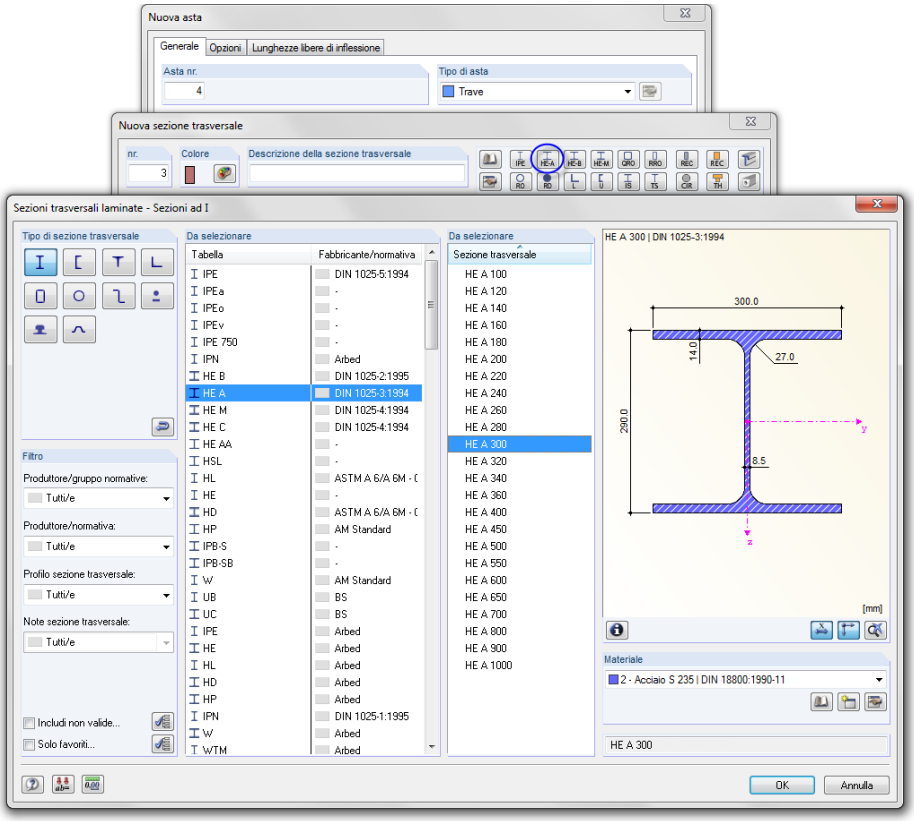


Figura 4.30 Selezione di HE A 300 nella libreria

Confermare tutte le finestre di dialogo con [OK].

Tornando indietro nell'area di lavoro, definire tre aste dell'intelaiatura in una volta facendo clic sui seguenti nodi e sui punti della griglia:

- Nodo 1
- Punto della griglia **0,000/-6,000/-3,000** (l'origine della griglia è stata modificata)
- Punto della griglia **0,000/0,000/-3,000** (l'inclinazione sarà regolata in seguito)
- Nodo 2

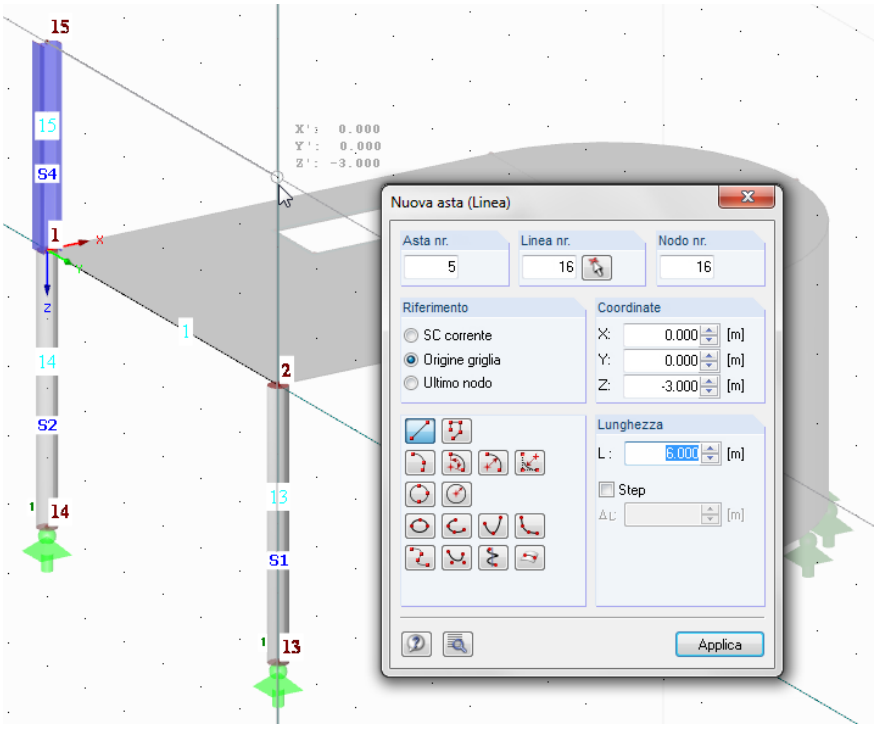


Figura 4.31 Definizione delle aste continue

Quando l'ultimo nodo viene definito, fare doppio clic due volte nell'area di lavoro vuota per uscire dalla modalità di input.

Entrambe le colonne nella nostra struttura sono connesse rigidamente ai nodi dell'impalcato 1 e 2. Sebbene questo tipo di vincolo difficilmente possa essere costruito nella realtà, nell'esempio si procederà senza la modellazione delle proprietà della cerniera e si accetterà questa semplificazione.

4.5.1.2 Stira travi orizzontali

Il tetto ad una falda ha un'inclinazione di 8°. Ecco perché si deve regolare la trave orizzontale.

Disegnare una finestra selezionata intorno all'asta *5* comprendente entrambe le estremità dell'asta. Poi, nella barra degli strumenti

selezionare **Stira** nel menu **Modifica**

per aprire la finestra di dialogo *Stira 3D*.

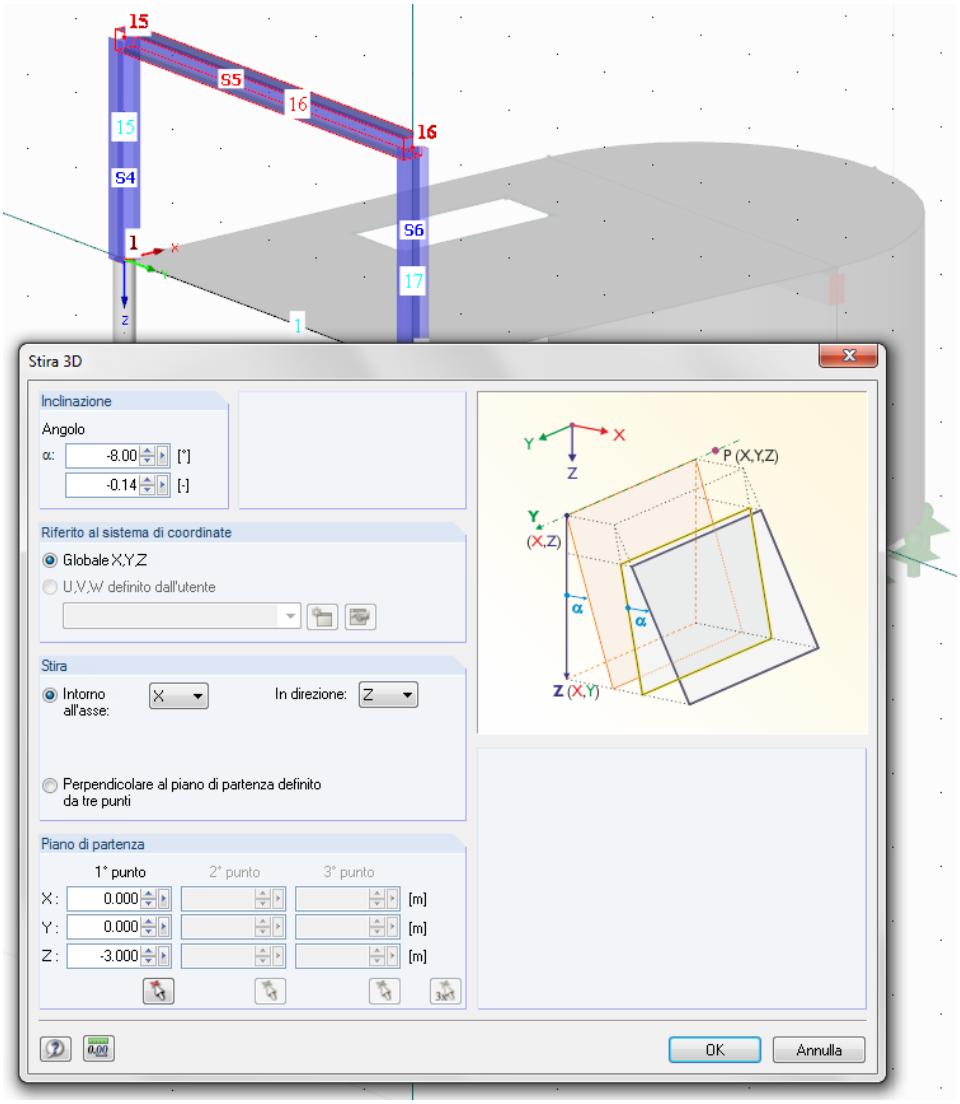


Figura 4.32 Regolazione dell'inclinazione della trave orizzontale

Si modificherà l'inclinazione della trave di **-8°** *Intorno all'asse* **X**. Si dovrà introdurre un valore negativo siccome gli oggetti saranno ruotati in senso antiorario intorno all'asse X. Lo stiramento viene applicato in *direzione* verticale **Z**. Infine, definire il *1°punto* dell'asse di rotazione usando il pulsante [Seleziona primo punto dell'asse di rotazione]. Selezionare il nodo *15* avente le coordinate **0,000/0,000/-3,000** e confermare con [OK] l'inserimento.

4.5.1.3 Vincoli interni delle travi

Definizione del vincolo interno

La trave orizzontale non può trasferire tutti i momenti flettenti all'interno colonna a causa di questo tipo di collegamento. Quindi, si definirà un vincolo interno che sarà poi assegnato ad entrambi i lati della trave.

Questa volta si userà il navigatore *Dati*: fare clic con il pulsante destro del mouse sulla voce *Vincoli interni delle aste* e selezionare *Nuovo vincolo interno dell'asta* nel menu di scelta rapida.

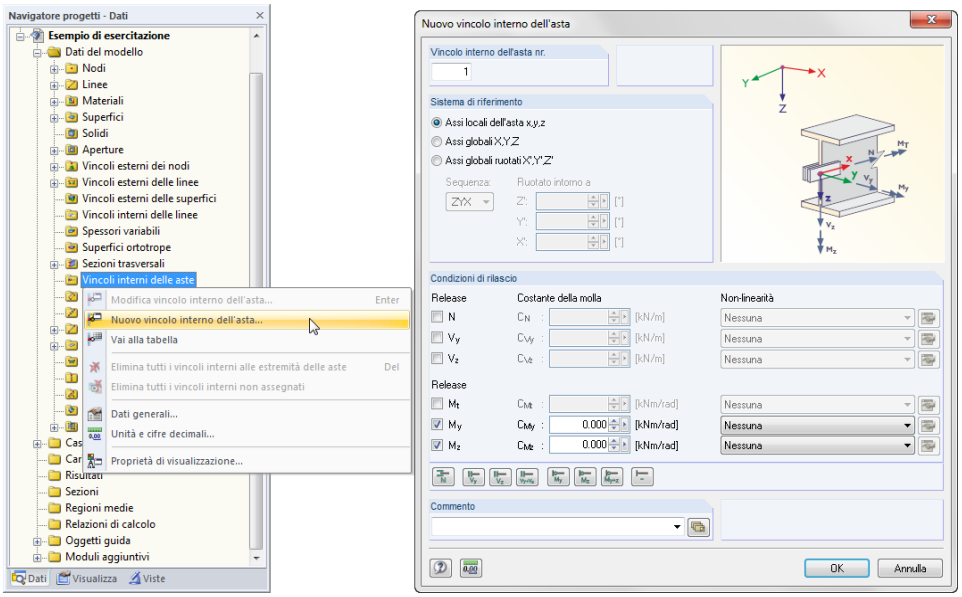


Figura 4.33 Apertura della finestra di dialogo *Nuovo vincolo interno dell'asta* nel navigatore *Dati*

Nella finestra di dialogo *Nuovo vincolo interno dell'asta*, gli spostamenti o le rotazioni potranno essere selezionati in modo che sono rilasciati alla fine dell'asta. Nell'esempio, le rotazioni sono φ_y e φ_z. Quindi, nessun momento flettente può essere trasferito al nodo.

Chiudere la finestra di dialogo cliccando sul pulsante [OK] senza modificare alcun dato.

Assegnazione dei vincoli interni

Per aprire la finestra di dialogo *Modifica asta* sarebbe possibile fare doppio clic su un'asta e assegnare i vincoli interni. Tuttavia, usare una funzione speciale che è disponibile nel seguente menu:

> nel menu **Inserisci**, selezionare **Dati del modello**, puntare su **Vincoli interni delle aste** e selezionare **Assegna alle aste graficamente**.

Apparirà la finestra di dialogo *Assegna vincoli interni delle aste graficamente*. Aprire l'elenco e selezionare il tipo di vincolo interno 1 appena definito. Poi, fare clic su [OK].

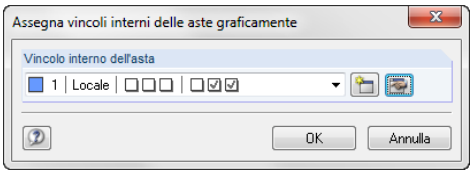


Figura 4.34 Finestra di dialogo *Assegna vincoli interni delle aste graficamente*

Nell'area di lavoro è possibile vedere che RFEM ha applicato una divisione ad un terzo della lunghezza delle aste. Facendo clic sull'estremità di un'asta è possibile definire il vincolo interno graficamente sulla stessa.

Ora fare clic sull'asta *5* nella sua zona centrale per assegnare il vincolo interno ad entrambi i lati.

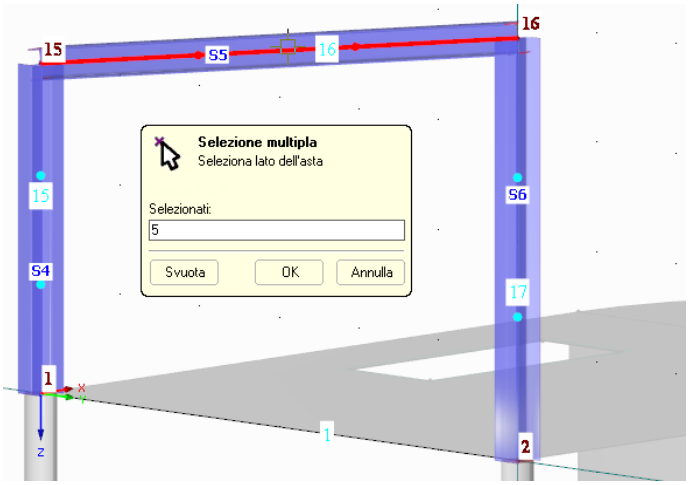


Figura 4.35 Assegnazione grafica dei vincoli interni

4.5.1.4 Inverti orientamento asta

Potrebbe essere comodo per la rappresentazione grafica delle imperfezioni che l'orientamento dell'asta della colonna fosse diretta dal basso verso l'alto. Quindi, si cambierà l'orientazione della colonna in acciaio a destra, usando una funzione del menu di scelta rapida dell'asta.

Muovendo il puntatore vicino all'asta 6, si può vedere la freccia di orientamento apparire sull'asta. Fare clic con il pulsante destro del mouse sull'asta e aprire il suo menu di scelta rapida dove selezionare la voce di menu *Inverti orientamento asta*.

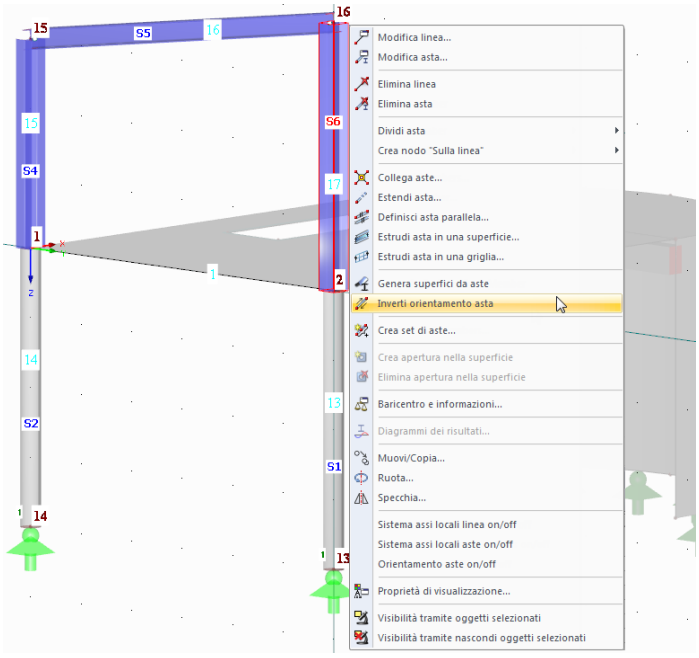
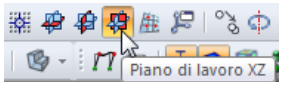


Figura 4.36 Menu di scelta rapida dell'asta

4.5.1.5 Copia del telaio

La seconda intelaiatura del tetto ad una falda può essere creata molto velocemente come copia.

Disegnare una finestra di selezione attraverso l'intelaiatura, includendo le aste da *4* a *6*. Non includere nessuna colonna in calcestruzzo! Se necessario, è possibile ruotare la struttura per impostare la vista favorevole. È anche possibile fare clic sulle aste una dopo l'altra tenendo premuto il tasto [CTRL].



Prima di creare la copia, selezionare il [Piano di lavoro XZ] in modo tale che sarà possibile copiare la struttura fuori dal piano dell'intelaiatura.

Premere il tasto [CTRL]. Ora, prendere la selezione vicino al punto del piede della colonna più elevata (nodo 2) e spostarla alla fine dell'arco nella parte superiore della parete. Il simbolo [+] vicino al puntatore del mouse indica che gli oggetti stanno per essere copiati. Non appena le coordinate dei punti della griglia **7,000/6,000/0,000** sono visualizzate nella barra di stato, rilasciare il pulsante del mouse.

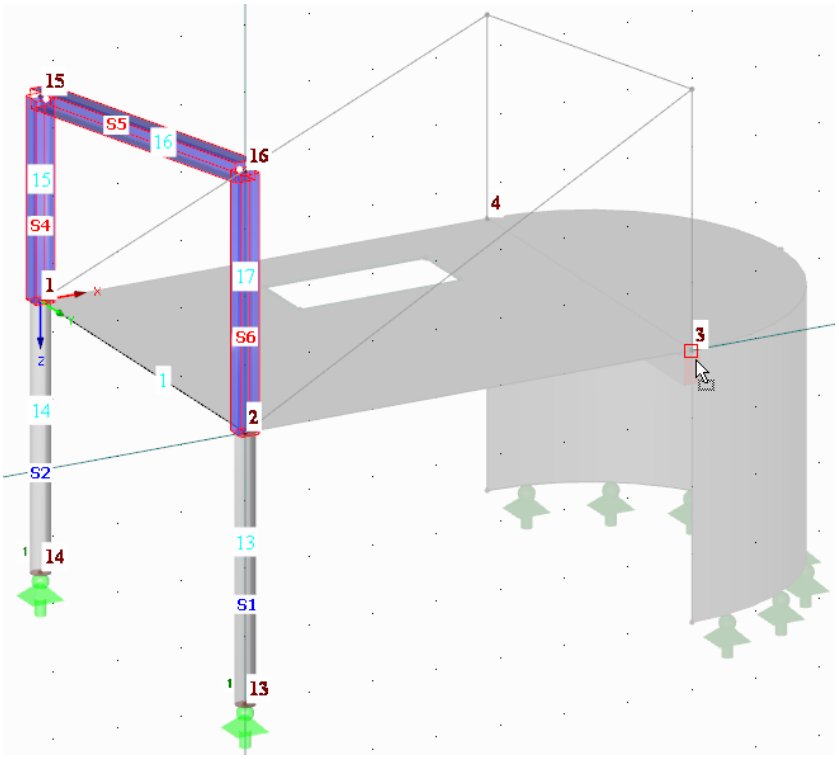
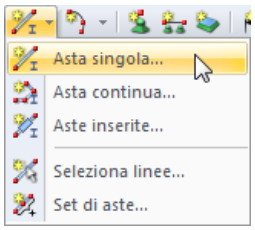


Figura 4.37 Copia del telaio con la funzione drag-and-drop

I nodi e le linee sono fusi automaticamente insieme con oggetti precedentemente definiti.

4.5.2 Arcarecci

4.5.2.1 Definizione delle aste



Ancora una volta, useremo l'elenco [Nuova asta] per la definizione di entrambi gli arcarecci. Selezionare l'opzione *Nuova asta singola* ed aprire la finestra di dialogo *Nuova asta*.

Definire una sezione trasversale per l'*Inizio dell'asta* usando di nuovo il pulsante [Crea nuova sezione trasversale all'inizio dell'asta] (vedere figura 4.19, a pagina 25).

Nella finestra di dialogo *Nuova sezione trasversale*, fare clic sul pulsante [HE-B] nel riquadro superiore. Aprire la finestra di dialogo *Sezioni trasversali laminate - Sezioni ad I* dove selezionare la sezione trasversale **HE B 260** dalla riga delle sezioni trasversali HE B (vedere figura sottostante). Ancora una volta il numero **2 - Acciaio S 235** è preselezionato.

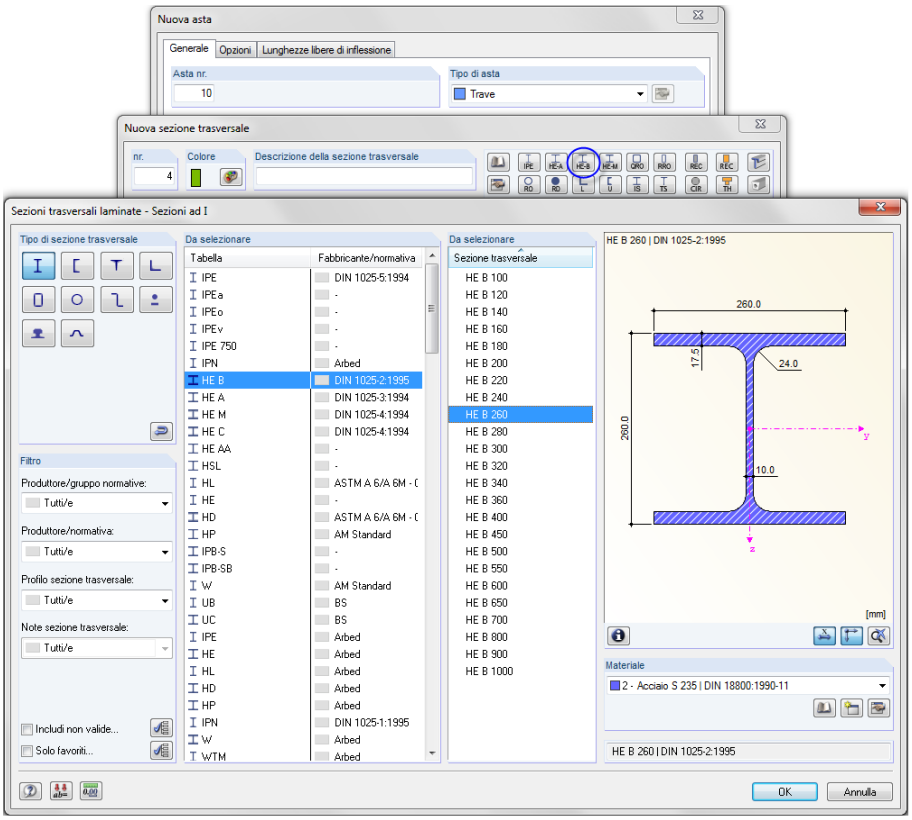


Figura 4.38 Selezione HE B 260 nella libreria

Confermare con [OK] tutte le finestre di dialogo.

Definire l'arcareccio nel cornicione di gronda inferiore cliccando sui nodi **15** e **19** uno dopo l'altro.

Poi cliccare sui nodi **16** e **20** per creare un secondo arcareccio.

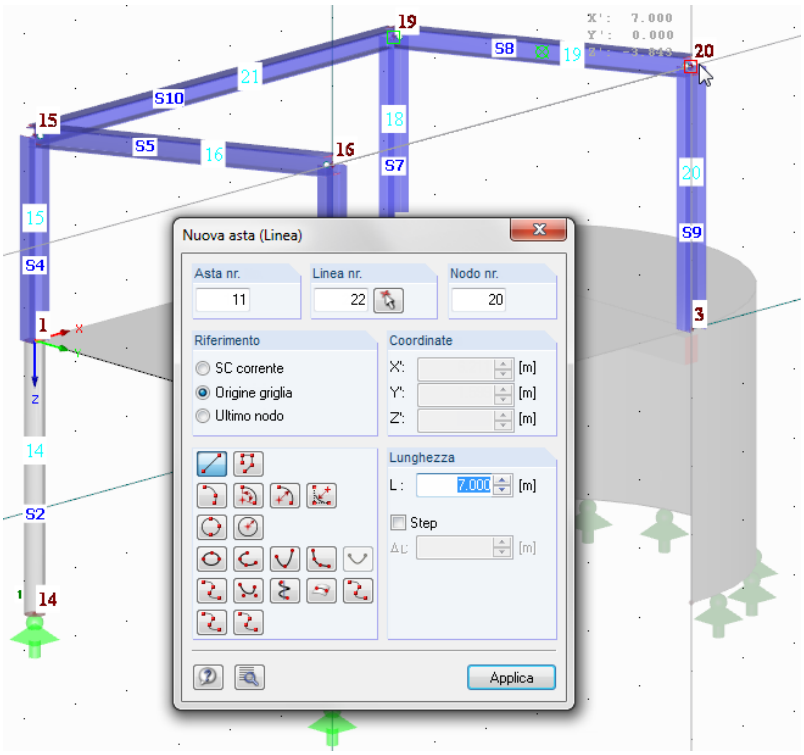


Figura 4.39 Definizione degli arcarecci

Per uscire dalla modalità di input, usare il tasto [ESC] o fare clic con il tasto destro del mouse nell'area di lavoro vuota.

4.5.2.2 Collegamento delle aste con eccentricità

Si vuole collegare eccentricamente gli arcarecci alle colonne dell'intelaiatura. Quindi, si abbasserà la linea del sistema di metà dell'altezza della sezione trasversale delle colonne HE A 300.

Definizione dell'eccentricità

Fare doppio clic sull'arcareccio nel cornicione di gronda superiore (asta 11). Nella finestra di dialogo *Modifica asta*, passare alla scheda di dialogo *Opzioni*. Nella sezione di dialogo *Eccentricità dell'asta*, fare clic sul pulsante [Crea nuova eccentricità dell'asta] per aprire la finestra di dialogo *Nuova eccentricità dell'asta*.

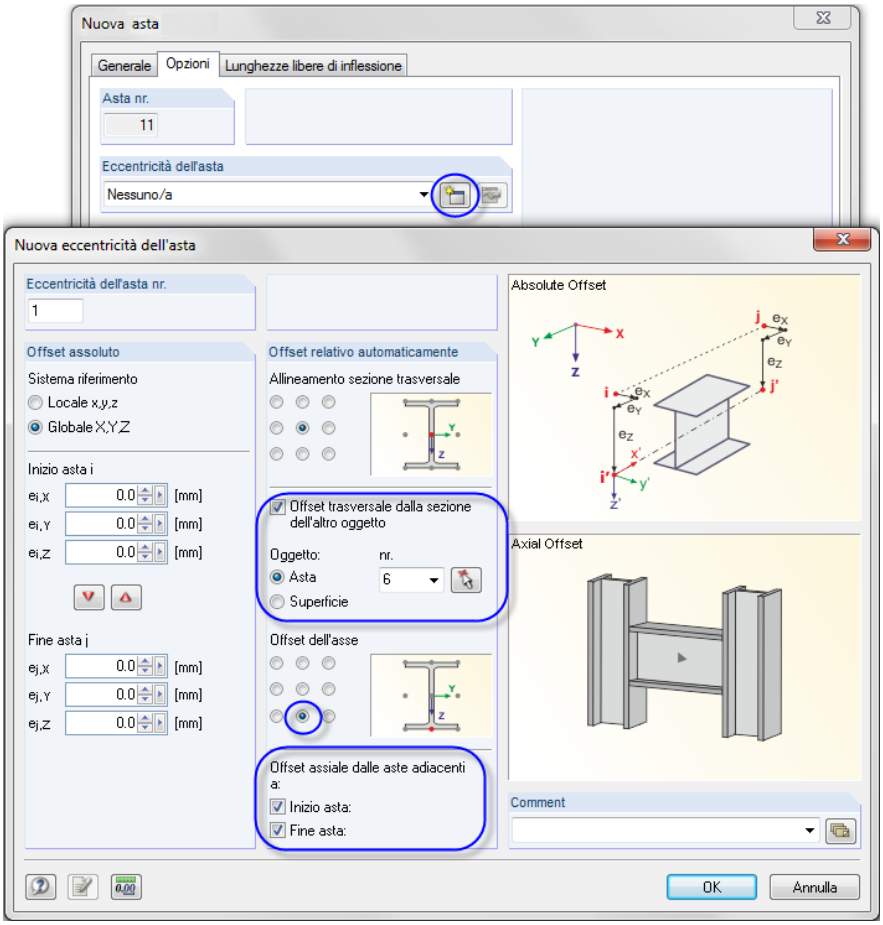


Figura 4.40 Finestra di dialogo *Nuova asta*, scheda *Opzioni* e finestra di dialogo *Nuova eccentricità dell'asta*

Selezionare l'opzione *Offset trasversale dalla sezione trasversale dall'altro oggetto*. Nell'esempio, l'*Oggetto* è la colonna: usare la funzione [Seleziona oggetto nell'area di lavoro] per selezionare graficamente l'**Asta 6**.

Poi, definire l'*Offset assiale* nella direzione dell'asse positivo delle z della sezione trasversale.

Infine, nella sezione di dialogo *Offset assiale delle aste adiacenti a*, spuntare le caselle di controllo **Inizio asta** e **Fine asta** per regolare l'offset su entrambi i lati.

Dopo aver confermato tutte le finestre di dialogo è possibile verificare il risultato con una vista ingrandita (per esempio ingrandendo con la rotazione del pulsante rotellina, ruotando e tenendo premuti il pulsante rotellina ed il pulsante destro del mouse).

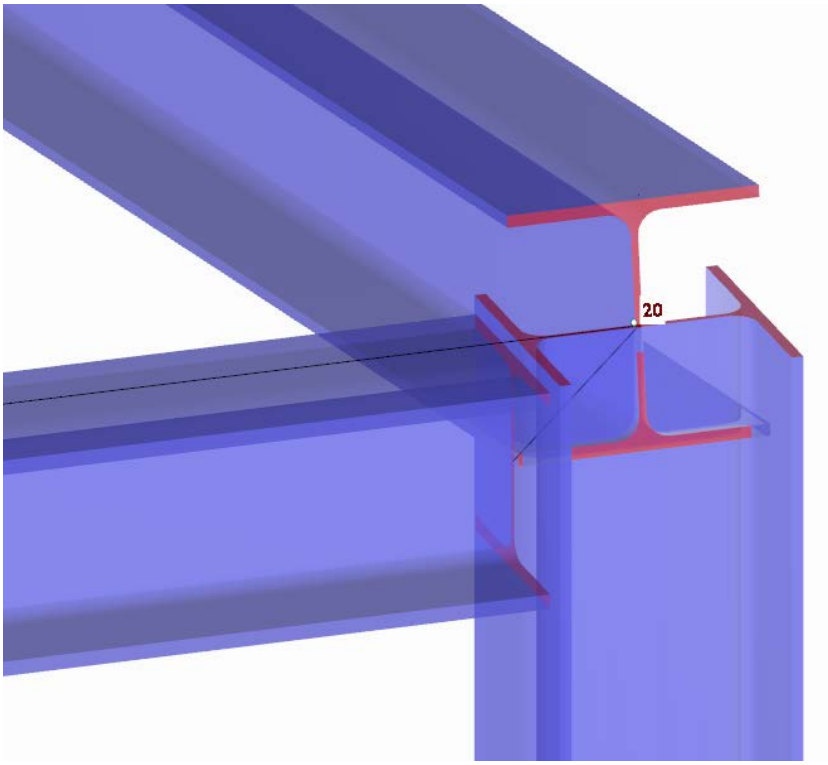


Figura 4.41 Collegamento eccentrico dell'arcareccio nella vista ingrandita

Applicazione dell'eccentricità ad un'altra asta

Per trasferire l'eccentricità al secondo arcareccio, usare le tabelle di input.

Impostare la tabella 1.17 *Aste* elencante numericamente i dati di tutte le aste che sono state definite fino adesso. Quando si fa clic nella riga 10 della tabella, si vedrà che il secondo arcareccio viene evidenziato nell'area di lavoro e visualizzato nel colore di selezione.

1.17 Aste

Asta nr.	A Linea nr.	B Tipo di asta	C Sezione trasversale nr. Inizio	D Fine	E Rotazione asta Tipo	F β [°]	G Vincolo int. nr. Inizio	H Fine	I Eccentr. nr.	J Division nr.	K Tipo di rastremazione	L Lunghezza L [m]	M Peso W [kg]	N	Com
1	13	Trave	1	1	Angolo	0.00	0	0	0	0		4.000	706.9	Z	
2	14	Trave	1	1	Angolo	0.00	0	0	0	0		4.000	706.9	Z	
3	3	Nervatura	2	2	Angolo	0.00	0	0		0		6.000	1500.0	Y	
4	15	Trave	3	3	Angolo	0.00	0	0	0	0		3.000	266.1	Z	
5	16	Trave	3	3	Angolo	0.00	1	1	0	0		6.059	537.5	YZ	
6	17	Trave	3	3	Angolo	0.00	0	0	0	0		3.843	340.9	Z	
7	18	Trave	3	3	Angolo	0.00	0	0	0	0		7.000	620.9	X	
8	19	Trave	3	3	Angolo	0.00	1	1	0	0		3.000	266.1	Z	
9	20	Trave	3	3	Angolo	0.00	0	0	0	0		6.059	537.5	YZ	
10	21	Trave	4	4	Angolo	0.00	2	0	1	0		3.797	351.7	Z	
11	22	Trave	4	4	Angolo	0.00	0	0	1	0		6.700	620.6	X	
12															
13															

Vincoli esterni delle superfici | Vincoli interni delle linee | Sezioni trasversali | Vincoli interni delle aste | Eccentricità delle aste | Divisioni delle aste | Aste | Nervature

Numero dell'eccentricità definito in Tabella 1.15 (F7 per selezionare)

Figura 4.42 Definizione dell'eccentricità nella tabella 1.17 *Aste*

Posizionare il puntatore nella colonna *I* ed inserire **1**, il numero dell'eccentricità appena definita. È possibile selezionarla dall'elenco.

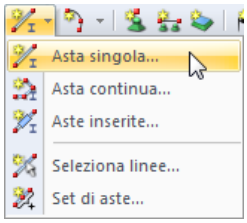
Dopo aver lasciato la cella della tabella con il tasto [TAB] o [↵], si vedrà visualizzata la modifica nella finestra di lavoro.

Allo stesso modo, sarebbe possibile definire un'altra eccentricità per le travi orizzontali. Tuttavia, siccome queste aste sono collegate alle anime delle colonne, trascureremo quei momenti aggiuntivi nell'esempio.

4.5.3 Diagonale

L'asta finale che viene inserita è una diagonale di irrigidimento. Può trasferire solo forze di trazione. Generalmente, le controventature sono definite trasversalmente ma il calcolo nella versione demo è permesso soltanto per 12 aste. Un'asta tesa ha come effetto che il modello venga calcolato non linearmente. In caso di forze di compressione, questa asta viene rimossa dalla matrice di rigidezza (rottura).

4.5.3.1 Definizione dell'asta



Con il pulsante [Nuova asta singola] aprire ancora la finestra di dialogo *Nuova asta* dove si selezionerà la voce **Asta tesa** dalla lista *Tipo di asta*.

Definire una nuova sezione trasversale per l'*Inizio dell'asta* usando il pulsante [Crea nuova sezione trasversale all'inizio dell'asta] (vedere figura 4.19, a pagina 25) che aprirà la libreria delle sezioni trasversali.

Nella finestra di dialogo *Nuova sezione trasversale*, fare clic sul pulsante [L]. Apparirà la finestra di dialogo *Sezioni trasversali laminate - Sezioni ad L* e selezionare la sezione trasversale **L 80x8** dalla tabella delle sezioni trasversali *L*. Il materiale **viene** preimpostato ancora come **2 - Acciaio S 235**.

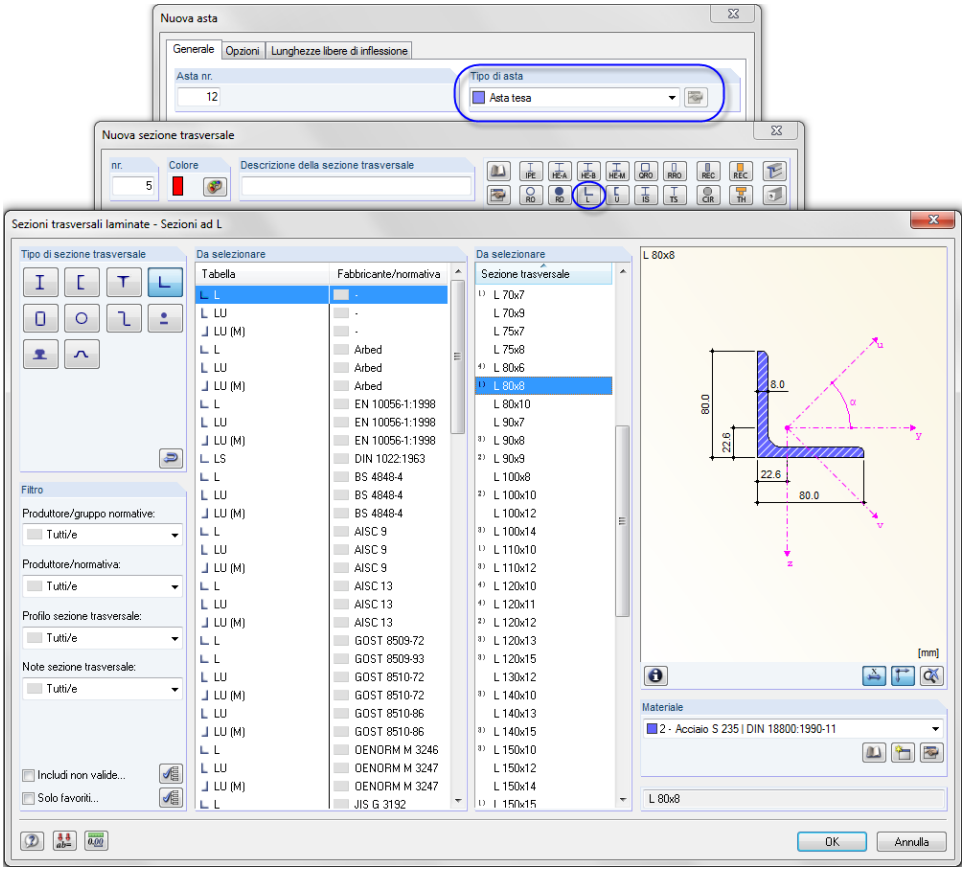


Figura 4.43 Definizione dell'asta tesa con sezione trasversale L 80x8

Confermare tutte le finestre di dialogo con [OK], e poi fare clic sui nodi **15** e **2** uno dopo l'altro per definire la diagonale (vedere figura sottostante).

Per uscire dalla modalità input, usare il tasto [ESC]. È possibile fare clic con il pulsante destro del mouse nell'area di lavoro vuota.

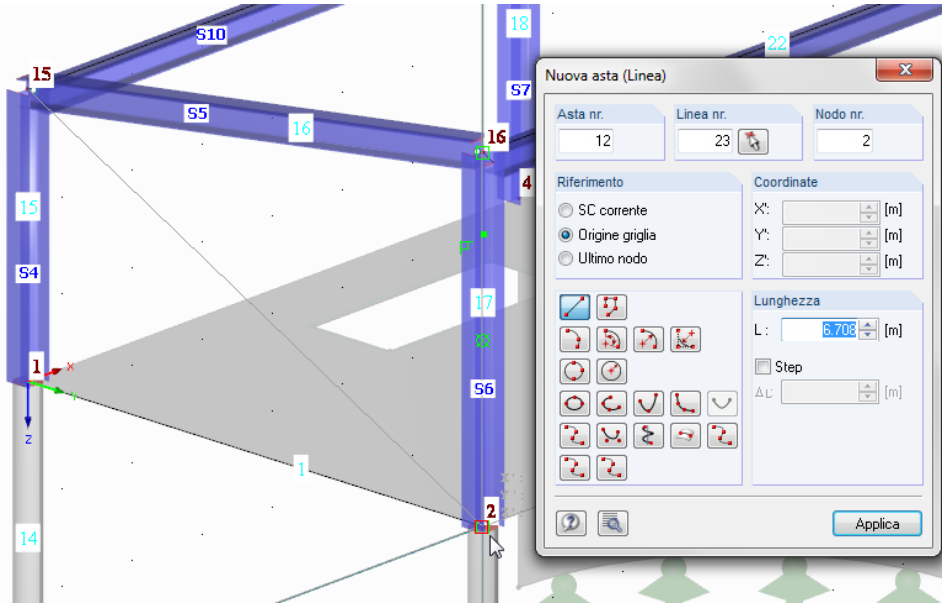


Figura 4.44 Definizione della diagonale

4.5.3.2 Rotazione dell'asta

Un'asta tesa incrementa la rigidezza solo con l'area della sua sezione trasversale. Quindi, vista dal punto di vista strutturale, la rotazione dell'asta non è irrilevante. Per la vista renderizzata, tuttavia, si vuole ruotare la sezione angolare.

Fare doppio clic sull'asta *12* per aprire la finestra di dialogo *Modifica asta* e definire la rotazione dell'asta con **-90°**.

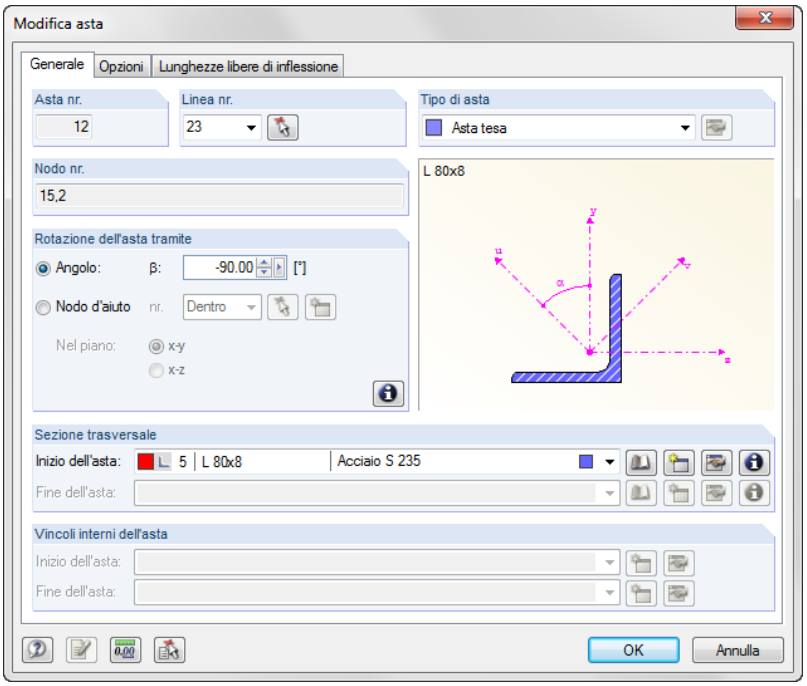


Figura 4.45 Definizione della rotazione dell'asta

È possibile verificare ancora il risultato in una vista ingrandita usando lo zoom e la funzione di movimento (vedere a pagina 10).

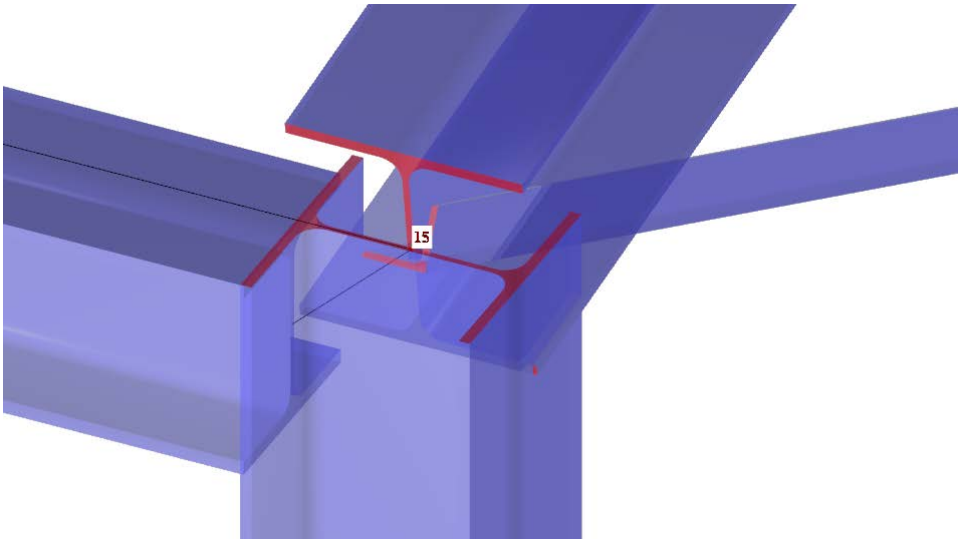


Figura 4.46 Angolo ruotato dell'asta in vista ingrandita

Annulla/ripristina

Se si vuole, in questa vista è possibile [Annulla]re la rotazione dell'asta al fine di verificare la posizione iniziale della sezione trasversale. Con le funzioni predefinite *Annulla* e *Ripristina* che sono già conosciute dalle applicazioni per Windows è possibile anche annullare o ripristinare i dati di input in RFEM.

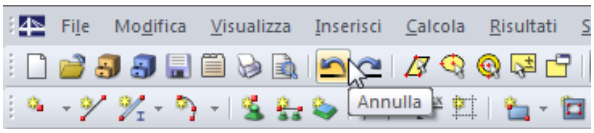


Figura 4.47 I pulsanti *Annulla* e *Ripristina*

Cancellazione della modalità di visibilità

In RFEM le parti visualizzate del modello come trasparenti possono essere riattivate nel navigatore *Viste*: con un clic sul pulsante [Cancella modalità visibilità] tutti gli oggetti saranno visualizzati nuovamente. Con il pulsante della barra degli strumenti [Vista isometrica] è possibile reimpostare la vista spaziale completa.

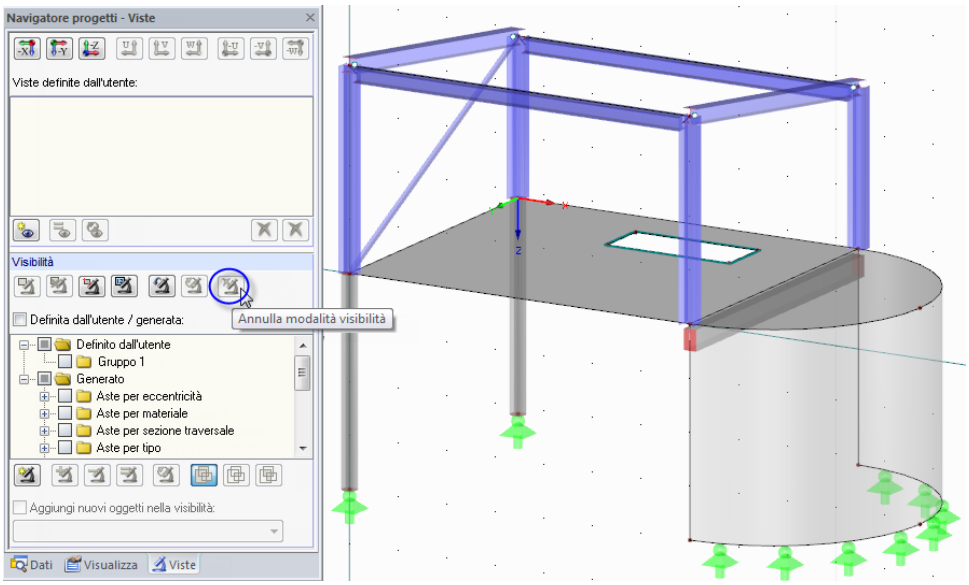


Figura 4.48 Vista spaziale completa del modello

Modifica del colore di assegnazione

Il navigatore *Visualizza* fornisce un'opzione di visualizzazione *Colori nel rendering secondo* criteri particolari. L'impostazione predefinita è la visualizzazione dei colori dei materiali.

È possibile fare clic attraverso le voci di menu per vedere come la visualizzazione cambi. Con l'opzione *Sezione trasversali* per esempio è possibile distinguere i diversi tipi di sezione trasversale a prima vista.

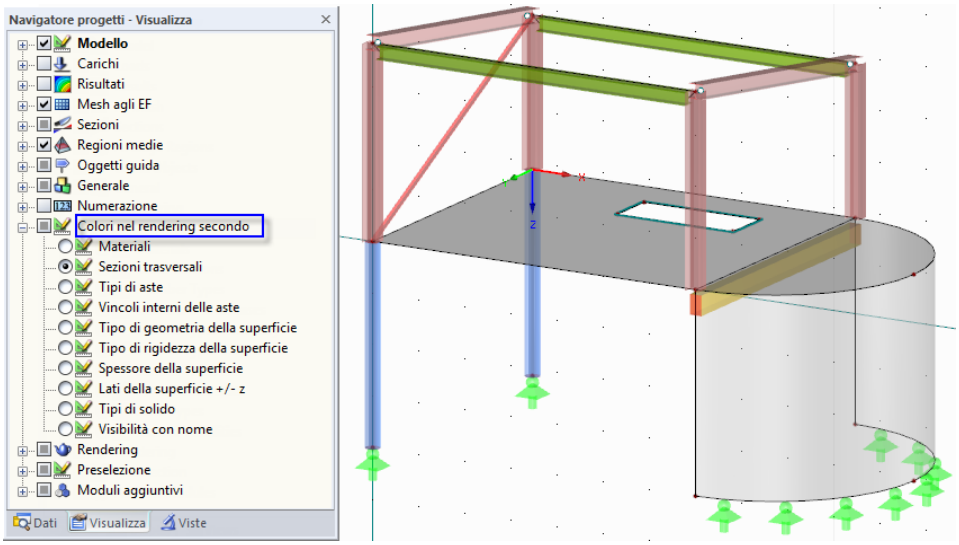


Figura 4.49 Distinzione delle sezioni trasversali grazie ai colori

Per il seguente input reimpostare l'opzione *Materiali*.

4.6 Controllo degli input

Controllo del navigatore *Dati* e delle tabelle

Come precedentemente menzionato, RFEM offre varie possibilità per inserire i dati del modello. L'input grafico viene aggiornato sia nell'albero del navigatore *Dati* sia nelle tabelle. È possibile visualizzare e nascondere il navigatore e le tabelle selezionando **Navigatore** o **Tabella** nel menu **Visualizza**. È anche possibile usare i pulsanti corrispondenti della barra degli strumenti.

Nelle tabelle, gli oggetti del modello sono organizzati in diverse schede. I grafici e le tabelle sono interattivi: per trovare un oggetto nella tabella, per esempio un'asta, impostare la tabella 1.17 *Aste* e selezionare l'asta nell'area di lavoro facendo clic. Si vedrà che la riga di tabella corrispondente verrà evidenziata (vedere figura 4.42, a pagina 42).

È possibile controllare rapidamente i dati numerici dell'input.

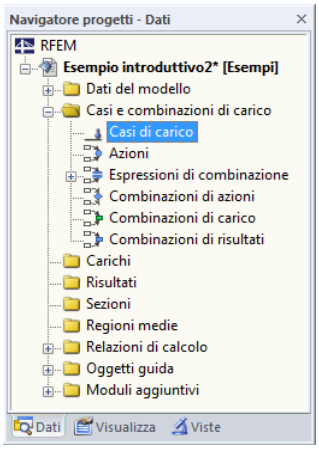
Salvataggio dei dati

Infine, l'immissione dei dati del modello è completa. Per salvare il file,

selezionare **Salva** nel menu **File**

o usare il pulsante della barra degli strumenti mostrato sulla sinistra.

5. Carichi



Il navigatore *Dati* contiene le seguenti voci nella cartella *Casi e combinazioni di carico*:

- Casi di carico
- Azioni
- Espressioni di combinazione
- Combinazioni di azioni
- Combinazioni di carico
- Combinazioni di risultati

Definiremo i carichi nei casi di carico peso proprio, neve e carico del vento. Poi, i casi di carico sono organizzati in azioni e combinati con i coefficienti parziali di sicurezza secondo le espressioni di combinazione della normativa (vedere capitolo 6).

5.1 Caso di carico 1: peso proprio

Il primo caso di carico contiene i carichi agenti permanentemente dal peso proprio, dalla struttura dell'impalcato, dalla pressione del terreno e dalle finiture della copertura (vedere paragrafo 2.3, a pagina 7).

Usare il pulsante [Nuovo carico della superficie] per creare un caso di carico.

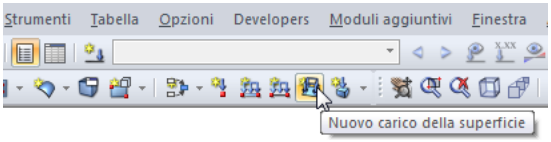


Figura 5.1 Pulsante *Nuovo carico della superficie*

Apparirà la finestra di dialogo *Modifica casi e combinazioni di carico*.

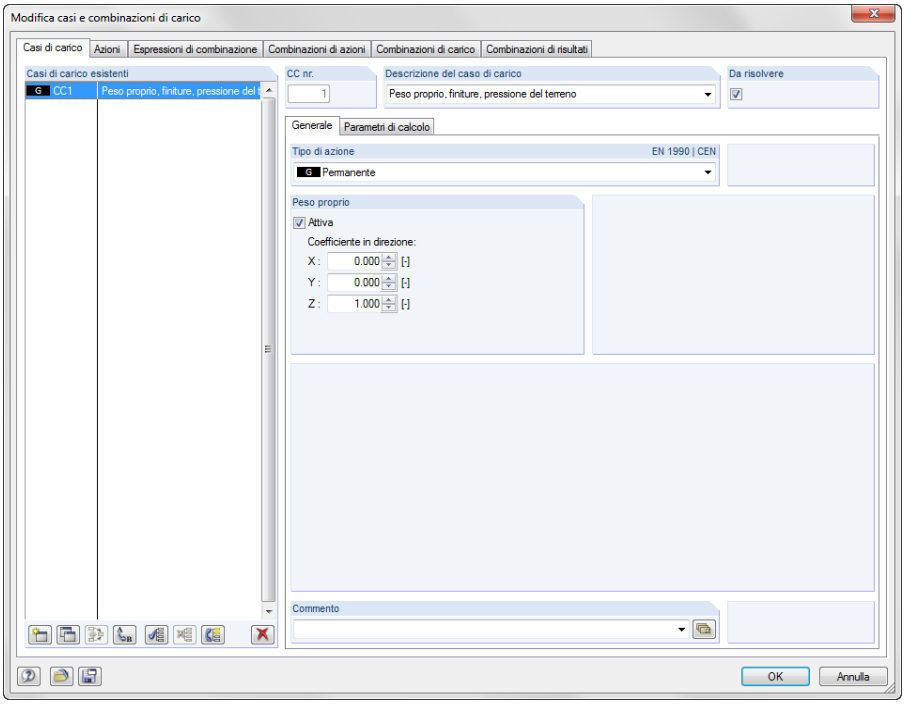
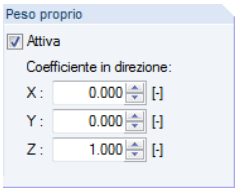


Figura 5.2 Finestra di dialogo *Modifica casi e combinazioni di carico*, schede *Casi di carico* e *Generale*

Il caso di carico nr. *1* è preimpostato con il tipo di azione *Permanente*. Introdurre inoltre la *Descrizione del caso di carico* **Peso proprio, finiture, pressione del terreno**.

5.1.1 Peso proprio



Il *Peso proprio* delle superfici e delle aste in direzione *Z* viene preso in considerazione automaticamente quando in *Attiva* viene specificato un coefficiente pari a *1,000* come già preimpostato.

5.1.2 Struttura dell'impalcato

Confermare l'input cliccando sul pulsante [OK]. Apparirà la finestra di dialogo *Nuovo carico della superficie*.

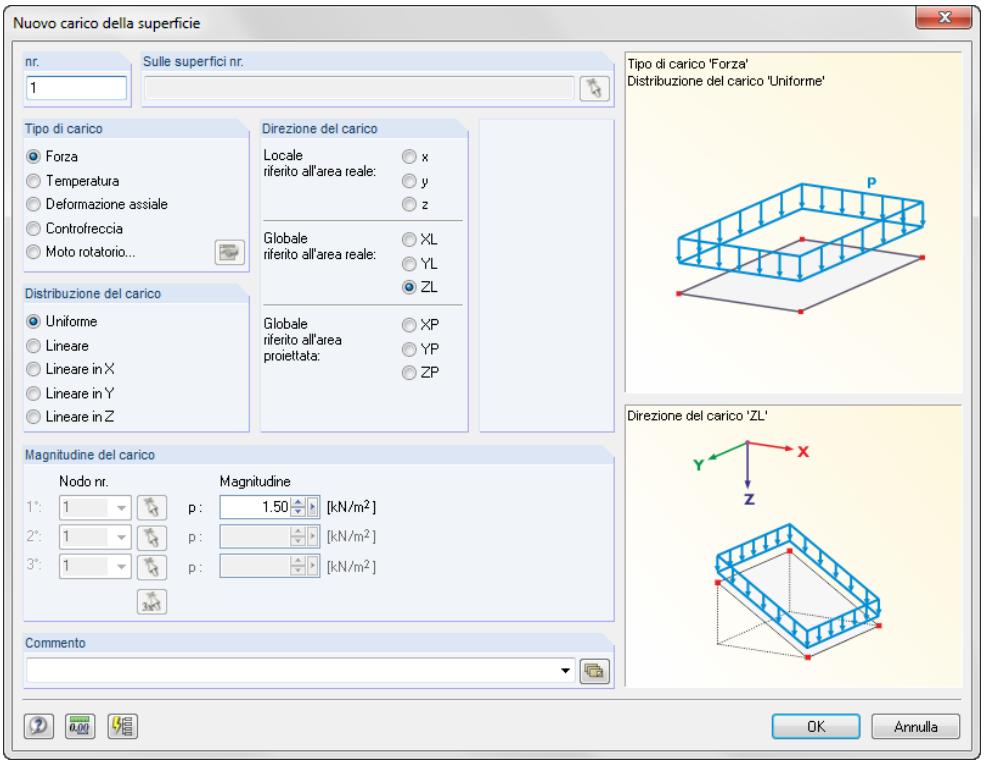


Figura 5.3 Finestra di dialogo *Nuovo carico della superficie*

La superficie dell'impalcato agisce come un tipo di carico *Forza*, la distribuzione del carico è *Uniforme*. Accettare queste preimpostazioni e l'impostazione *ZL* per *Globale riferito all'area reale* nelle sezioni di dialogo *Direzione del carico*.

Nella sezione di dialogo *Magnitudine del carico*, inserire il valore di **1,5** kN/m² (vedere paragrafo 2.3, a pagina 7). Poi, chiudere la finestra di dialogo facendo clic sul pulsante [OK].

Ora, è possibile assegnare il carico graficamente alla superficie dell'impalcato: è possibile vedere che un piccolo simbolo del carico che è apparso vicino al puntatore. Questo simbolo scomparirà non appena si muove il puntatore vicino ad una superficie. Applicare un carico all'impalcato facendo clic sulla superficie **1** (vedere figura 5.4).

Il carico della superficie non viene applicato all'apertura. È possibile vedere un'area non portante carico identificata con il simbolo dell'applicazione di carico.

È possibile nascondere e visualizzare i valori del carico con il pulsante della barra degli strumenti [Valori dei carichi].

Per uscire dalla modalità di input, usare il tasto [ESC]. È possibile anche premere il tasto destro nell'area di lavoro vuota.

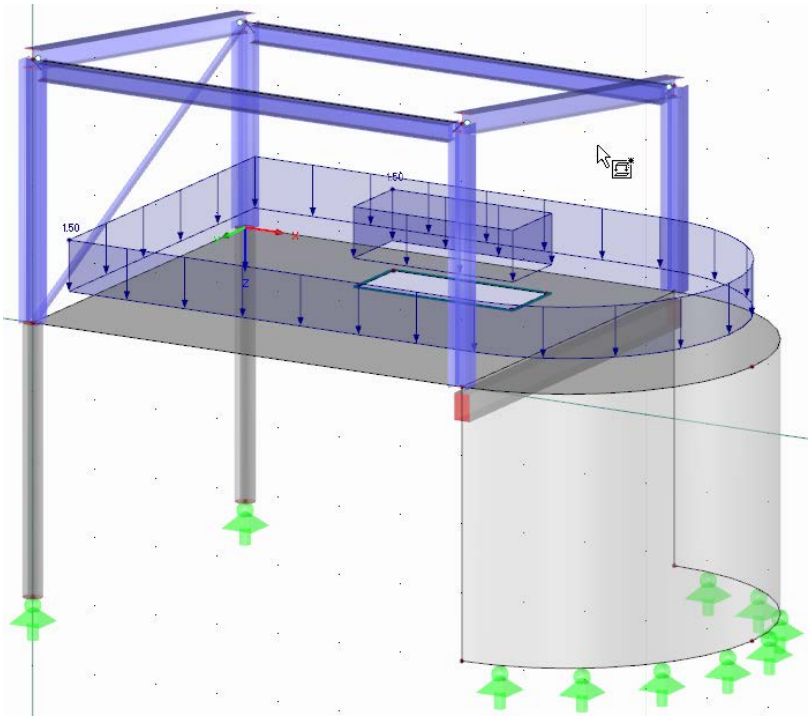


Figura 5.4 Input grafico del carico dell'impalcato

5.1.3 Pressione del terreno

La pressione del terreno sollecitante la parete viene rappresentata con un carico lineare variabile agente perpendicolarmente alla superficie. Questa volta, selezionare prima la superficie curva **2** e poi aprire la corrispondente finestra di dialogo per gli l'inserimento del carico usando il pulsante [Nuovo carico della superficie].

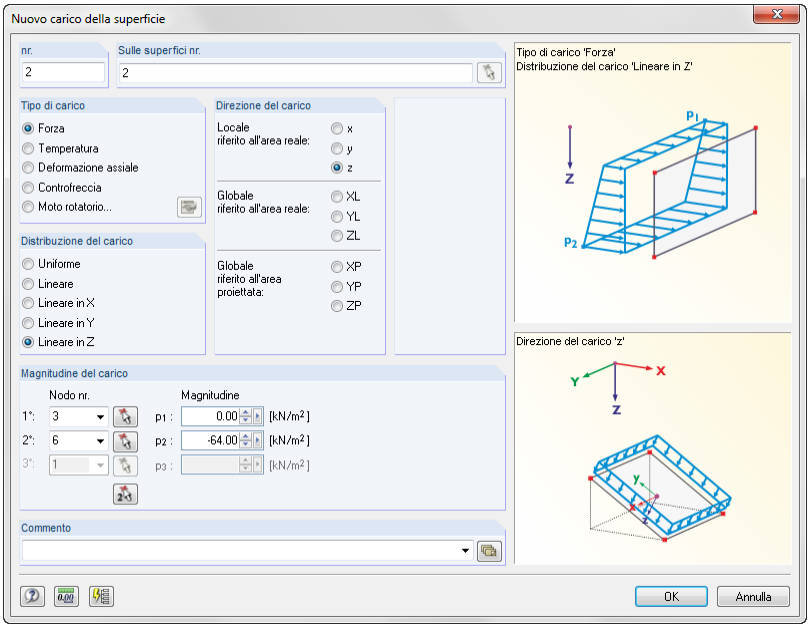
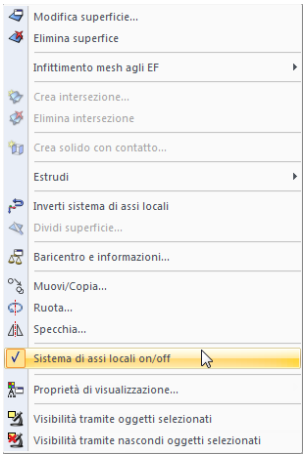


Figura 5.5 Finestra di dialogo *Nuovo carico della superficie*

Il carico è impostato come tipo di carico *Forza* con la *Distribuzione del carico* **Lineare in Z**. Quindi, selezionare **Locale riferito all'area reale z** come *Direzione del carico*.

Per inserire la *Magnitudine del carico*, usare il pulsante [Seleziona] per selezionare le posizioni significative sul modello a cui assegnare le ordinate del carico: fare clic sul *Nodo nr.* **3** ed inserire la *Magnitudine* **0** kN/m^2. Poi, fare clic sul pulsante [Seleziona] per selezionare il *Nodo nr.* **6** a cui assegnare la *Magnitudine* **-64** kN/m^2 (vedere paragrafo 2.3, a pagina 7). Introdurre un carico con un numero negativo perché l'asse locale z della superficie è diretto verso l'esterno.



Visualizzazione dei sistemi di assi locali

Dopo la conferma dei dati della finestra di dialogo facendo clic su [OK], si vedrà il carico variabile della superficie visualizzato nel modello, che aumenta verso il basso ed è agente perpendicolarmente al guscio. Usare il menu di scelta rapida mostrato a sinistra (appare quando si fa clic con il pulsante destro del mouse sulla superficie) per visualizzare gli assi della superficie locale.

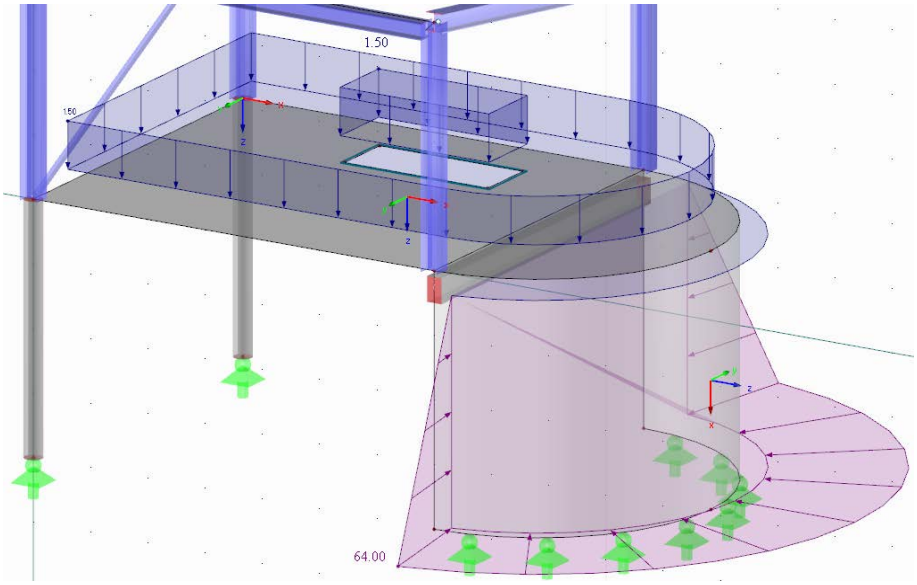


Figura 5.6 Carico della superficie linearmente variabile (pressione del suolo) con la visualizzazione degli assi locali della superficie

5.1.4 Carico della copertura

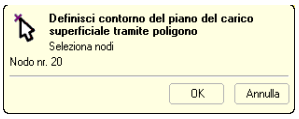
Anche i carichi dovuti alle finiture del tetto (copertura del tetto, struttura di sostegno) agiscono come carico permanente. Per l'applicazione dei carichi agenti sulle superfici della costruzione in acciaio, RFEM offre uno strumento che è in grado di convertire i carichi della superficie in carichi delle aste.

Per aprire la finestra di dialogo del generatore,

> puntare su **Genera carichi** nel menu **Strumenti**, e poi selezionare **delle aste da carichi superficiali tramite piano**.

Nella finestra di dialogo *Converti carichi superficiali in carichi delle aste tramite piani*, specificare le seguenti impostazioni (vedere figura 5.7):

La *Direzione del carico superficiale* della struttura della copertura è *Globale relativa all'area proiettata* **ZL** con la *Magnitudine del carico superficiale* pari a **1,2** kN/m^2 (vedere paragrafo 2.3, a pagina 7).



Poi, definire graficamente il piano del carico della superficie con il pulsante [Seleziona]: nell'area di lavoro, fare clic uno dopo l'altro, sui nodi dei quattro vertici della superficie della copertura **16**, **15**, **19** e **20**. Infine, chiudere con [OK] la finestra per la selezione.

La struttura portante della copertura introduce i carichi della copertura stessa (non visualizzati nel modello) nel sistema strutturale lungo gli arcarecci. Questo implica: entrambe le travi

orizzontali del tetto ad una falda non prendono parte al trasferimento dei carichi della copertura. Quindi, devono essere escluse dalla generazione del carico. Usare il pulsante [Seleziona] mostrato a sinistra, disponibile nella sezione di dialogo *Rimuovi dall'influenza*, per selezionare graficamente le travi orizzontali nell'area di lavoro (asta **8** o **5**). Fare clic su [OK] nella finestra per la selezione. In seguito, la finestra di dialogo del generatore dovrebbe apparire come segue.

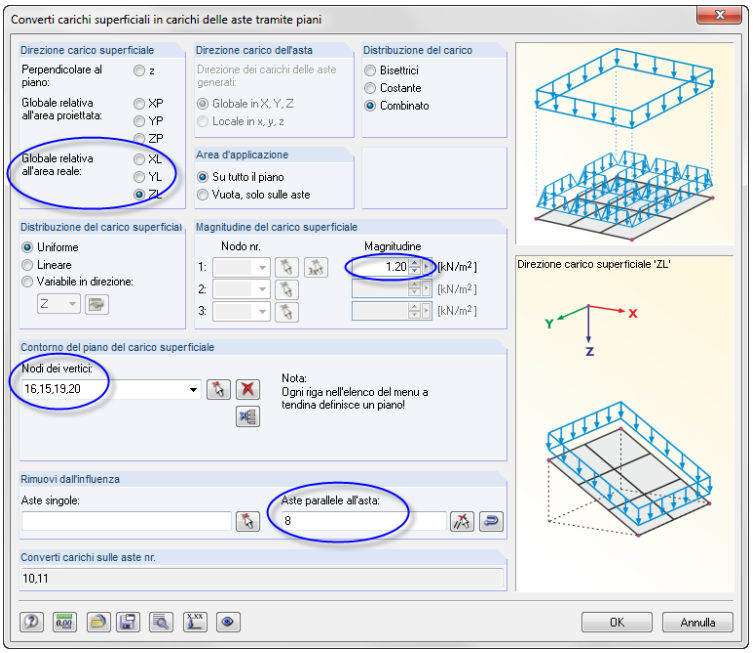
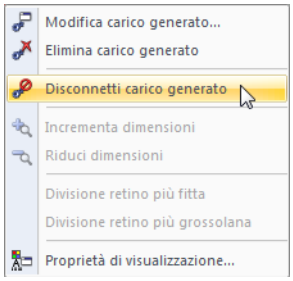


Figura 5.7 Finestra di dialogo *Converti carichi superficiali in carichi delle aste tramite piani*

Confermare con [OK] le impostazioni del dialogo. Apparirà una finestra di dialogo *Informazioni* mostrante i dati sulla conversione dei valori del carico della superficie in carichi dell'asta. Confermare anche questi dati della finestra di dialogo.



I carichi sono rappresentati come carico superficiale. Per visualizzare i carichi generati agenti su entrambi gli arcarecci, fare clic con il tasto destro sul carico ed aprire il menu di scelta rapida dove selezionare l'opzione *Disconnetti carico generato*.

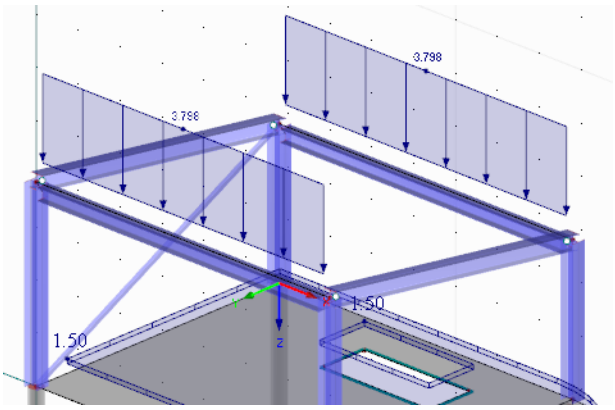


Figura 5.8 Carichi delle aste dai carichi della superficie sugli arcarecci

Tuttavia fare clic su [Annulla] per invalidare questo specifico passo: i parametri di input inseriti nella finestra di dialogo del generatore vengono persi per i carichi disconnessi. Non sarebbe più possibile nel caso di successive modifiche, per esempio, regolare la magnitudine del carico.

Ora, l'input è completo per il caso di carico *Peso proprio*.

5.2 Caso di carico 2: sovraccarichi

Creare un nuovo caso di carico, prima di inserire i sovraccarichi. Per aprire la corrispondente finestra di dialogo,

puntare su **Casi e combinazioni di carico** nel menu **Inserisci** e selezionare **Caso di carico**,

o usare il corrispondente pulsante nella barra degli strumenti (a sinistra dell'elenco dei casi di carico).

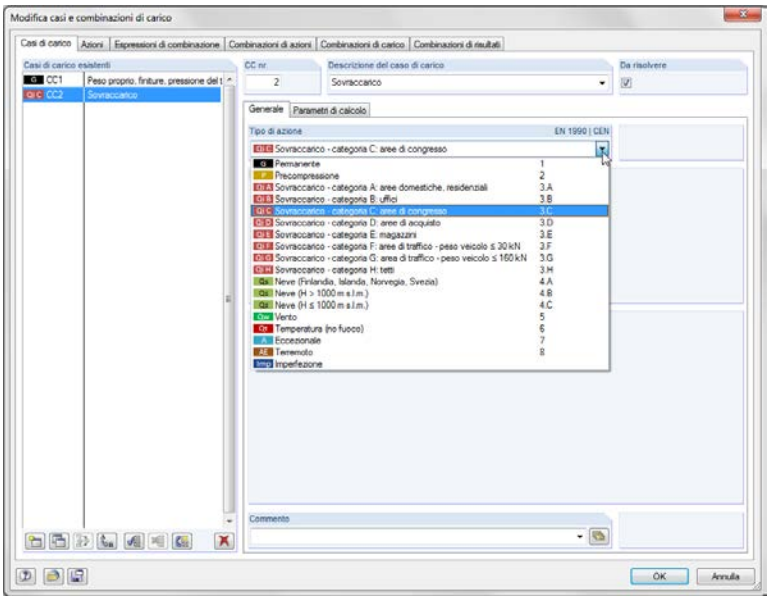


Figura 5.9 Finestra di dialogo *Modifica casi e combinazioni di carico*, scheda *Casi di carico*

Per la *Descrizione del caso di carico* introdurre **Sovraccarico**, oppure scegliere la voce dall'elenco.

Cambiare il *Tipo di azione* a **Q_i C Sovraccarico - categoria C: aree di congresso** (vedere paragrafo 2.3, a pagina 7) grazie all'uso dell'elenco per la selezione. Questa classificazione è importante per i coefficienti parziali di sicurezza ed i coefficienti di combinazione delle combinazioni di carico.

5.2.1 Impalcato

Scegliere una nuova opzione di input per inserire il carico della superficie: per prima cosa, selezionare la superficie dell'impalcato *1* con un clic del mouse. Ora, quando si aprirà la finestra di dialogo con il pulsante [Nuovo carico della superficie], sarà possibile vedere che il numero della superficie è già stato inserito.

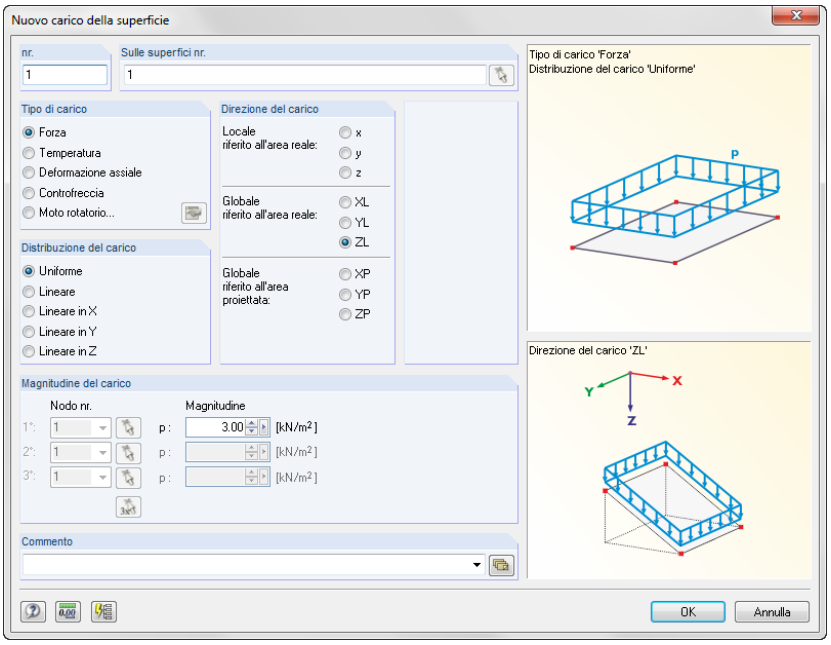


Figura 5.10 Finestra di dialogo *Nuovo carico della superficie*

Il sovraccarico agisce come un tipo di carico *Forza*, la distribuzione del carico è *Uniforme*. Accettare queste preimpostazioni e l'impostazione *ZL* per *Globale* nella sezione di dialogo *Direzione del carico*.

Nella sezione di dialogo *Magnitudine del carico*, inserire un valore di **3** kN/m² (vedere paragrafo 2.3, a pagina 7). Poi, chiudere la finestra di dialogo facendo clic su [OK].

5.2.2 Bordo dell'apertura

È più facile applicare il carico della linea sul bordo dell'apertura quando si massimizza la visualizzazione di quest'area usando la funzione *Zoom* o il pulsante rotellina.

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

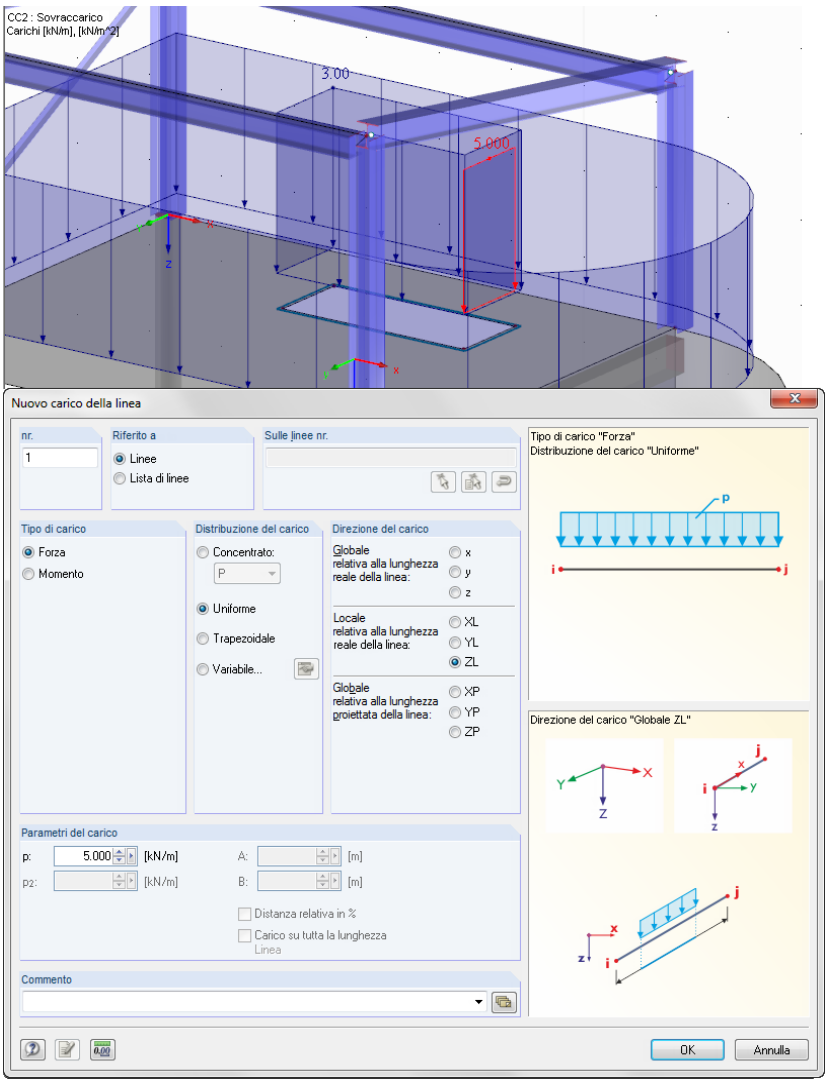


Figura 5.11 Finestra di dialogo *Nuovo carico della linea*

Il tipo di carico della linea come *Forza* con una distribuzione del carico *Uniforme* agisce nella direzione del carico *ZL*.

Nella sezione di dialogo *Parametri del carico*, inserire **5** kN/m. Dopo aver fatto clic sul pulsante [Ok] cliccare sulla linea **11** nel bordo di apertura (controllare con la visualizzazione nella barra di stato).

Per chiudere la modalità di input, usare il tasto [ESC] o fare clic con il pulsante destro del mouse nell'area di lavoro vuota.

5.3 Caso di carico 3: neve

Ancora una volta, creare un [Nuovo caso di carico] per inserire il carico da neve.

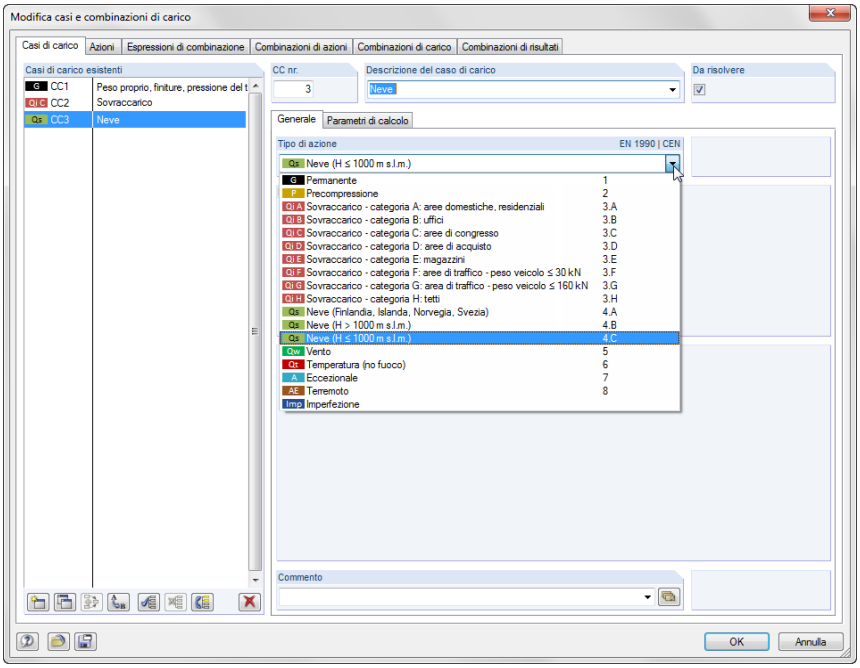


Figura 5.12 Finestra di dialogo *Modifica casi e combinazioni di carico*, scheda *Casi di carico*

Per la *Descrizione del caso di carico* introdurre **Neve**, oppure scegliere la voce dall'elenco.

Selezionare il *Tipo di azione* a **Q_s Neve (H ≤ 1000 m s.l.m.)**.

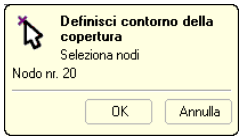
5.3.1 Copertura

Per immettere il carico della neve per il tetto monofalda, useremo ancora una volta il generatore di carichi. Per aprire la finestra di dialogo corrispondente,

puntare su **Genera carichi** nel menu **Strumenti**, poi selezionare **Da carichi da neve** e **Copertura piana/a una falda**.

Si aprirà la finestra di dialogo *Genera carichi da neve - Copertura piana/a una falda* e definire i seguenti input (vedere figura 5.13).

Selezionare i *Parametri del carico da neve* secondo l'Appendice nazionale tedesco con *Numero della zona* **2**. Cambiare inoltre, il valore dell'*Altitudine* a **500** m (vedere paragrafo 2.3, a pagina 7).



Poi, definire graficamente la *Geometria della copertura* usando il pulsante [Seleziona]: cliccare i nodi dei quattro vertici per la superficie di copertura **16**, **15**, **19** e **20** uno dopo l'altro (vedere la finestra per la selezione mostrata a sinistra).

Controllare se il nuovo **CC3** sia impostato nella sezione di dialogo *Caso di carico da generare*.

Si vogliono creare *Carichi delle aste*, ma entrambe le travi del tetto monofalda non forniscono un contributo al trasferimento del carico (i carichi della neve sono introdotti nel sistema strutturale con la struttura portante del tetto per mezzo degli arcarecci). Si userà il pulsante [Seleziona] mostrato a sinistra, disponibile nella sezione di dialogo *Rimuovi dall'influenza*, per selezionare graficamente una delle le travi orizzontali (asta **8** o **5**).

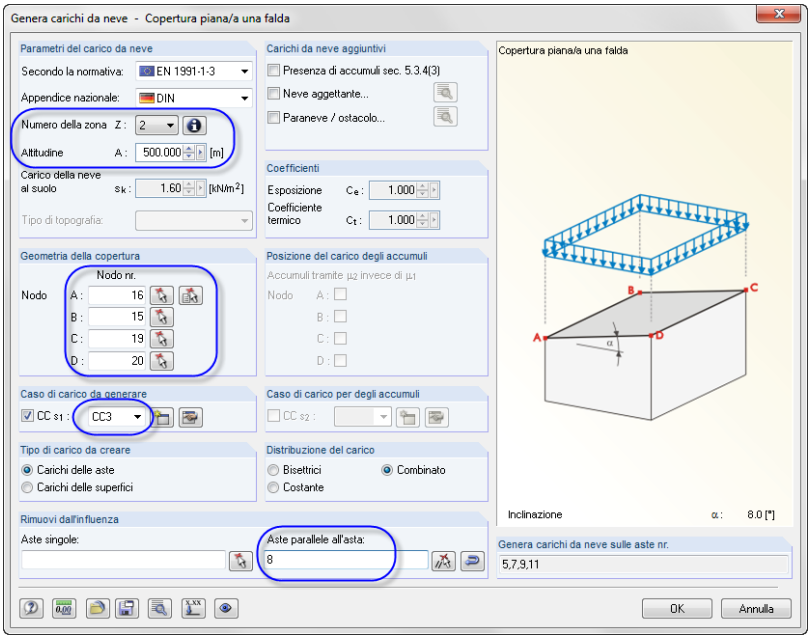
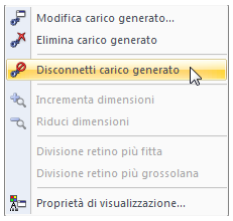


Figura 5.13 Finestra di dialogo *Genera carichi da neve - Copertura piana/a una falda*



Confermare con [OK] le impostazioni del dialogo. Apparirà una finestra di dialogo *Informazioni* mostrante i dati sulla conversione dei valori del carico della superficie in carichi dell'asta. Confermare anche questi dati della finestra di dialogo. Il carico è rappresentato come un carico della superficie della copertura con un valore di 1,282 kN/m^2.

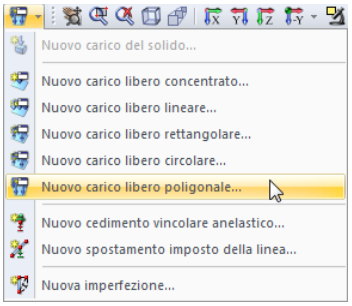
Per visualizzare i carichi generati agenti su entrambi gli arcarecci, è possibile usare l'opzione *Disconnetti carico generato* che è disponibile nel menu di scelta rapida del carico. In questo modo, è possibile rendere visibile per ognuna delle aste entrambi i carichi di 4,023 kN/m.

I carichi separati devono essere cancellati immediatamente usando la funzione [Annulla] in modo tale che l'input sia mantenuto nella finestra di dialogo del generatore.

5.3.2 Impalcato

Il carico della neve agisce sull'area semicircolare della superficie dell'impalcato. Siccome la superficie 1 è sollecitata solo parzialmente dalla neve, non è possibile usare la funzione *Nuovo carico della superficie*. Nelle versioni complete e trial di RFEM, sarebbe consigliabile suddividere l'impalcato in due parti al fine di impostare il carico sulla superficie semicircolare in maniera semplificata. Siccome la versione demo permette di inserire soltanto due superfici nel modello, scegliere un'opzione di input più complessa.

Per prima cosa, impostare [Vista in direzione Z]. Poi, selezionare il piano [XY] come nuovo piano di lavoro.



Elenco per i carichi

Definire il carico della neve come *Nuovo carico libero poligonale*. Trovare la corrispondente funzione nell'elenco dei pulsanti della barra degli strumenti [Nuovo caso di carico del solido] (a destra del pulsante [Nuovo carico della superficie]).

Si aprirà la finestra di dialogo *Nuovo carico libero poligonale* (vedere figura 5.14) dove si definirà il carico che agisce *Sulle superfici nr.* **1** e *Globale riferito all'area proiettata* **ZP**. A differenza dei carichi permanenti (come il peso proprio) che si riferiscono ad un'area reale, i carichi da neve devono essere relativi alla area della base (questa differenza non ha significato per le superfici orizzontali).

Il carico viene proiettato sul *Piano XY*

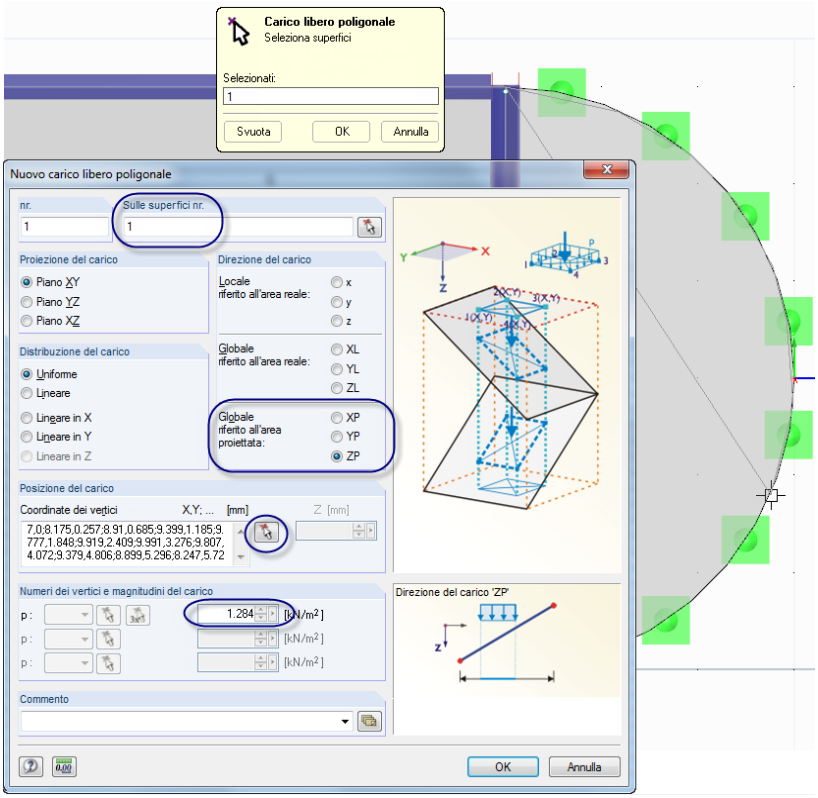


Figura 5.14 Definizione del nuovo carico poligonale libero facendo clic sui punti dell'arco

Definire le *Posizioni del carico* nell'area di lavoro usando il pulsante [Seleziona vertici del poligono nel piano di proiezione selezionato]: iniziare dal nodo dell'arco **4** nella parte superiore dell'arco, e poi usare il cursore a reticolo per fare clic su un qualunque punto della linea dell'arco uno dopo l'altro in modo da approcciare la superficie semicircolare con una catena poligonale. Non appena si raggiunge la fine dell'arco al nodo **3**, chiudere con [OK] la finestra di dialogo gialla.

Nella sezione di dialogo *Numeri dei vertici e magnitudini del carico*, inserire il valore di **1,284** kN/m^2 che è stato fornito dal generatore come carico da neve della copertura.

Fare clic su [OK]. RFEM inserirà il carico sulla superficie semicircolare. Chiudere la modalità d'input con il pulsante [ESC] o fare clic con il tasto destro nell'area di lavoro vuota. Poi, passare alla [Vista isometrica].

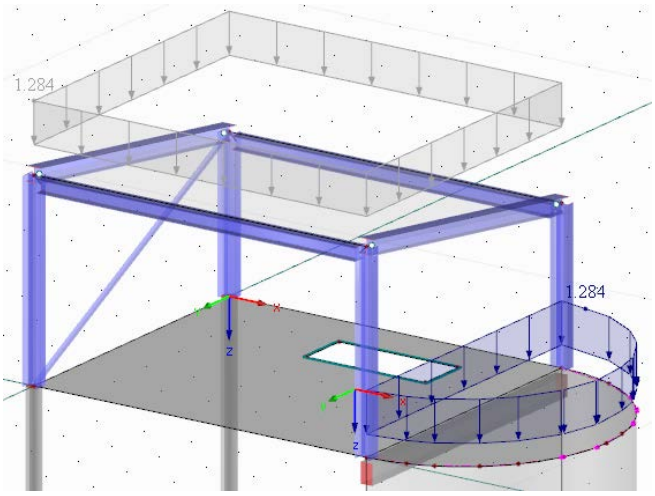


Figura 5.15 Carichi da neve

5.4 Caso di carico 4: vento

Creare [Nuovo caso di carico] per i carichi del vento in direzione Y.

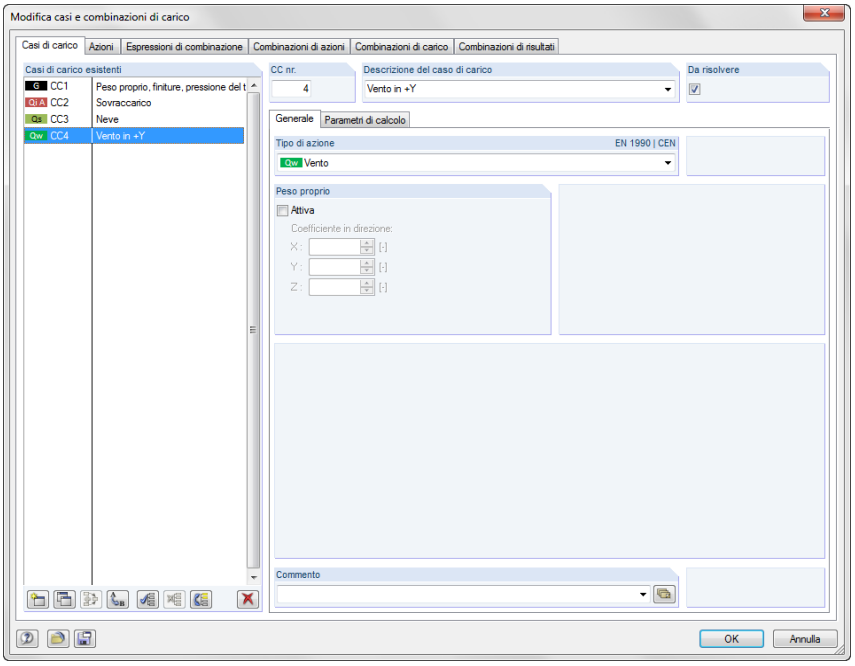


Figura 5.16 Finestra di dialogo *Modifica casi e combinazioni di carico*, scheda *Casi di carico*

Nella finestra di dialogo *Descrizione del caso di carico*, selezionare dall'elenco **Vento in +Y**. Il *Tipo di azione* cambierà automaticamente in **Q_w Vento**.

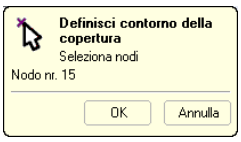
5.4.1 Carichi della costruzione in acciaio

Useremo ancora, un generatore di carico per inserire il carico del vento applicato alle pareti che sono chiuse da tutti i lati e al tetto monofalda. Per accedere alla funzione corrispondente,

puntare su **Genera carichi** nel menu **Strumenti**, e poi selezionare **Da carichi del vento** e fare clic su **Pareti verticali con copertura**.

Nella finestra di dialogo *Genera carichi del vento - Parametri verticali con copertura*, specificare le seguenti impostazioni (vedere figura 5.17):

la *Pressione di riferimento* è definita secondo l'Appendice nazionale della Germania per la *Zona del vento* **1** e la *Categoria del terreno* **III** (vedere paragrafo 2.3, a pagina 7). I pulsanti [Informazioni] facilitano l'assegnazione. Infine, cambiare il valore dell'*Altezza della struttura* a **8** m.



Inoltre, definire la *Geometria della base* con il pulsante [Scegli nodo del vertice], selezionando i nodi dell'impalcato **1**, **4**, **3** e **2** (fare attenzione all'ordine mostrato nella figura del dialogo). Per la geometria del tetto si usa ancora una volta la funzione [Scegli nodo del vertice], cliccando i nodi della copertura **15**, **19**, **20** e**16**.

Controllare se la direzione del vento **A - B** sia impostata nella sezione di dialogo *Definisci vento sul lato*.

Nella sezione di dialogo *Caso di carico da generare*, disattivare entrambi i casi di carico *w-* e *w+'*. Come descritto nel paragrafo 2.3, a pagina 7, si vuole analizzare solo i coefficienti positivi della pressione esterna. Il carico di *CC w+* verrà generato per **CC4**.

Si vogliono creare *Carichi delle aste*, ma le travi del tetto ad una falda non contribuiscono al trasferimento del carico. Usare il pulsante [Scegli aste] mostrato a sinistra, disponibile nella

sezione di dialogo *Rimuovi dall'influenza*, per selezionare graficamente una delle travi orizzontali (asta **8** o **5**). L'asta diagonale *12* è automaticamente esclusa dal trasferimento del carico.

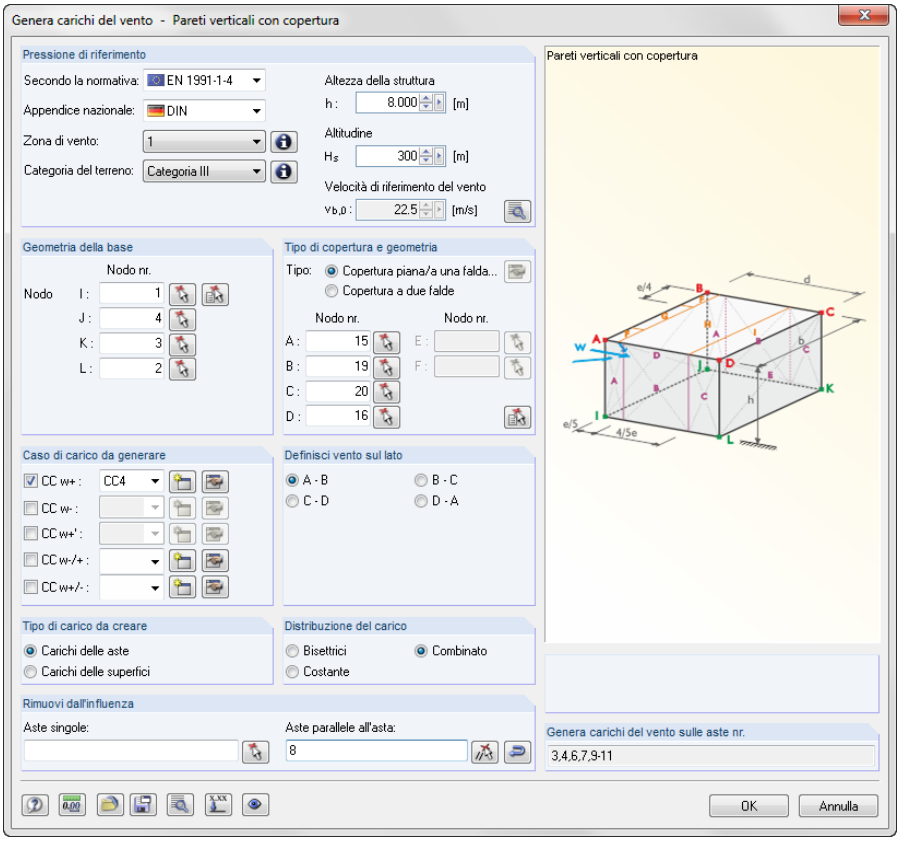


Figura 5.17 Finestra di dialogo *Genera carichi del vento - Pareti verticali con copertura*

Dopo aver fatto clic su [OK] apparirà una finestra di dialogo mostrando le informazioni sulla generazione dei dati. Fare clic [OK] per confermare la finestra di dialogo. Ora, è possibile vedere i carichi del vento visualizzati come carichi di superficie nel modello.

Inoltre, è possibile usare l'opzione *Disconnetti carico generato* disponibile nel menu di scelta rapida del carico per rendere visibili i carichi delle aste. Annullare tuttavia, questa operazione immediatamente.

5.4.2 Carichi della colonna

I carichi applicati alla parte inferiore della struttura sono definiti manualmente.

Definizione di un carico uniforme dell'asta

La depressione del vento agisce sulla colonna sul lato del cornicione di gronda superiore con un valore costante.

Selezionare l'asta della colonna *1* con un clic del mouse ed aprire la finestra di dialogo mostrata in figura 5.18 con il pulsante [Nuovo carico dell'asta].

La *Direzione del carico* è globalmente relativa alla lunghezza vera dell'asta su **YL**. La componente del carico del vento ripartita sulla colonna è **1,5** kN/m. Inserire i valori come *Parametri del carico*.

Fare clic su [OK]. Ora si vedrà il carico dell'asta rappresentato sulla colonna.

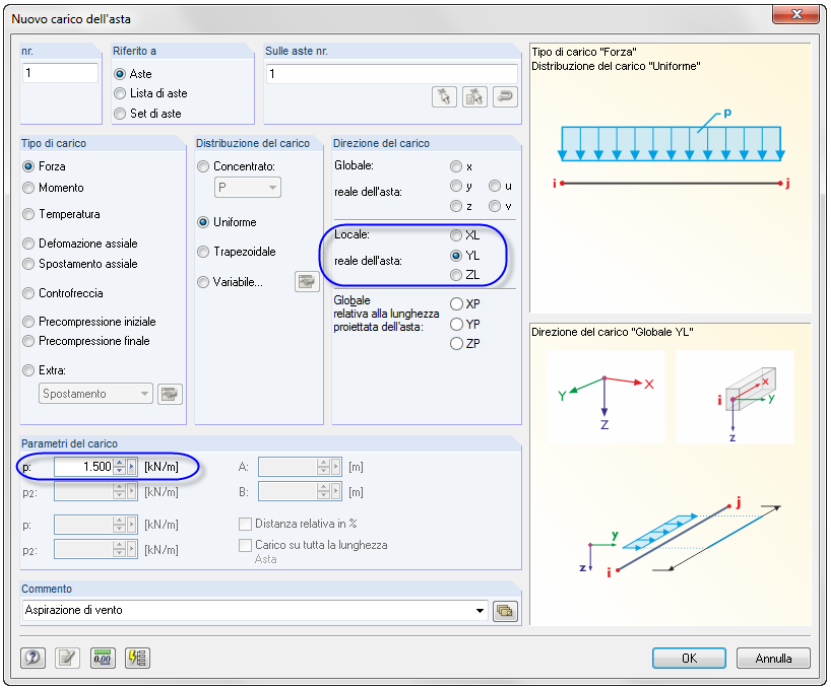


Figura 5.18 Definizione della depressione del vento come un carico uniforme dell'asta

Definizione di un carico trapezoidale dell'asta

A causa del riempimento impostato in una certa zona, il lato del cornicione di gronda inferiore rileva un'area di applicazione del carico asimmetrica per la pressione del vento. Quindi, la distribuzione del carico sulla colonna risulta variabile.

Selezionare l'asta della colonna *2* e usare il pulsante [Nuovo carico dell'asta] per aprire ancora la finestra di dialogo *Nuovo carico dell'asta*.

Ancora una volta, la *Direzione del carico* viene definita in **YL**, ma la *Distribuzione del carico* è **Trapezoidale**. Con questa impostazione due *Parametri del carico* diventano accessibili: inserire **0,5** kN/m per l'inizio dell'asta p_1 e **3** kN/m per la fine dell'asta p_2. Abbiamo definito le colonne dal basso in alto; quindi l'inizio dell'asta è al piede della colonna.

Siccome il *Carico* agisce come *Carico su tutta la lunghezza dell'asta*, spuntare la corrispondente casella di controllo.

Cliccare [OK]. Ora si vedrà il carico dell'asta rappresentato sulla seconda colonna.

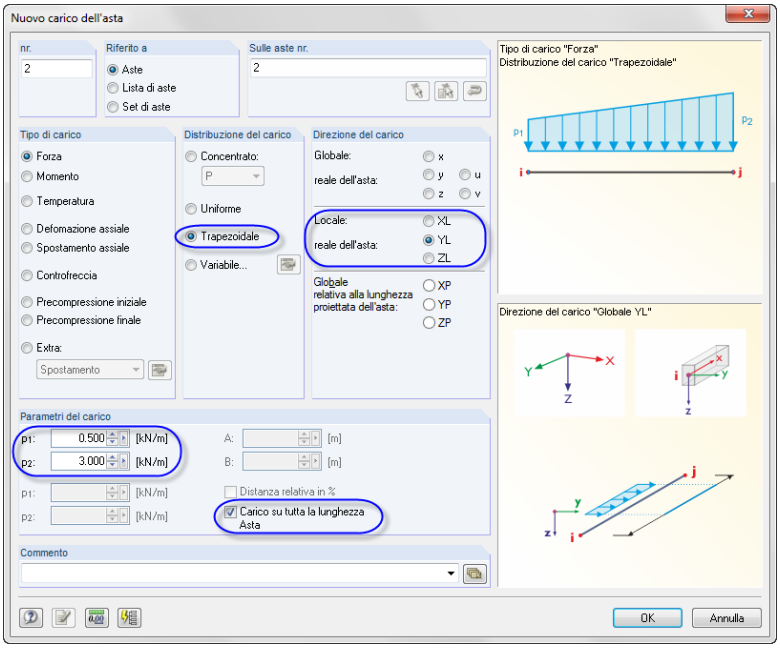


Figura 5.19 Definizione della pressione del vento come carico trapezoidale dell'asta

Ora, l'area di lavoro di RFEM visualizzante i carichi del vento generati e definiti manualmente dovrebbe assomigliare a quella della figura sottostante.

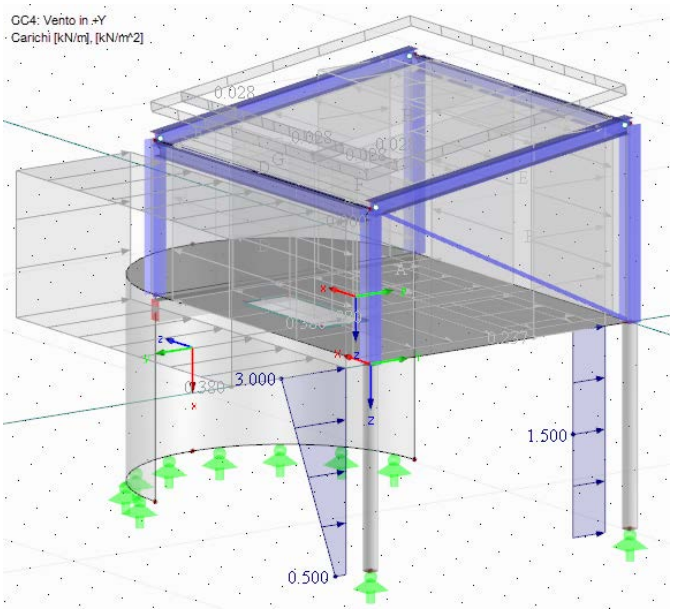


Figura 5.20 Carichi del vento

5.5 Caso di carico 5: imperfezione

Nel caso di carico finale definiremo le imperfezioni per le colonne che sono sollecitate con la forza assiale.

Questa volta, useremo il navigatore *Dati* per creare un nuovo caso di carico: fare clic con il pulsante destro del mouse sulla voce *Casi di carico* per aprire il menu di scelta rapida, e poi selezionare *Nuovo caso di carico*.

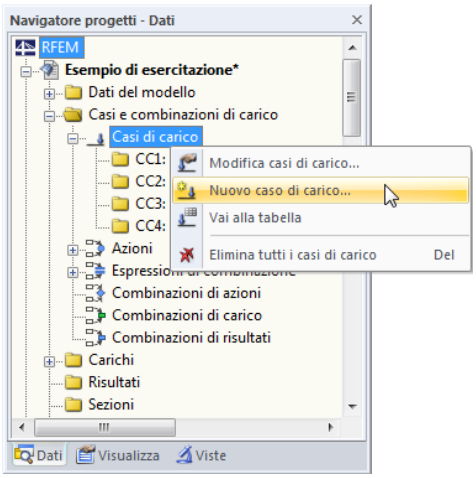


Figura 5.21 Menu di scelta rapida *Casi di carico*

Scegliere **Imperfezione verso +Y** per l'elenco *Descrizione del caso di carico*. Il *Tipo di azione* cambia automaticamente in **Imp Imperfezione**.

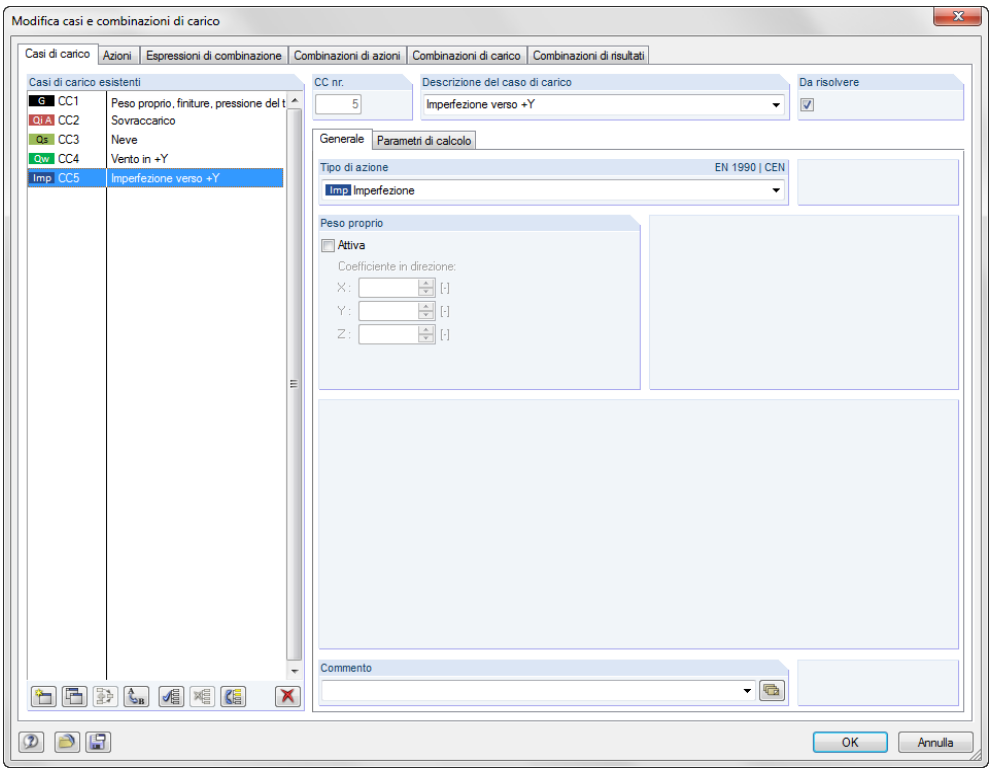
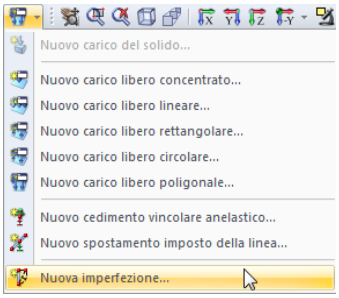


Figura 5.22 Finestra di dialogo *Modifica casi e combinazioni di carico*, scheda *Casi di carico*

Chiudere poi, la finestra di dialogo facendo clic sul pulsante [OK].

5.5.1 Colonne in acciaio



Elenco per i carichi

Fare clic sul pulsante della barra degli strumenti [Nuovo carico poligonale] per aprire il suo menu elenco e selezionare la voce *Nuova imperfezione*. Si aprirà la seguente finestra di dialogo.

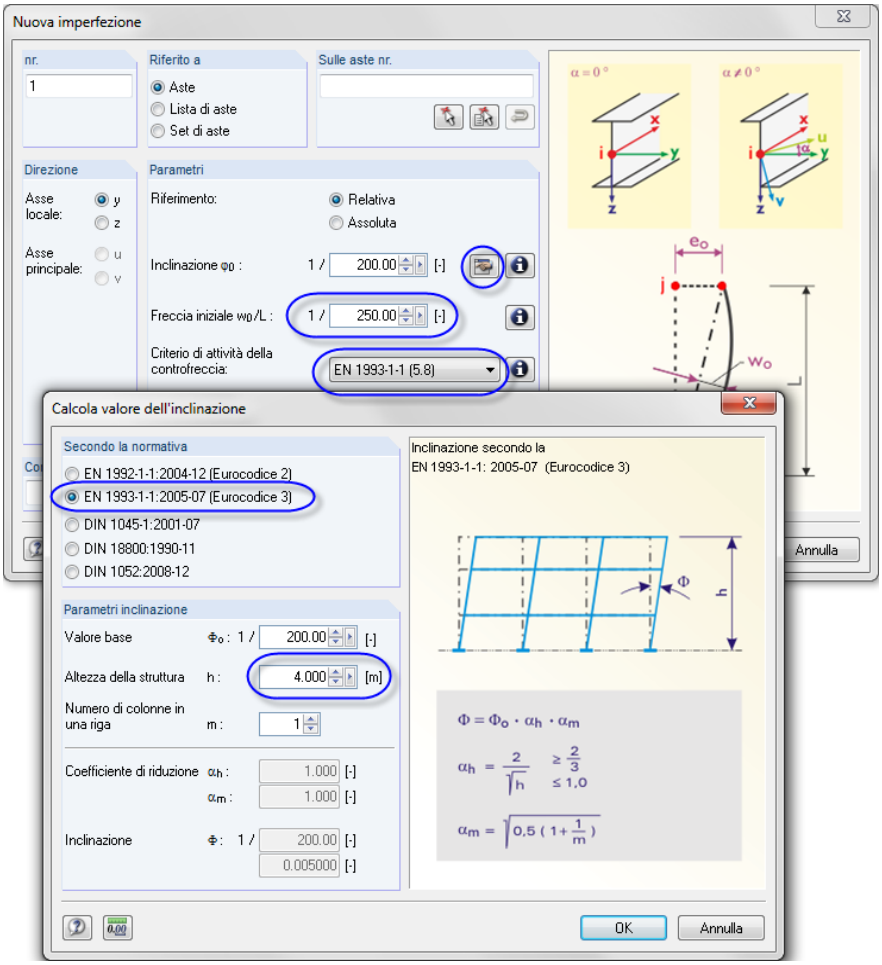


Figura 5.23 Finestra di dialogo *Nuova imperfezione*

Si vuole applicare l'imperfezione nella *Direzione* degli assi della colonna **y**, che è la direzione dell'asse "debole" dell'asta che, nell'esempio, è allineato parallelamente all'asse globale Y.

Per modificare l'*Inclinazione* φ_0, usare il pulsante [Calcola inclinazione secondo la normativa e importa il valore] che aprirà la finestra di dialogo *Calcola valore dell'inclinazione*. Impostare *Secondo la normativa* **EN 1993-1-1** e cambiare l'*Altezza della struttura* a **4** m. Cliccare su [OK] e tornare alla finestra di dialogo iniziale.

Secondo l'EN 1993-1-1, tabella 5.1, si deve applicare una *Freccia iniziale* $w_{0,d}/L$ di 1/**250** (vedere paragrafo 2.3, a pagina 7) per la curva di instabilità b delle sezioni trasversali HE A 300.

Cambiare poi, il *criterio di attività della controfreccia* a **EN 1993-1-1 (5.8)** e confermare con [OK] la finestra di dialogo.

Infine, cliccare le quattro colonne in acciaio con i numeri delle aste **6**, **4**, **9** e **7** per assegnare le imperfezioni.

Uscire dalla funzione con il tasto [ESC] o facendo clic con il pulsante destro del mouse.

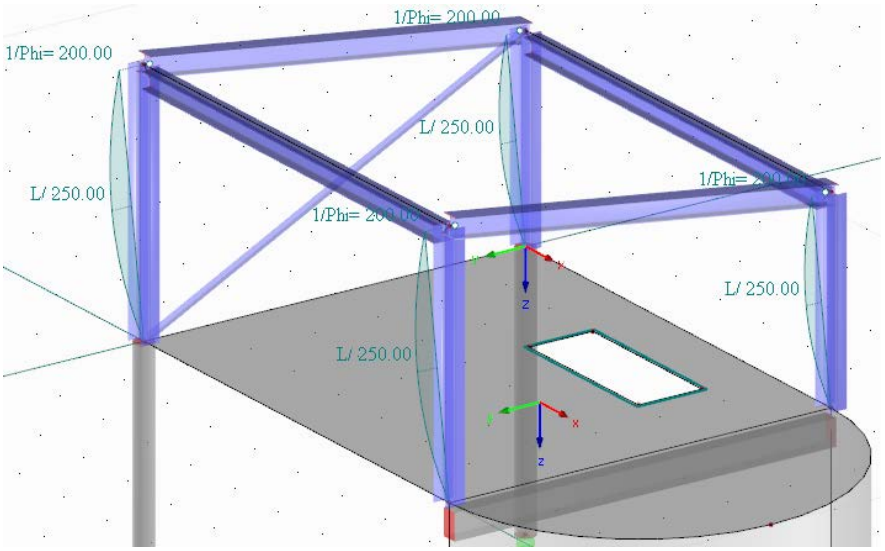


Figure 5.24 Assegnazione delle imperfezioni alle colonne in acciaio

5.5.2 Colonne di calcestruzzo

Aprire nuovamente la finestra di dialogo *Nuova imperfezione* per definire l'inclinazione delle colonne di calcestruzzo.

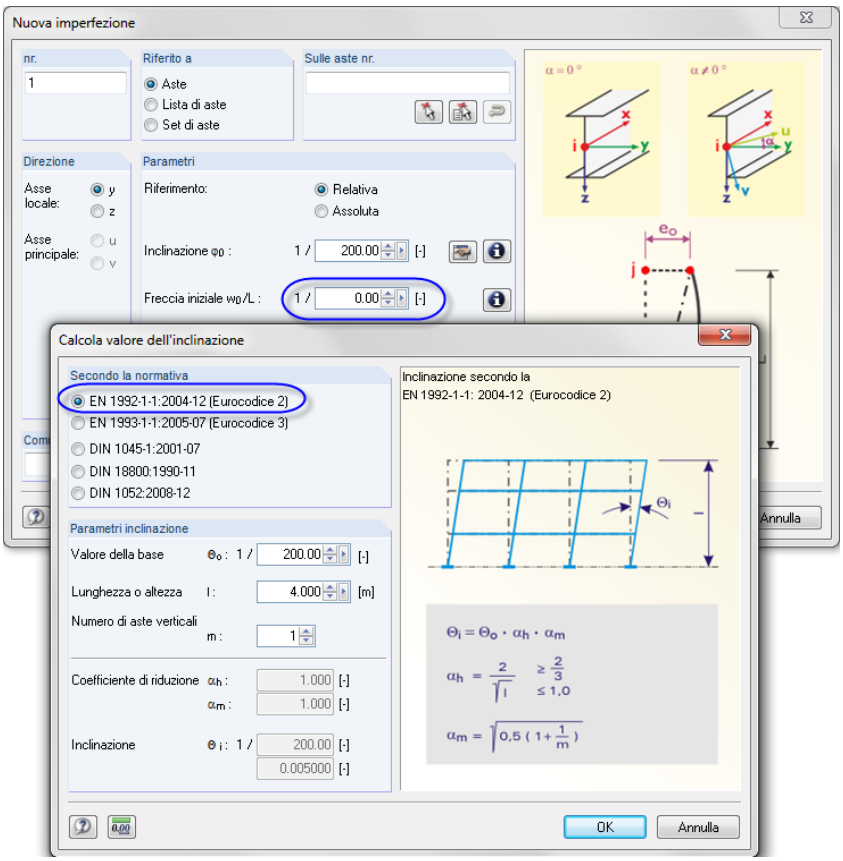


Figura 5.25 Finestra di dialogo *Nuova imperfezione*

Definire l'*Inclinazione* φ_0 con il pulsante [Calcola inclinazione secondo la normativa e importa valore]: nella finestra di dialogo *Calcola valore dell'inclinazione*, impostare *Secondo la normativa* **EN 1992-1-1**.

Siccome non si devono considerare le controfrecce secondo l'Eurocodice 2, specificare la *Freccia iniziale* $w_{0,d}/L$ con zero (1/**0,00**) nella finestra di dialogo iniziale.

Controllare se le impostazioni sono definite come visualizzato nella figura sovrastante. Confermare poi, la finestra di dialogo e cliccare entrambe le colonne in calcestruzzo con i numeri di asta **1** e **2** per assegnare le imperfezioni.

5.6 Verifica dei casi di carico

Tutti e cinque i casi di carico sono completamente inseriti. È raccomandabile ora dare il comando [Salva modello] per salvare l'input.

È possibile verificare rapidamente ogni caso di carico nei grafici: i pulsanti [◀] e [▶] nella barra degli strumenti permettono di selezionare i casi di carico precedenti e successivi.

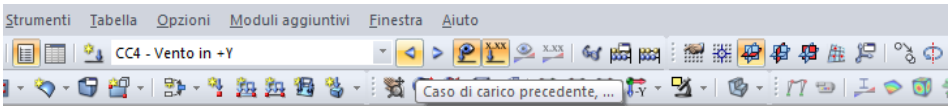


Figura 5.26 Esplorazione dei casi di carico

L'inserimento grafico dei carichi si riflette anche sull'albero del navigatore *Dati* e sulle tabelle. È possibile accedere ai dati di carico nella tabella 3. *Carichi* a cui si può accedere utilizzando il pulsante mostrato sulla sinistra.

L'area di lavoro e le tabelle sono interattivi: per trovare un carico nella tabella, per esempio un'imperfezione, passare alla tabella 3.13 *Imperfezioni*, e poi selezionare il carico nell'area di lavoro. Si osserva che il puntatore passa nella corrispondente riga della tabella (vedere la figura seguente).

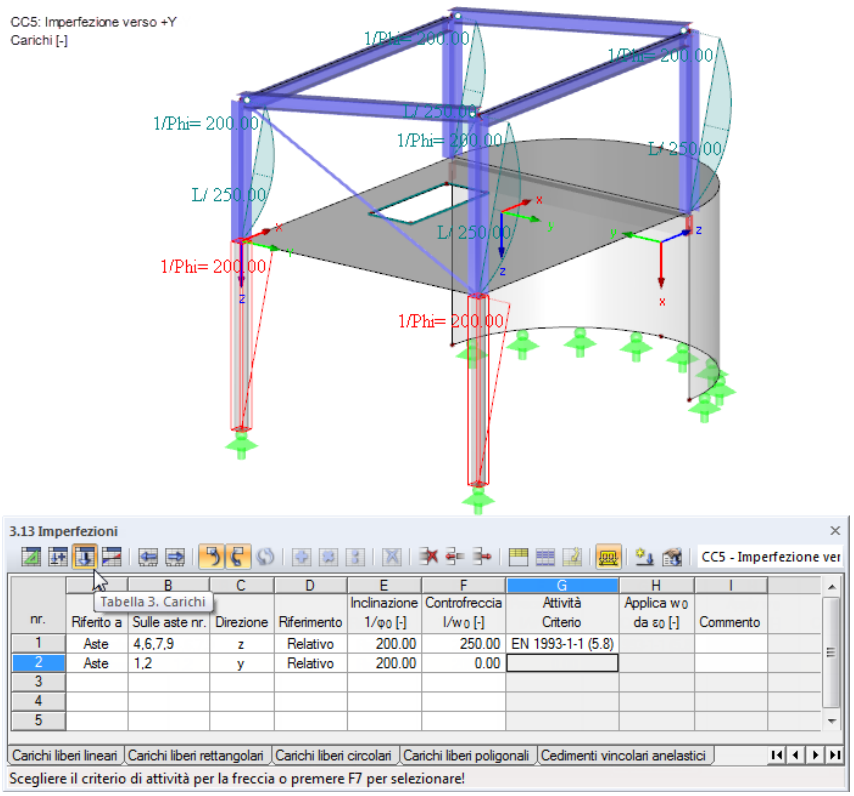


Figura 5.27 Interazione tra l'area di lavoro e le tabelle dei carichi

6. Combinazioni di azioni

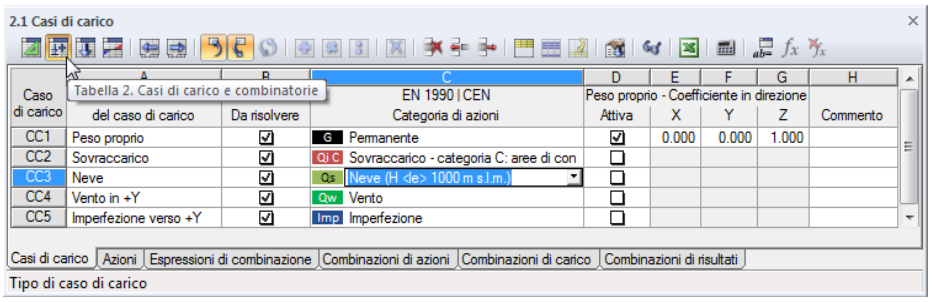
Combineremo i casi di carico secondo l'EN 1990. Ci si avvantaggerà del generatore integrato nel programma per combinare le azioni con i coefficienti parziali di sicurezza richiesti e i coefficienti di combinazione. Le condizioni di combinazione sono state già create quando si è definito il modello nella finestra di dialogo *Nuovo modello - Dati generali* dove si è selezionata l'opzione *Crea combinazioni automaticamente* (vedere figura 3.1, a pagina 8).

Il *Tipo di azione* definito per i casi di carico (vedere figura 5.22, a pagina 62) determina il modo con cui i casi di carico sono combinati nelle differenti situazioni di progetto.

6.1 Verifica delle azioni

I casi di carico devono essere assegnati ad *Azioni* che sono combinate in conformità con le normative. Le azioni rappresentano valori di influenza indipendenti che derivano da diverse origini. La correlazione esistente tra loro potrebbe essere trascurata per quanto riguarda la sicurezza del sistema strutturale.

I casi di carico, le azioni e le combinazioni sono gestiti nella finestra di dialogo *Modifica casi e combinazioni di carico* (vedere figura 5.22, a pagina 62) e nel numero di tabelle *2*. È possibile accedere a queste tabelle facendo clic sul pulsante della tabella mostrato a sinistra. La tabella 2.1 *Casi di carico* visualizzata in una chiara panoramica dei cinque casi di carico con le categorie di azione selezionate.



2.1 Casi di carico

Tabella 2. Casi di carico e combinatorie

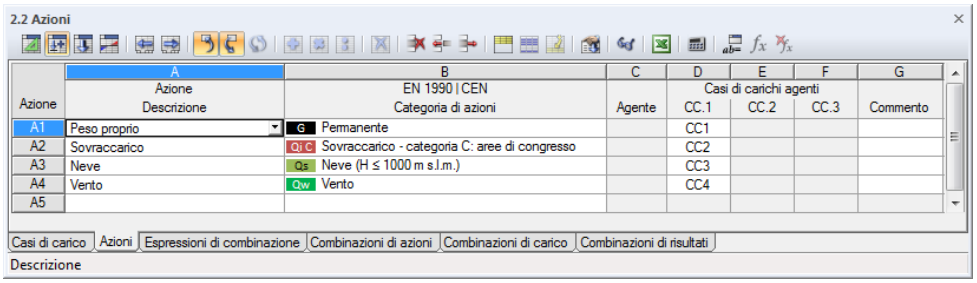
Caso di carico	A del caso di carico	B Da risolvere	C EN 1990 | CEN Categoria di azioni	D Attiva	E Peso proprio - Coefficiente in direzione X	F Y	G Z	H Commento
CC1	Peso proprio	☑	G Permanente	☑	0.000	0.000	1.000	
CC2	Sovraccarico	☑	Qi C Sovraccarico - categoria C: aree di con	☐				
CC3	Neve	☑	Qs Neve (H <e> 1000 m s.l.m.)	☐				
CC4	Vento in +Y	☑	Qw Vento	☐				
CC5	Imperfezione verso +Y	☑	Imp Imperfezione	☐				

Casi di carico | Azioni | Espressioni di combinazione | Combinazioni di azioni | Combinazioni di carico | Combinazioni di risultati

Tipo di caso di carico

Figura 6.1 Tabella 2.1 *Casi di carico*

La tabella successiva 2.2 *Azioni* visualizza i casi di carico contenuti nelle singole azioni. Ogni caso di carico dell'esempio è assegnato ad un'azione. Tuttavia, se dovessimo definire diversi casi di carico del vento per differenti direzioni, queste sarebbero tutte elencate nell'azione *Vento*.



2.2 Azioni

Azione	A Azione Descrizione	B EN 1990 | CEN Categoria di azioni	C Agente	D Casi di carichi agenti CC.1	E CC.2	F CC.3	G Commento
A1	Peso proprio	G Permanente		CC1			
A2	Sovraccarico	Qi C Sovraccarico - categoria C: aree di congresso		CC2			
A3	Neve	Qs Neve (H ≤ 1000 m s.l.m.)		CC3			
A4	Vento	Qw Vento		CC4			
A5							

Casi di carico | Azioni | Espressioni di combinazione | Combinazioni di azioni | Combinazioni di carico | Combinazioni di risultati

Descrizione

Figura 6.2 Tabella 2.2 *Azioni*

Le imperfezioni mancano in questa tabella perché non rappresentano azioni "reali".

6.2 Definizione delle espressioni di combinazione

In conformità con l'EN 1990, si devono combinare le azioni per progetto allo stato limite ultimo e di esercizio secondo determinate regole. La tabella 2.3 *Espressioni di combinazione* mostra quali stati limite sono impostati per essere analizzati.

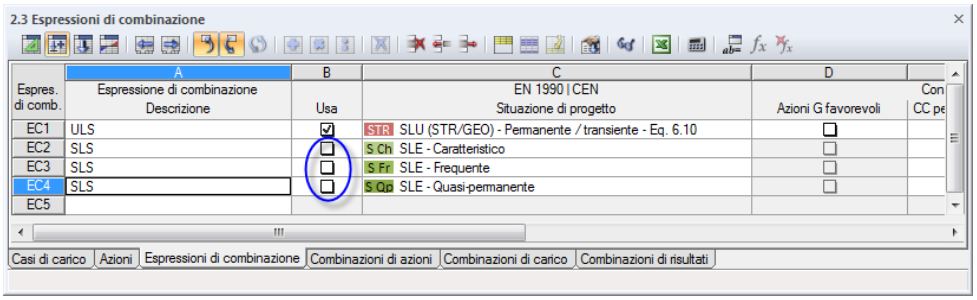


Figura 6.3 Tabella 2.3 *Espressioni di combinazione*

Nell'esempio sarà considerato solo lo stato limite ultimo (SLU). Rimuovere quindi, i tre segni di spunta nella colonna della tabella *Usa* per le regole di combinazione agli stati limite di esercizio (SLE).

Ora, usare il menu di scelta rapida del navigatore per aprire la finestra di dialogo *Modifica casi e combinazioni di carico*. Si provvederà a *Modificar*e i parametri dell'espressione di combinazione *EC1*.

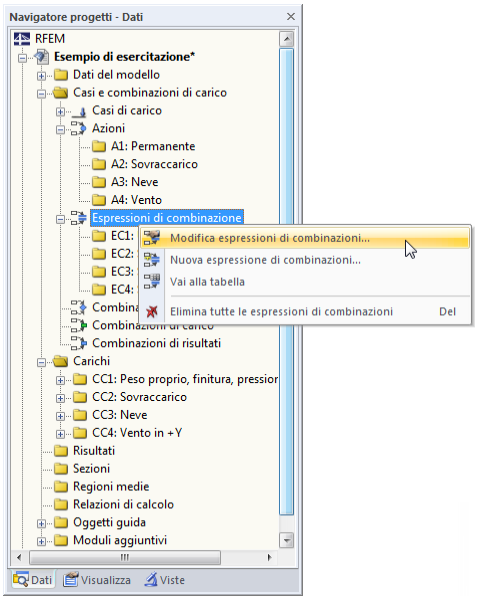


Figura 6.4 Menu di scelta rapida del navigatore delle espressioni di combinazione

Per leggere i commenti descrittivi sull'espressione di combinazione per gli stati limite STR e GEO, usare il pulsante [Informazioni sulla situazione di progetto] disponibile nella finestra di dialogo (vedere figura sottostante).

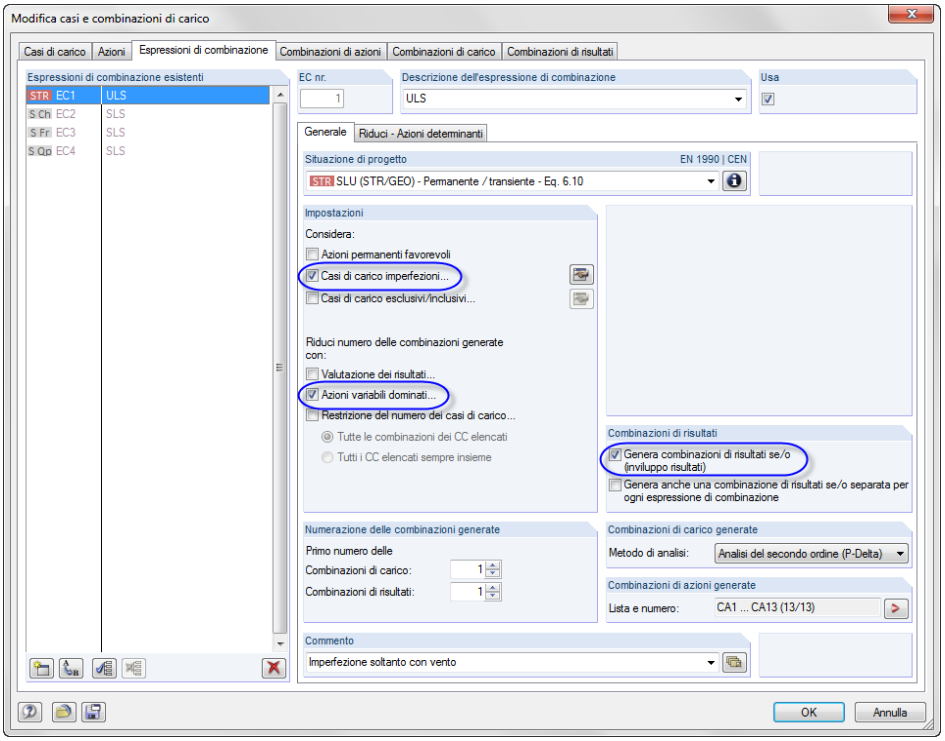


Figura 6.5 Finestra di dialogo *Modifica casi e combinazioni di carico*, scheda *Espressioni di combinazione*

Nella sezione di dialogo *Impostazioni*, si attiverà l'opzione **Casi di carico imperfezioni** per *Considerare* le imperfezioni per la generazione delle combinazioni. Quando si spunta la casella di controllo, si aprirà la seguente finestra di dialogo.

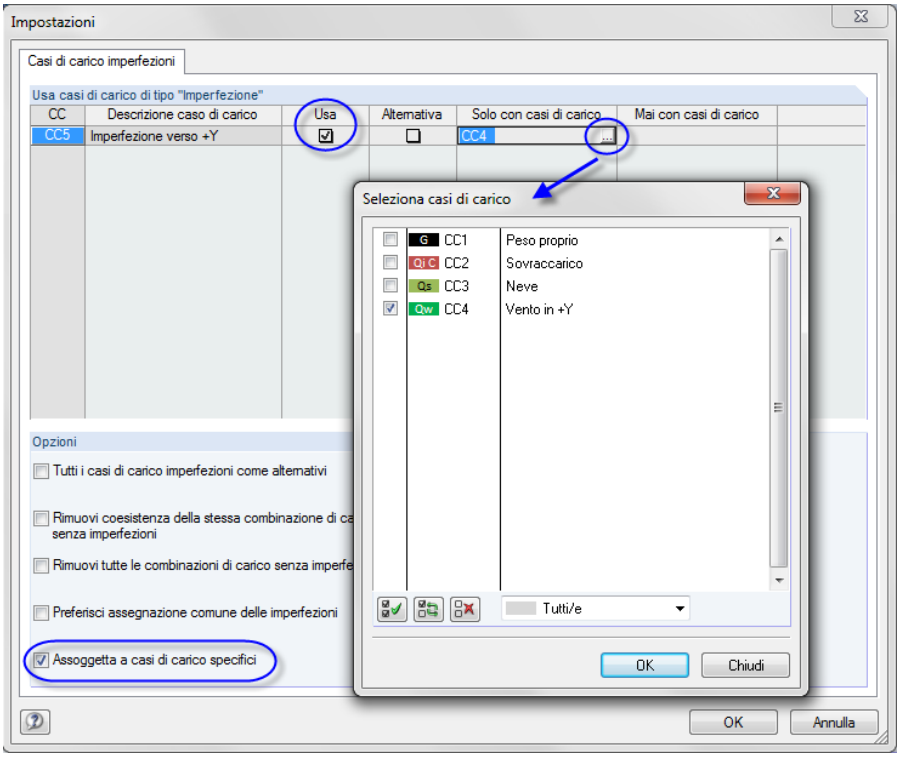


Figura 6.6 Finestra di dialogo *Impostazioni* per i casi di carico delle imperfezioni

Spuntare la casella nella colonna *Usa* della tabella per prendere in considerazione CC4.

Poi, attivare la funzione **Assoggetta a casi di carico specifici** nella sezione di dialogo *Opzioni*. Due ulteriori colonne della tabella saranno abilitate, fare clic sul campo *Solo con casi di carico*. Un pulsante [...] apparirà alla fine del campo che potrà essere usato per accedere alla finestra di dialogo *Seleziona casi di carico*. Selezionare **CC4 Vento in +Y**. In questo modo, RFEM considererà le imperfezioni solo nelle combinazioni che comprendono i casi di carico del vento.

Confermare le finestre di dialogo visualizzate in figura 6.6 con [OK].

Nella sezione di dialogo *Impostazioni* della finestra di dialogo iniziale, in *Riduci numero delle combinazioni generate con* si prendono in considerazione solo le **Azioni variabili dominanti**. Quando si spunta sull'opzione, si abiliterà un'altra scheda nella finestra di dialogo.

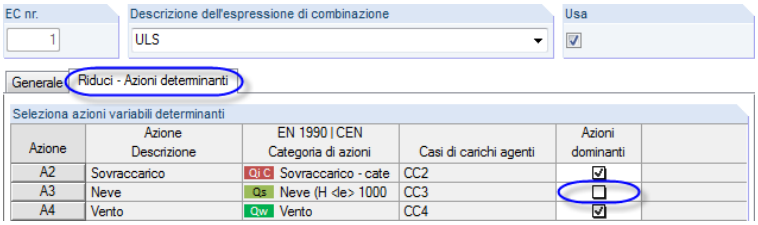


Figura 6.7 Definizione delle azioni determinanti nella scheda di dialogo *Riduci - Azioni determinanti*

Nella scheda *Riduci - Azioni determinanti*, deselezionare la casella di controllo per l'azione **A3** perché si vuole combinare il caso di carico della *Neve* solamente come carico secondario variabile. Quindi, verrà ridotto il numero delle combinazioni generate.

Prima di chiudere la finestra di dialogo *Modifica casi e combinazioni di carico* con [OK], accertarsi che l'opzione **Genera combinazione di risultati se/o (inviluppo risultati)** nella scheda *Generale* sia spuntata. Questa combinazione di risultati fornisce i valori estremi dai risultati di tutte le combinazioni di carico (inviluppo).

RFEM crea le combinazioni di azioni. Quando si fa clic sulla scheda della tabella 2.4 *Combinazioni di azioni* e si ritornerà alla tabella 2.3, la colonna *Combinazioni di azioni generate* informa che le 13 combinazioni sono state create.

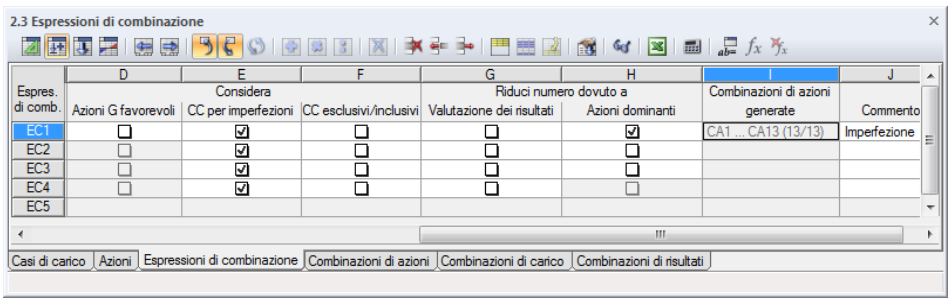


Figura 6.8 Tabella 2.3 *Espressioni di combinazione*, colonna della tabella *Combinazioni di azioni generate*

6.3 Creazione delle combinazioni di azioni

RFEM crea automaticamente 13 combinazioni di azioni (vedere figura 6.8) che vengono elencate e classificate con le azioni nella tabella 2.4 *Combinazioni di azioni*.

2.4 Combinazioni di azioni

Comb. di azioni	A Combinazione di azioni combinazione di azioni	B Usa	C EN 1990 | CEN Situazione di progett	D Azione.1 Coeff.	E Azione.1 nr.	F Azione.2 Coeff.	G Azione.2 nr.	H Azione.3 Coeff.	I Azione.3 nr.	J Azione.4 Coeff.	K Azione.4 nr.
CA1	1.35G	☑	STR SLU (STR/G	1.35	G A1						
CA2	1.35G + 1.50QiC	☑	STR SLU (STR/G	1.35	G A1	1.50	Qi C A2				
CA3	1.35G + 1.50QiC + 0.75Qs	☑	STR SLU (STR/G	1.35	G A1	1.50	Qi C A2	0.75	Qs A3		
CA4	1.35G + 1.50QiC + 0.75Qs + 0.90Qw	☑	STR SLU (STR/G	1.35	G A1	1.50	Qi C A2	0.75	Qs A3	0.90	Qw A4
CA5	1.35G + 1.50QiC + 0.90Qw	☑	STR SLU (STR/G	1.35	G A1	1.50	Qi C A2	0.90	Qw A4		
CA6	1.35G + 1.50Qs	☐	STR SLU (STR/G	1.35	G A1	1.50	Qs A3				
CA7	1.35G + 1.05QiC + 1.50Qs	☐	STR SLU (STR/G	1.35	G A1	1.05	Qi C A2	1.50	Qs A3		
CA8	1.35G + 1.05QiC + 1.50Qs + 0.90Qw	☐	STR SLU (STR/G	1.35	G A1	1.05	Qi C A2	1.50	Qs A3	0.90	Qw A4
CA9	1.35G + 1.50Qs + 0.90Qw	☐	STR SLU (STR/G	1.35	G A1	1.50	Qs A3	0.90	Qw A4		
CA10	1.35G + 1.50Qw	☑	STR SLU (STR/G	1.35	G A1	1.50	Qw A4				
CA11	1.35G + 1.05QiC + 1.50Qw	☑	STR SLU (STR/G	1.35	G A1	1.05	Qi C A2	1.50	Qw A4		
CA12	1.35G + 1.05QiC + 0.75Qs + 1.50Qw	☑	STR SLU (STR/G	1.35	G A1	1.05	Qi C A2	0.75	Qs A3	1.50	Qw A4
CA13	1.35G + 0.75Qs + 1.50Qw	☑	STR SLU (STR/G	1.35	G A1	0.75	Qs A3	1.50	Qw A4		

Casi di carico | Azioni | Espressioni di combinazione | Combinazioni di azioni | Combinazioni di carico | Combinazioni di risultati

Descrizione combinazione di azioni

Figura 6.9 Tabella 2.4 *Combinazioni di azioni*

Questa panoramica corrisponde alla presentazione delle azioni descritte nelle normative. Mettendo un segno di spunta sulla casella di controllo nella colonna *Usa* è possibile definire le combinazioni di azioni che vengono considerate per la generazione delle combinazioni di carico. Siccome si è definita l'azione *Qs* (neve) come un'azione variabile secondaria, ora è possibile vedere che le corrispondenti combinazioni di azioni dove *Qs* è quella determinante sono disabilitate.

6.4 Creazione delle combinazioni di carico

15 combinazioni di carico sono create automaticamente da nove combinazioni di azioni pertinenti (vedere figura 6.9). Il risultato è elencato nella successiva tabella 2.5 *Combinazioni di carico*.

2.5 Combinazioni di carico

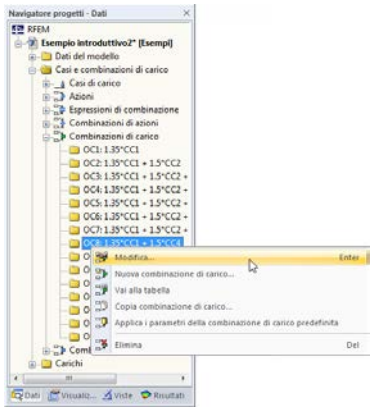
Comb. di carico	B Combinazione di carico Descrizione	C Da risolvere	D CC.1 Coefficiente	E CC.1 nr.	F CC.2 Coefficiente	G CC.2 nr.	H CC.3 Coefficiente	I CC.3 nr.	J CC.4 Coefficiente	K CC.4 nr.	L CC.5 Coefficiente	M CC.5 nr.
OC1	1.35*CC1	☑	1.35	G CC1								
OC2	1.35*CC1 + 1.5*CC2	☑	1.35	G CC1	1.50	Qi C CC2						
OC3	1.35*CC1 + 1.5*CC2 + 0.75*CC3	☑	1.35	G CC1	1.50	Qi C CC2	0.75	Qs CC3				
OC4	1.35*CC1 + 1.5*CC2 + 0.75*CC3	☑	1.35	G CC1	1.50	Qi C CC2	0.75	Qs CC3	0.90	Qw CC4		
OC5	1.35*CC1 + 1.5*CC2 + 0.75*CC3	☑	1.35	G CC1	1.50	Qi C CC2	0.75	Qs CC3	0.90	Qw CC4	1.00	Imp CC5
OC6	1.35*CC1 + 1.5*CC2 + 0.9*CC4	☑	1.35	G CC1	1.50	Qi C CC2	0.90	Qw CC4				
OC7	1.35*CC1 + 1.5*CC2 + 0.9*CC4	☑	1.35	G CC1	1.50	Qi C CC2	0.90	Qw CC4	1.00	Imp CC5		
OC8	1.35*CC1 + 1.5*CC4	☑	1.35	G CC1	1.50	Qw CC4						
OC9	1.35*CC1 + 1.5*CC4 + CC5	☑	1.35	G CC1	1.50	Qw CC4	1.00	Imp CC5				
OC10	1.35*CC1 + 1.05*CC2 + 1.5*CC4	☑	1.35	G CC1	1.05	Qi C CC2	1.50	Qw CC4				
OC11	1.35*CC1 + 1.05*CC2 + 1.5*CC4	☑	1.35	G CC1	1.05	Qi C CC2	1.50	Qw CC4	1.00	Imp CC5		
OC12	1.35*CC1 + 1.05*CC2 + 0.75*CC	☑	1.35	G CC1	1.05	Qi C CC2	0.75	Qs CC3	1.50	Qw CC4		
OC13	1.35*CC1 + 1.05*CC2 + 0.75*CC	☑	1.35	G CC1	1.05	Qi C CC2	0.75	Qs CC3	1.50	Qw CC4	1.00	Imp CC5

Casi di carico | Azioni | Espressioni di combinazione | Combinazioni di azioni | Combinazioni di carico | Combinazioni di risultati

Figura 6.10 Tabella 2.5 *Combinazioni di carico*

Le colonne della tabella da D a M informano sui casi di carico inclusi i rispettivi coefficienti parziali di sicurezza ed i coefficienti di combinazione.

Le imperfezioni sono contenute, secondo le specifiche, solo nelle combinazioni con le azioni del vento *Qw*.



Menu di scelta rapida *Combinazioni di carico*

Usare il menu di scelta rapida del navigatore mostrato sulla sinistra per aprire la finestra di dialogo *Modifica casi e combinazioni di carico* per esaminare le combinazioni di carico create.

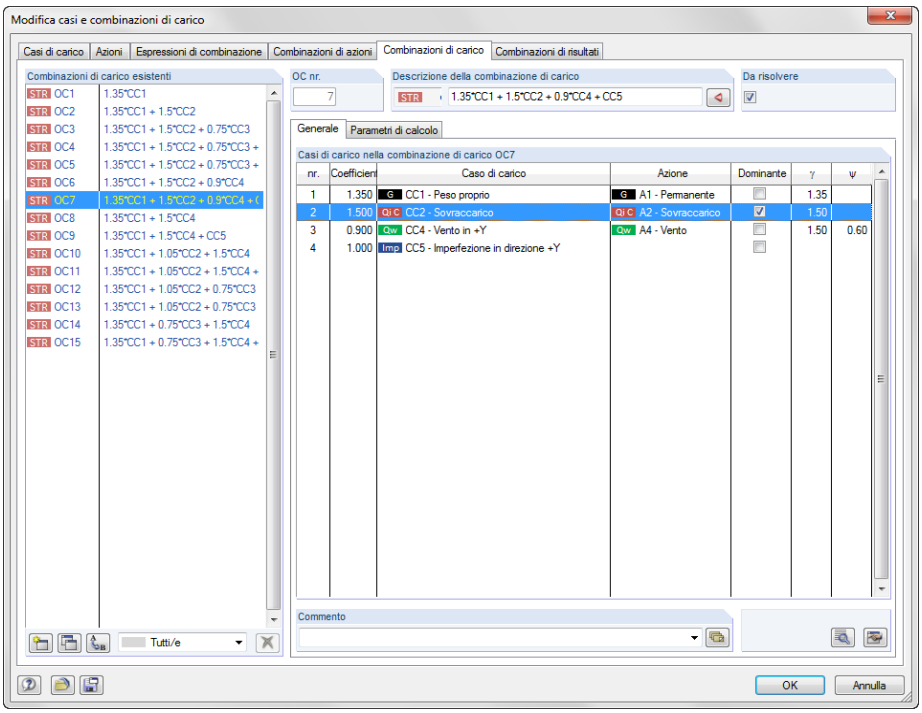


Figura 6.11 Finestra di dialogo *Modifica casi e combinazioni di carico*, scheda *Combinazioni di carico*

Quando si seleziona le *Combinazioni di carico esistenti* una dopo l'altra nell'elenco, è possibile vedere tutti i casi di carico insieme con i rispettivi coefficienti parziali di sicurezza ed i coefficienti di combinazione visualizzati nella sezione di dialogo sulla destra. I casi di carico che agiscono come *Dominante* all'interno della combinazione sono identificati con un segno di spunta.

Per accedere ai coefficienti parziali di sicurezza e ai coefficienti di combinazione, usare il pulsante [Coefficienti di combinazione].

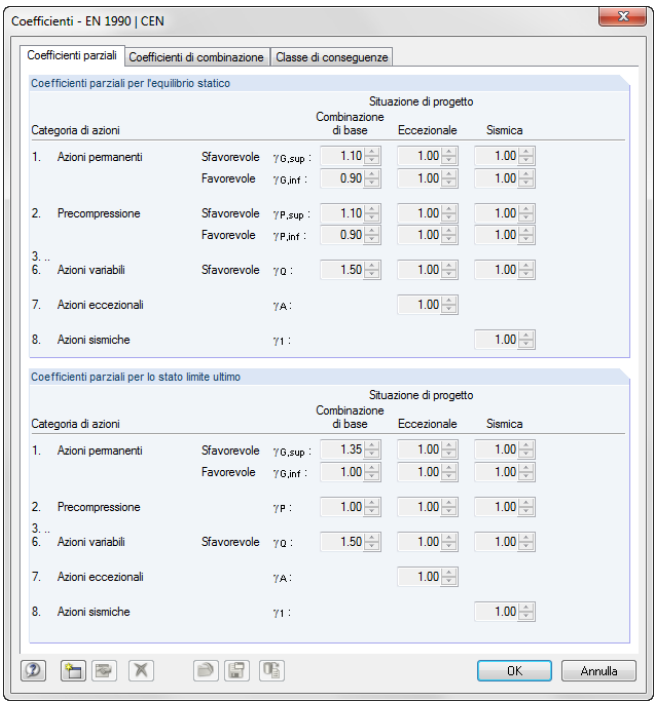


Figura 6.12 Finestra di dialogo *Coefficienti*, scheda *Coefficienti parziali*

Inoltre, è possibile usare la scheda *Parametri di calcolo* per verificare le specifiche applicate da RFEM per il calcolo delle diverse combinazioni di carico.

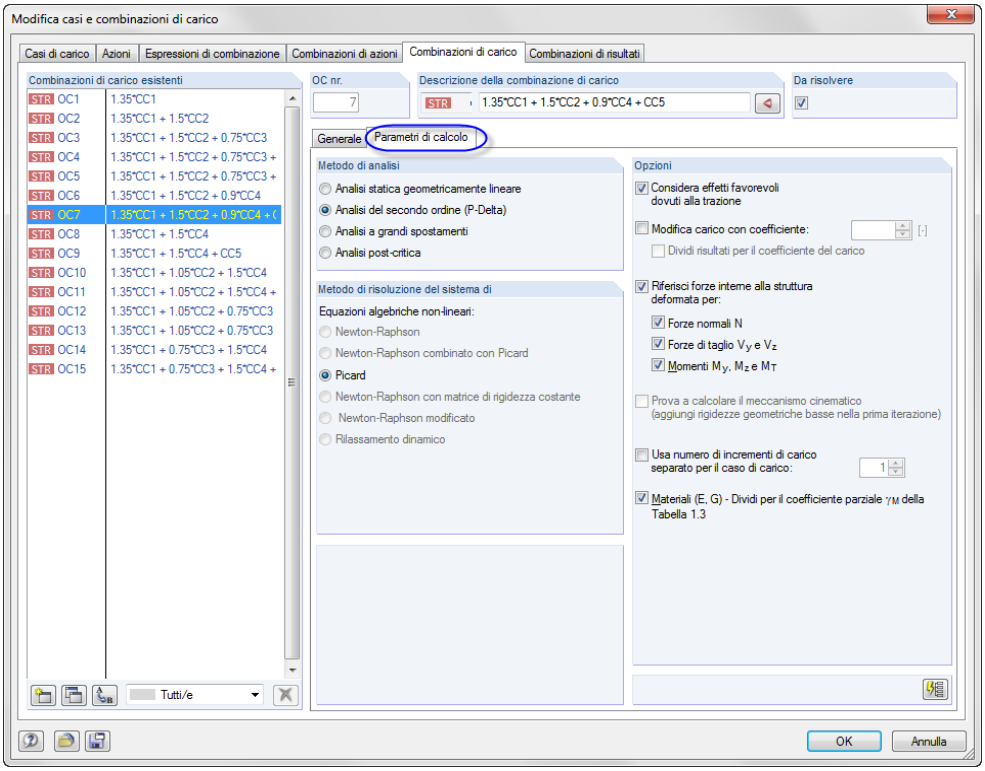


Figura 6.13 Verifica dei *Parametri di calcolo* di una combinazione di carico

Di norma, le combinazioni di carico sono analizzate non linearmente secondo il *Metodo di analisi* per l'*Analisi del secondo ordine (P-Delta)*.

6.5 Verifica delle combinazioni di risultati

Quando si definiscono le espressioni di combinazione, attivare l'opzione *Genera combinazioni di risultati se/o (inviluppo risultati)* (vedere figura 6.5, a pagina 68) fornenti informazioni sui valori estremi di tutte le combinazioni di carico.

RFEM genera un inviluppo dei risultati dalle combinazioni di carico. Il criterio di definizione può essere verificato nella scheda finale della finestra di dialogo *Modifica casi e combinazioni di carico* e nella tabella 2.6 *Combinazioni di risultati*.

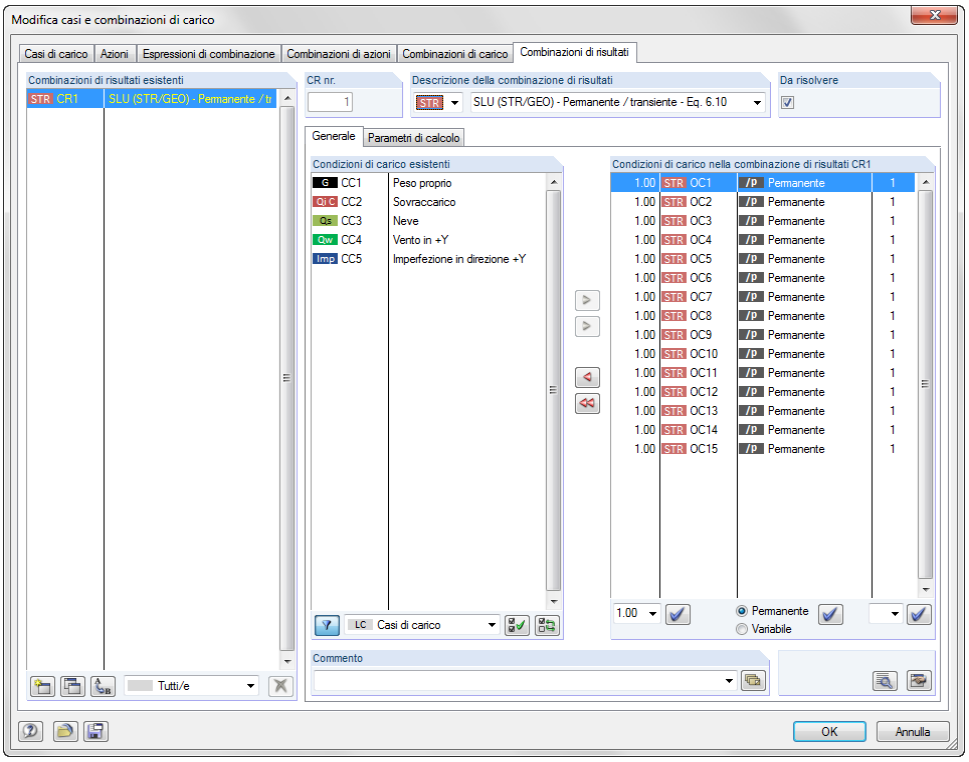


Figura 6.14 Finestra di dialogo *Modifica casi e combinazioni di carico*, scheda *Combinazioni di risultati*

Tutte le combinazioni di carico sono combinate con il coefficiente *1,00* e il criterio *Permanente*. Sono tutte assegnare al gruppo *1*, questo significa che agiscono alternativamente.

Il criterio di combinazione è stato completamente definito. È possibile salvare l'input con il pulsante [Salva modello].

7. Calcolo

7.1 Verifica dei dati di input

Prima di calcolare il modello, si verificheranno i dati di input. Per aprire la corrispondente finestra di dialogo,

selezionare **Verifica di plausibilità** nel menu **Strumenti**.

Si aprirà la finestra di dialogo *Verifica di plausibilità* dove si definiscono le seguenti impostazioni.

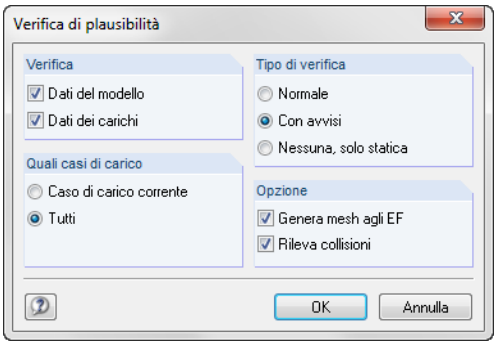


Figura 7.1 Finestra di dialogo *Verifica di plausibilità*

Se non vengono rilevati errori dopo aver cliccato su [OK], un corrispondente messaggio verrà visualizzato includente il sommario del modello e dei dati dei carichi.

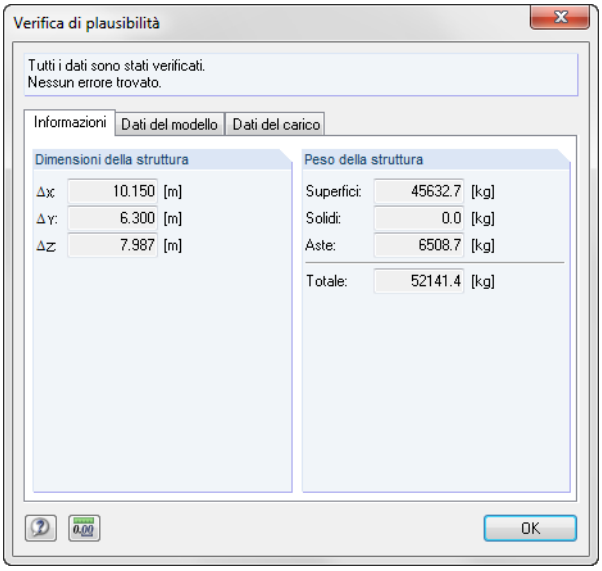


Figura 7.2 Risultato della verifica di plausibilità

È possibile trovare ulteriori strumenti per verificare gli input selezionando

Controlla modello nel menu **Strumenti**.

7.2 Generazione della mesh agli EF

Generazione della mesh agli EF

Siccome si è spuntata l'opzione *Genera mesh agli EF* nella finestra di dialogo *Verifica di plausibilità* (vedere figura 7.1), si è generata automaticamente una mesh con una dimensione standard di 50 cm. È possibile modificare la dimensione della mesh preimpostata selezionando *Impostazioni della mesh EF* nel menu *Calcola*.

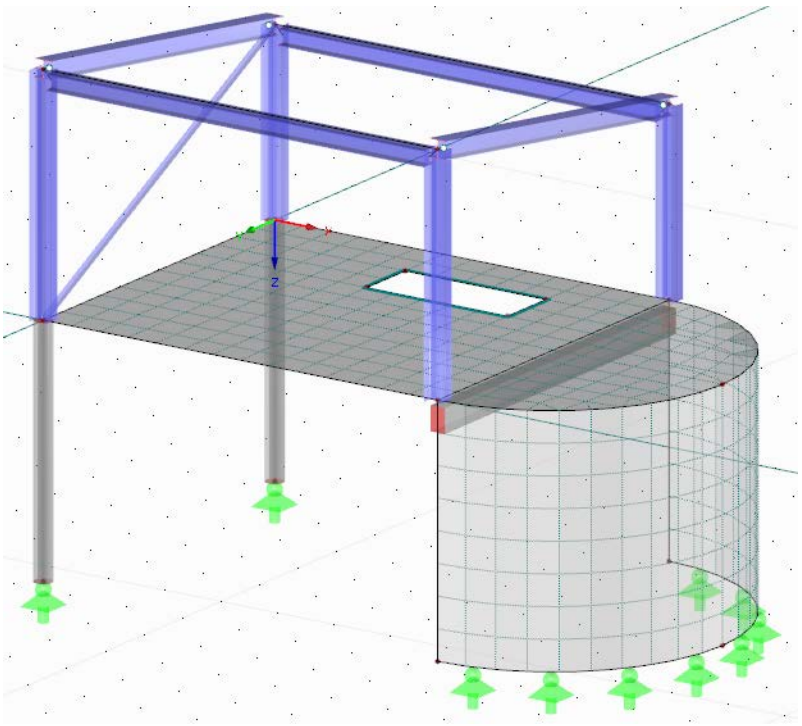


Figura 7.3 Modello con la mesh agli EF generata

Creazione di un infittimento della mesh agli EF

Definire l'area di infittimento per entrambe le estremità della trave emergente per generare una mesh agli EF più accurata.

Fare doppio clic sul nodo **3** per aprire la finestra di dialogo *Modifica nodo*. Passare alla scheda *Mesh agli EF* e spuntare la casella di controllo dell'opzione **Disponibile** (vedere figura 7.4).

Siccome non si è ancora un tipo di infittimento della mesh agli EF, si aprirà automaticamente la finestra di dialogo *Nuovo infittimento mesh agli EF*.

Non è necessario modificare le impostazioni predefinite *Nodo - Circolare* e i *Parametri* proposti. La mesh agli EF verrà cancellata dopo la conferma con [OK] di entrambe le finestre di dialogo.

Verrà visualizzata un'area di infittimento sul nodo selezionato rappresentata con una forma sferica.

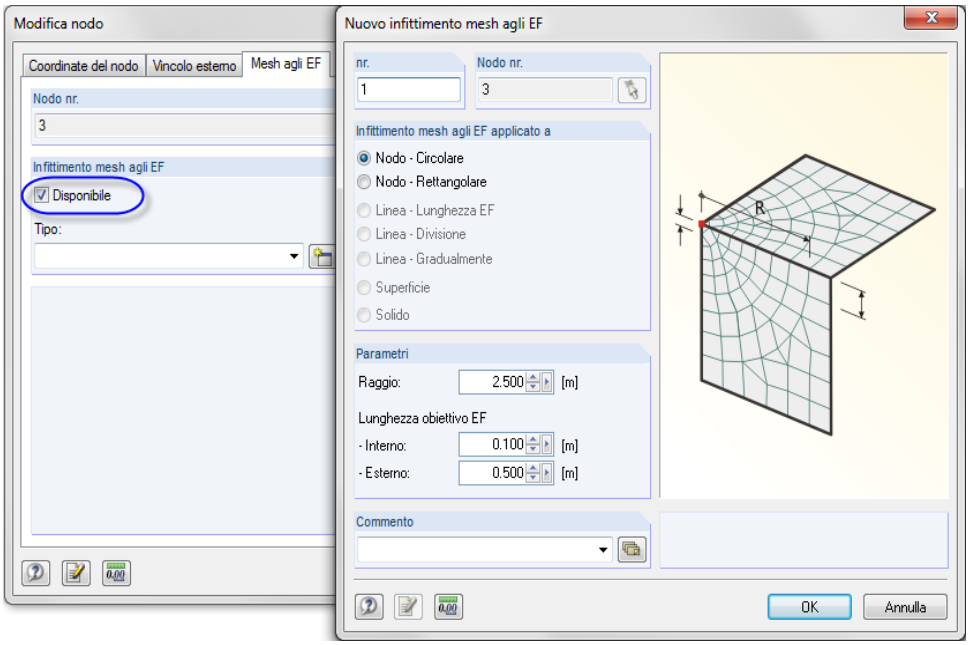
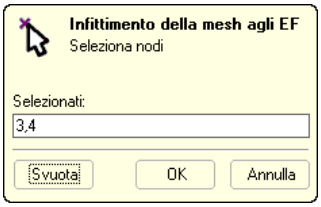


Figura 7.4 Finestra di dialogo *Modifica nodo* e *Nuovo infittimento mesh agli EF*

Ora, si deve trasferire l'infittimento mesh agli EF al secondo nodo della trave emergente. Nel navigatore *Dati*, fare doppio clic sulla voce *1* elencata sotto a *Nuovo infittimento mesh agli EF* per accedere alla finestra di dialogo *Modifica infittimento mesh agli EF*.

Fare clic sul pulsante [Seleziona nodi] nella sezione di dialogo *Nodo nr.* per selezionare il secondo nodo della nervatura graficamente nell'area di lavoro.



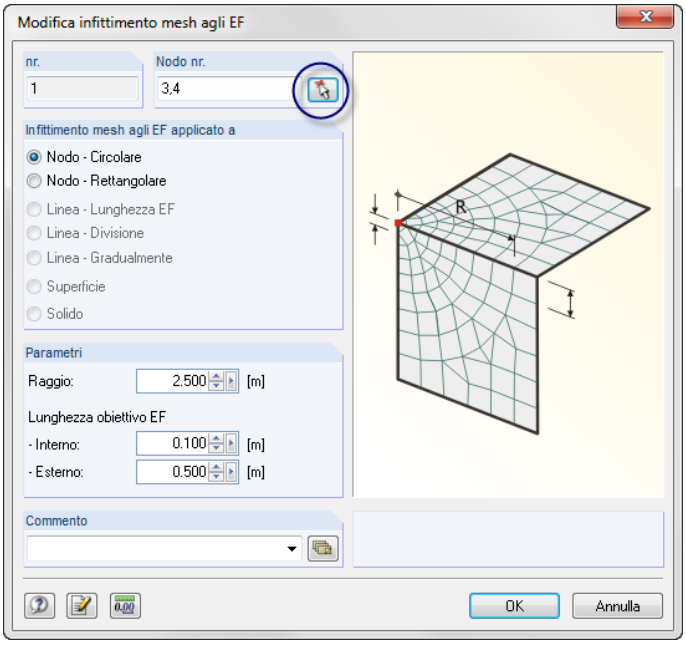


Figura 7.5 Definizione del secondo nodo graficamente usando la funzione [Seleziona nodi]

Chiudere con [OK] tutte le finestre di dialogo.

Creare la mesh ancora una volta

selezionando **Genera mesh EF** nel menu **Calcola**.

Poi, verificare le aree d'infittimento.

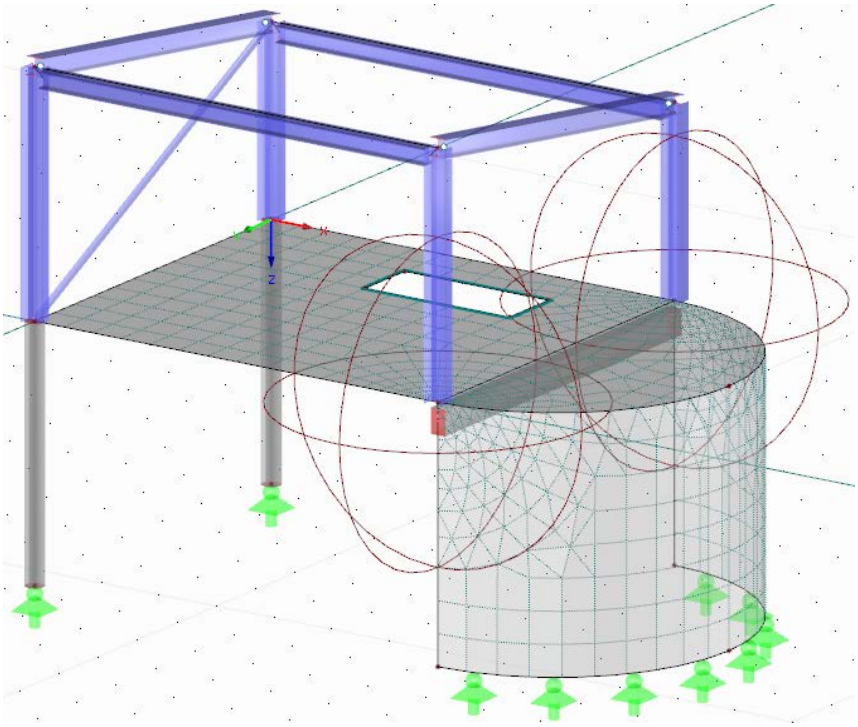


Figura 7.6 Mesh agli EF con aree d'infittimento

7.3 Calcolo del modello

Per avviare il calcolo,

selezionare **Calcola tutto** nel menu **Calcola**

o usare il pulsante della barra degli strumenti visualizzato sulla sinistra.

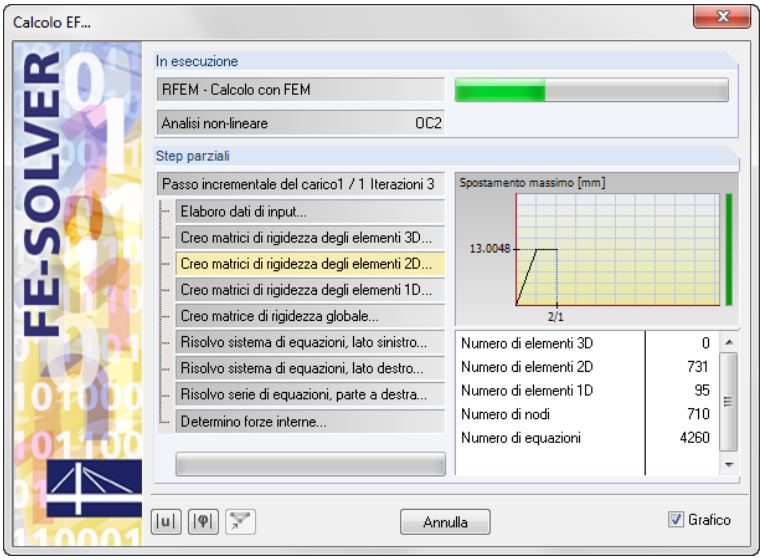


Figura 7.7 Processo di calcolo

8. Risultati

8.1 Risultati grafici

Non appena il calcolo è completo, RFEM mostra gli spostamenti generalizzati del caso di carico attivo.

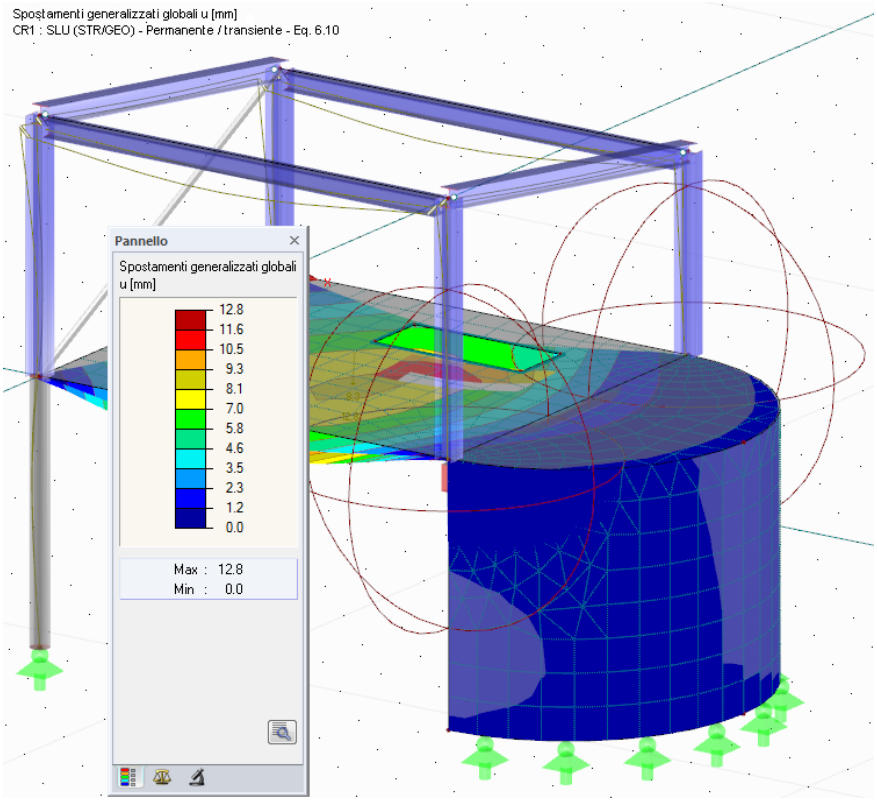


Figura 8.1 Rappresentazione grafica degli spostamenti generalizzati per la combinazione di risultati CR1

Selezione dei casi e delle combinazioni di carico

È possibile usare i pulsanti della barra degli strumenti [◀] e [▶] (a destra dell'elenco dei casi di carico) per spostarsi tra i risultati dei casi di carico e delle combinazioni di carico e di risultati. I pulsanti per controllare i casi di carico sono già conosciuti. È possibile anche selezionare nell'elenco un caso specifico o una combinazione di carico.

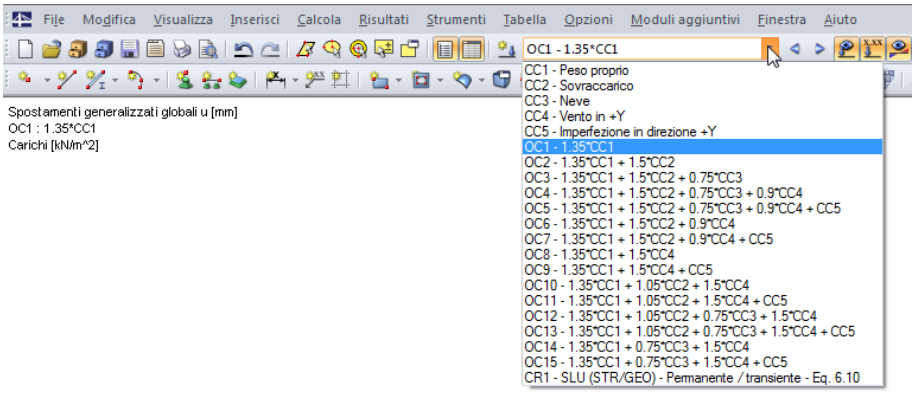


Figura 8.2 Elenco dei casi di carico nella barra degli strumenti

Selezione dei risultati nel navigatore

Comparirà un nuovo navigatore, che gestisce i tipi di risultati per la visualizzazione grafica. È possibile accedere al navigatore dei *Risultati* quando la visualizzazione dei risultati è attiva. È possibile inserire e disinserire la visualizzazione dei risultati nel navigatore *Visualizza*, ma è possibile usare anche il pulsante della barra degli strumenti [Mostra risultati] mostrato a sinistra.

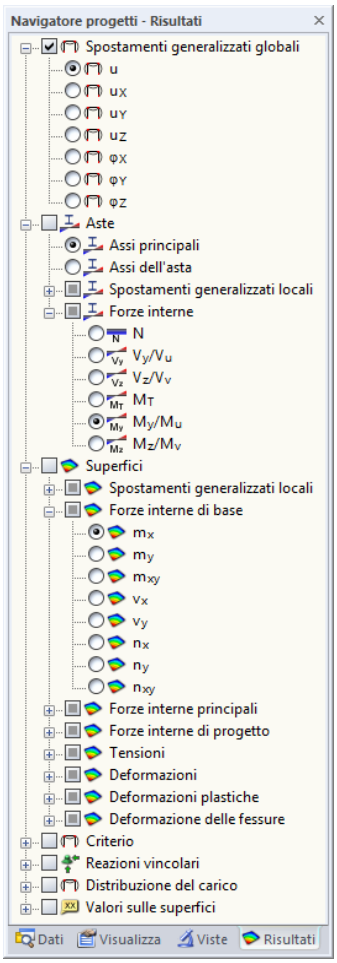
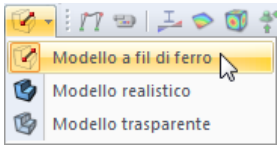


Figura 8.3 Navigatore *Risultati*

È possibile vedere le caselle di controllo davanti a ciascuna categoria di risultati (per esempio *Spostamenti generalizzati globali*, *Aste*, *Superfici*, *Reazioni vincolari*). Quando si spunta la casella, si vedrà il corrispondente spostamento generalizzato o la forza interna visualizzati in RFEM. Davanti alle voci elencate nelle categorie ci sono anche altre caselle di controllo con cui si potranno impostare il tipo di risultati da visualizzare.

Infine, è possibile sfogliare i singoli casi e le combinazioni di carico. La varietà delle categorie di risultati permette di visualizzare gli spostamenti generalizzati, le forze interne delle aste e delle superfici e le tensioni o le reazioni vincolari.



La figura sottostante visualizza le forze interne M_z delle aste e le forze interne m_y delle superfici calcolate per CO13. Per visualizzare le forze, è raccomandabile usare il modello a fil di ferro. È possibile impostare l'opzione di visualizzazione con il pulsante visualizzato a sinistra.

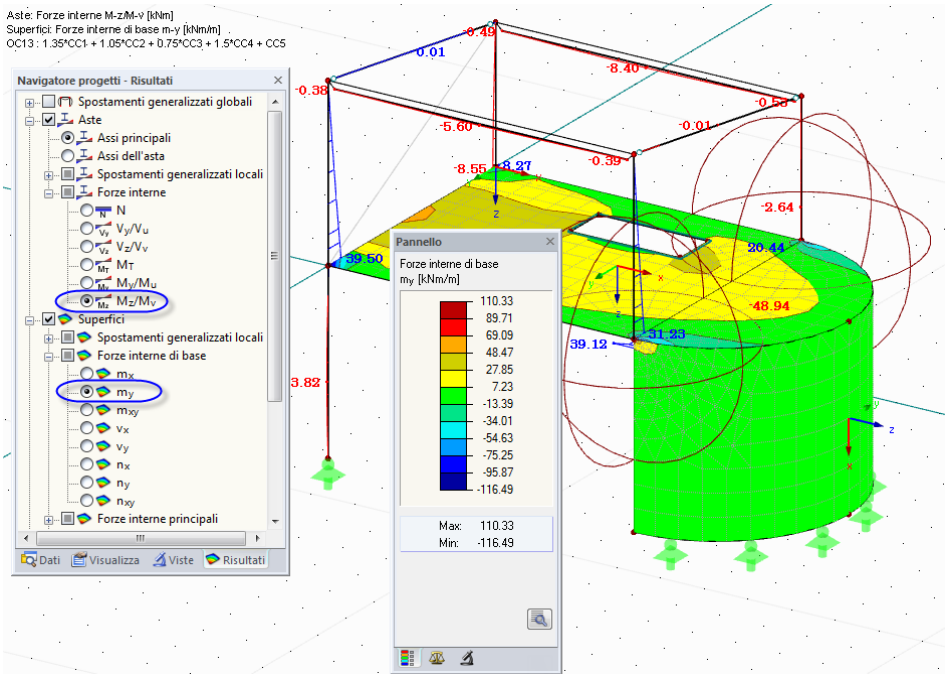


Figura 8.4 Rappresentazione delle forze interne delle aste e delle superfici (CO13)

Visualizzazione dei valori

La scala di colori nel pannello di controllo fornisce informazioni sugli intervalli di colore. Inoltre, è possibile inserire i valori dei risultati per particolari posizioni cliccando l'opzione **Valori sulle superfici** nel navigatore *Risultati*. Per visualizzare tutti i valori dei nodi della mesh agli EF o dei punti della griglia, disattivare l'opzione dei *Valori estremi*.

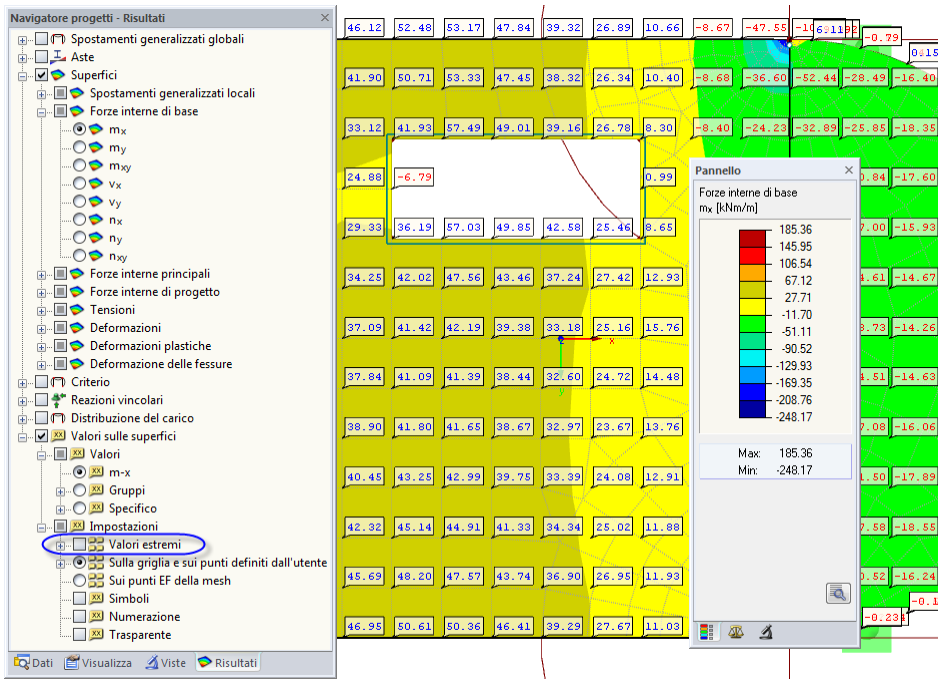


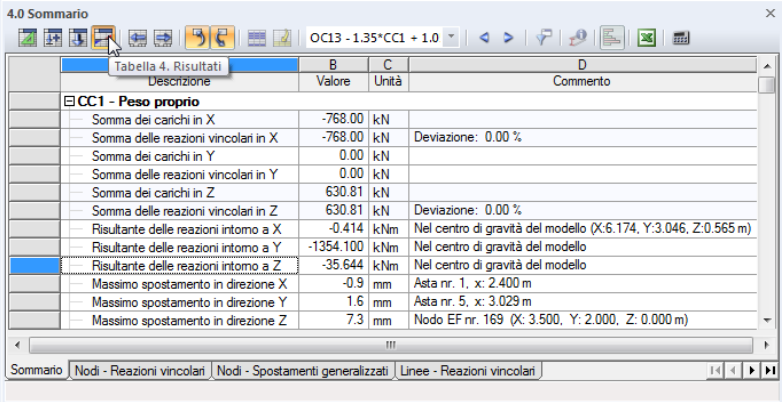
Figura 8.5 Momenti dei punti della griglia m_x dell'impalcato nella vista Z (CO13)

8.2 Tabelle dei risultati

È possibile valutare i risultati anche nelle tabelle.

Visualizzazione delle tabelle

Le tabelle dei risultati sono visualizzate automaticamente non appena la struttura viene calcolata. Così come per l'input numerico si esamineranno varie tabelle dei risultati. La tabella 4.0 *Sommario* offre un sommario del processo di calcolo, ordinato per caso e combinazione di carico.



4.0 Sommario

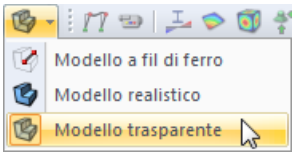
OC13 - 1.35*CC1 + 1.0

Tabella 4. Risultati

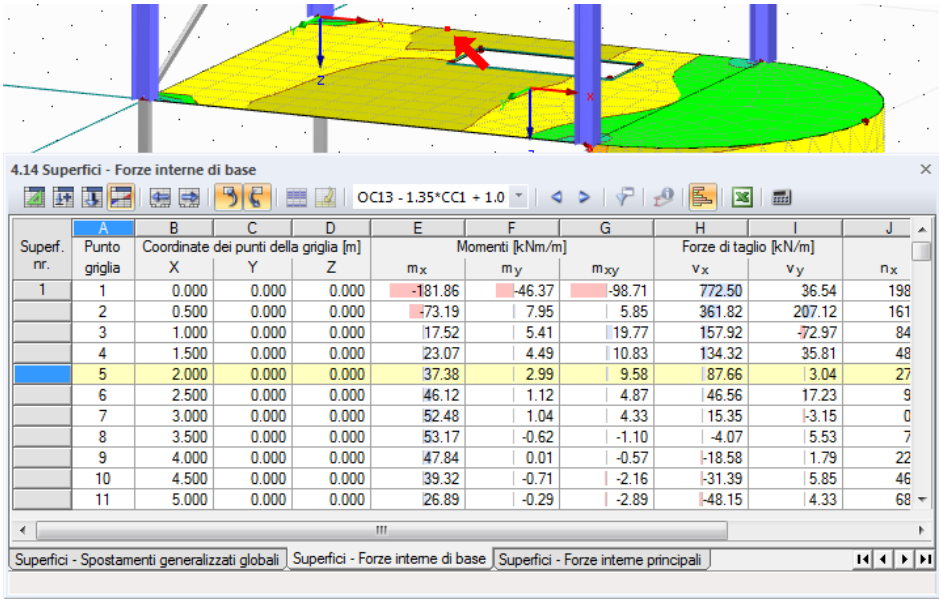
Descrizione	Valore	Unità	Commento
CC1 - Peso proprio			
Somma dei carichi in X	-768.00	kN	
Somma delle reazioni vincolari in X	-768.00	kN	Deviazione: 0.00 %
Somma dei carichi in Y	0.00	kN	
Somma delle reazioni vincolari in Y	0.00	kN	
Somma dei carichi in Z	630.81	kN	
Somma delle reazioni vincolari in Z	630.81	kN	Deviazione: 0.00 %
Risultante delle reazioni intorno a X	-0.414	kNm	Nel centro di gravità del modello (X:6.174, Y:3.046, Z:0.565 m)
Risultante delle reazioni intorno a Y	-1354.100	kNm	Nel centro di gravità del modello
Risultante delle reazioni intorno a Z	-35.644	kNm	Nel centro di gravità del modello
Massimo spostamento in direzione X	-0.9	mm	Asta nr. 1, x: 2.400 m
Massimo spostamento in direzione Y	1.6	mm	Asta nr. 5, x: 3.029 m
Massimo spostamento in direzione Z	7.3	mm	Nodo EF nr. 169 (X: 3.500, Y: 2.000, Z: 0.000 m)

Sommario | Nodi - Reazioni vincolari | Nodi - Spostamenti generalizzati | Linee - Reazioni vincolari

Figura 8.6 Tabella 4.0 *Sommario*



Per selezionare le altre tabelle, fare clic sulle schede corrispondenti. Per trovare risultati specifici nella tabella, per esempio le forze interne dell'impalcato, impostare la tabella 4.14 *Superfici - Forze interne di base*. Poi, selezionare la superficie nell'area di lavoro (impostando il *Modello trasparente* che facilita la nostra selezione), e si vedrà che RFEM passa alle forze interne fondamentali della superficie nella tabella. Il punto della griglia corrente, il che significa la posizione del puntatore nella riga della tabella, viene indicato con una freccia di contrassegno nell'area di lavoro.



4.14 Superfici - Forze interne di base

OC13 - 1.35*CC1 + 1.0

Superf. nr.	A Punto griglia	B Coordinate dei punti della griglia [m] X	C Y	D Z	E Momenti [kNm/m] m_x	F m_y	G m_{xy}	H Forze di taglio [kN/m] v_x	I v_y	J n_x
1	1	0.000	0.000	0.000	-181.86	-46.37	-98.71	772.50	36.54	198
	2	0.500	0.000	0.000	-73.19	7.95	5.85	361.82	207.12	161
	3	1.000	0.000	0.000	17.52	5.41	19.77	157.92	-72.97	84
	4	1.500	0.000	0.000	23.07	4.49	10.83	134.32	35.81	48
	5	2.000	0.000	0.000	37.38	2.99	9.58	87.66	3.04	27
	6	2.500	0.000	0.000	46.12	1.12	4.87	46.56	17.23	9
	7	3.000	0.000	0.000	52.48	1.04	4.33	15.35	-3.15	0
	8	3.500	0.000	0.000	53.17	-0.62	-1.10	-4.07	5.53	7
	9	4.000	0.000	0.000	47.84	0.01	-0.57	-18.58	1.79	22
	10	4.500	0.000	0.000	39.32	-0.71	-2.16	-31.39	5.85	46
	11	5.000	0.000	0.000	26.89	-0.29	-2.89	-48.15	4.33	68

Superfici - Spostamenti generalizzati globali | Superfici - Forze interne di base | Superfici - Forze interne principali

Figura 8.7 Forze interne di superficie nella tabella 4.14 e segnale del punto corrente nel modello

Come la funzione sfoglia nella barra degli strumenti principale è possibile usare i pulsanti [◀] e [▶] per selezionare i casi di carico nella tabella. È possibile usare anche l'elenco nella barra degli strumenti della tabella per impostare un particolare caso di carico.

Regolazione della griglia dei risultati

I risultati della superficie mostrati nelle tabelle sono elencati nei punti della griglia definiti per la superficie. La griglia dei risultati, come la mesh agli EF, ha una larghezza di mesh predefinita di 50 cm.

Per definire la griglia dei valori dei risultati della superficie 1, fare doppio clic sull'impalcato nell'area di lavoro (o nella voce pertinente nel navigatore *Dati*). Poi, nella finestra di dialogo *Modifica superficie*, cambiare le impostazioni nella scheda *Griglia*: come nuova distanza dei punti della griglia selezionare **25** cm per entrambe le direzioni *b* e *h*.

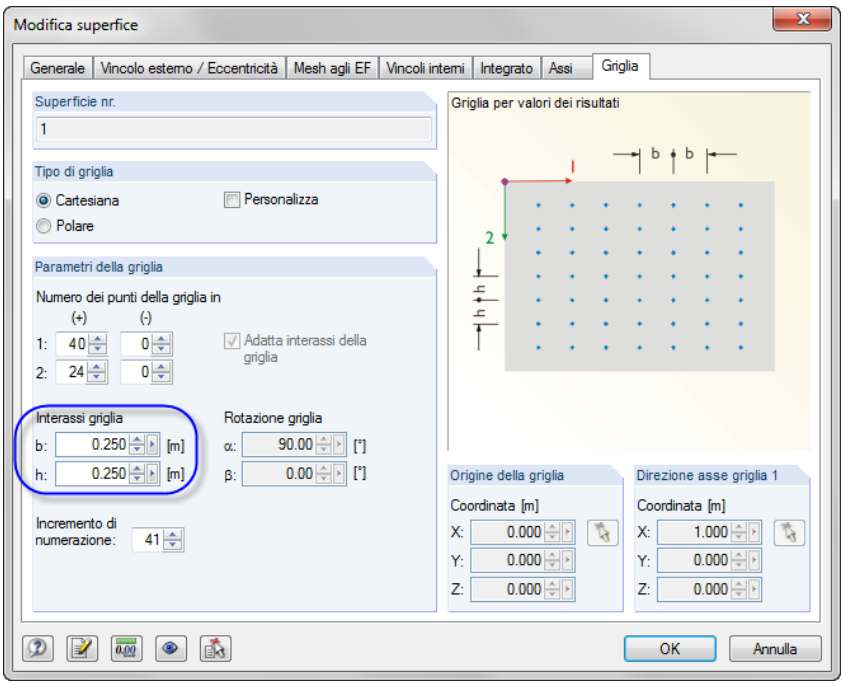
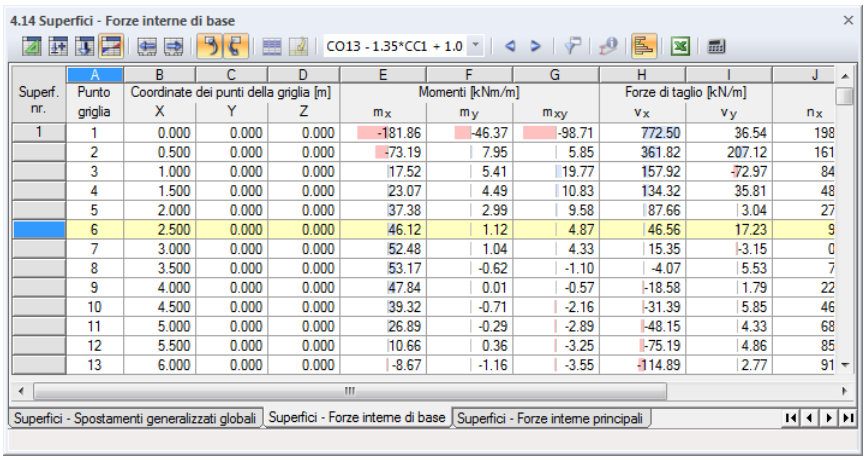


Figura 8.8 Modifica della griglia per i valori dei risultati

Quando si fa clic su [OK], RFEM aggiornerà i valori dei risultati nella tabella. Non è richiesto un ricalcolo perché i risultati dei punti della griglia sono determinati dai valori disponibili nei nodi agli EF.



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	n_x
1	1	0.000	0.000	0.000	-181.86	-46.37	-98.71	772.50	36.54	198
	2	0.500	0.000	0.000	-73.19	7.95	5.85	361.82	207.12	161
	3	1.000	0.000	0.000	17.52	5.41	19.77	157.92	-72.97	84
	4	1.500	0.000	0.000	23.07	4.49	10.83	134.32	35.81	48
	5	2.000	0.000	0.000	37.38	2.99	9.58	87.66	3.04	27
	6	2.500	0.000	0.000	46.12	1.12	4.87	46.56	17.23	9
	7	3.000	0.000	0.000	52.48	1.04	4.33	15.35	-3.15	0
	8	3.500	0.000	0.000	53.17	-0.62	-1.10	-4.07	5.53	7
	9	4.000	0.000	0.000	47.84	0.01	-0.57	-18.58	1.79	22
	10	4.500	0.000	0.000	39.32	-0.71	-2.16	-31.39	5.85	46
	11	5.000	0.000	0.000	26.89	-0.29	-2.89	-48.15	4.33	68
	12	5.500	0.000	0.000	10.66	0.36	-3.25	-75.19	4.86	85
	13	6.000	0.000	0.000	-8.67	-1.16	-3.55	-114.89	2.77	91

Figura 8.9 Valori dei risultati della superficie 1 con griglia infittita

8.3 Filtro dei risultati

RFEM offre diverse modalità e strumenti con cui è possibile rappresentare e valutare i risultati per una chiara panoramica strutturale. È possibile usare questi strumenti anche per esempio.

8.3.1 Visibilità

Si è già lavorato con le visibilità durante l'inserimento dell'intelaiatura di acciaio (vedere paragrafo 4.5.1, a pagina 32). Le funzioni di visibilità sono utili anche durante la valutazione dei risultati.

Visualizzazione dei risultati per le colonne di calcestruzzo

Impostare la scheda *Viste* nel navigatore. Selezionare *Aste per sezione trasversale* sotto le visibilità che RFEM ha *Generato* dai dati inseriti. Spuntare inoltre *Cerchio 300* ed attivare l'opzione *Definita dall'utente / generata* in cima al navigatore.

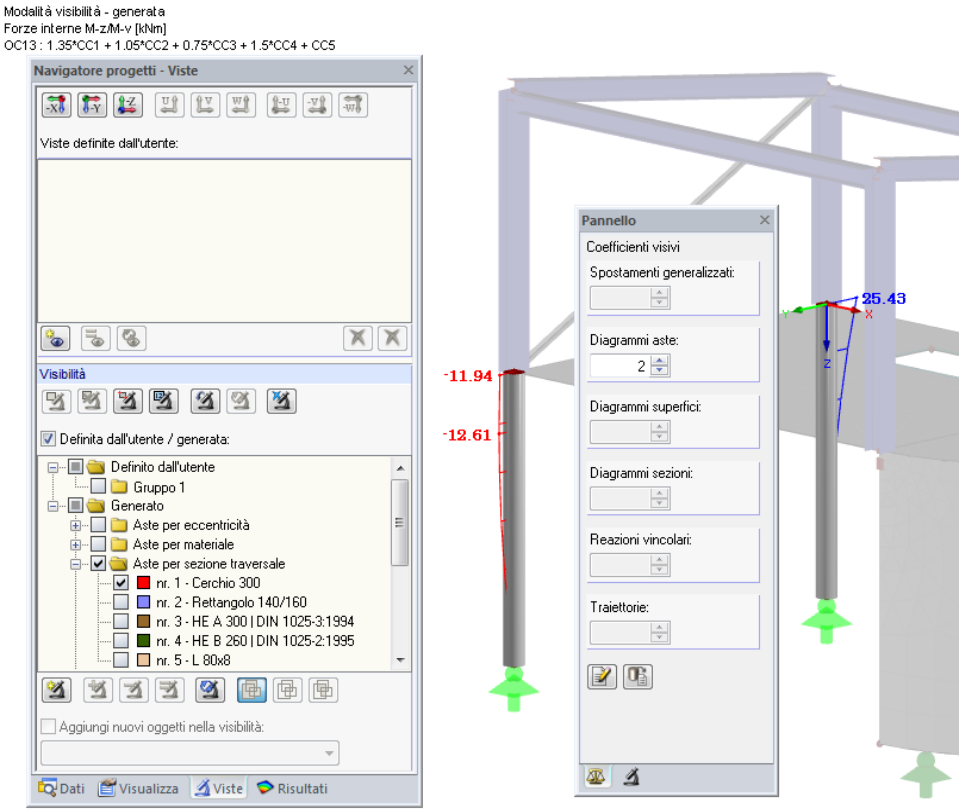


Figura 8.10 Momenti M_z delle colonne di calcestruzzo nella rappresentazione in scala

La visualizzazione mostra le colonne di calcestruzzo inclusi i risultati. Il modello rimanente è visualizzato solo in grigio e senza risultati.

Modifica del coefficiente di scala

Al fine di verificare il diagramma delle forze interne del modello rendizzato senza difficoltà, scaleremo la visualizzazione dei dati nella scheda di controllo del pannello. Cambiare il coefficiente a *2* per **Diagrammi aste** (vedere figura sovrastante).

Visualizzazione dei risultati per l'impalcato

È possibile, nello stesso modo, filtrare anche i risultati della superficie nel menu *Viste* del navigatore. Deselezionare la casella di controllo *Aste per sezione trasversale* e selezionare *Superfici per geometria* e spuntare la voce *Piana*.

Ora, quando si cambierà il tipo di risultati con il pulsante [Spostamenti generalizzati] disponibile nella barra degli strumenti, si vedrà la seguente visualizzazione di RFEM.

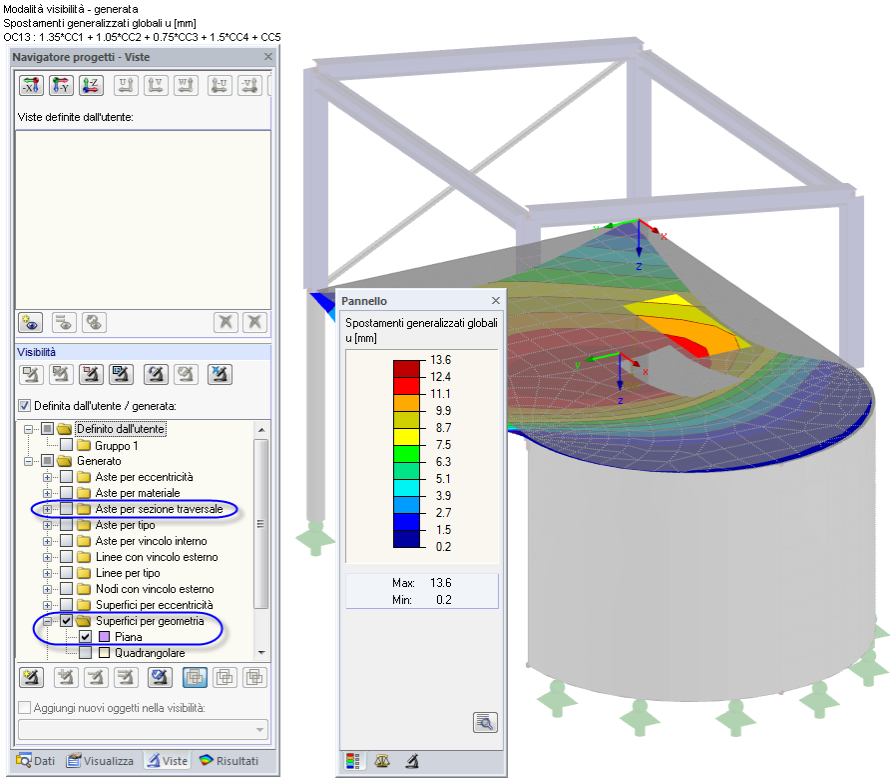


Figura 8.11 Spostamenti generalizzati dell'impalcato

Come già descritto, è possibile cambiare la visualizzazione dei tipi di risultato (spostamenti generalizzati, forze interne, tensioni ecc.) nel menu *Risultati* (vedere figura 8.3, a pagina 79).

Visualizzazione degli spostamenti generalizzati della costruzione di acciaio

Ora, nel navigatore *Viste*, deselezionare la casella di controllo *Superfici per geometria*, e selezionare *Aste per materiale* spuntando *Acciaio S 235*.

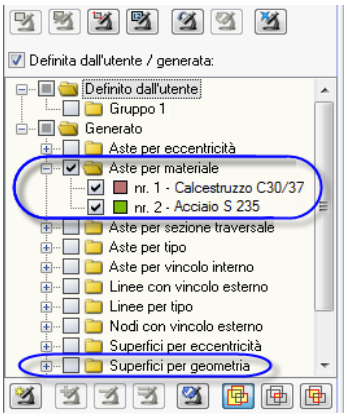


Figura 8.12 Filtro delle aste di acciaio nel navigatore *Viste*

Il grafico mostra gli spostamenti generalizzati della costruzione di acciaio visualizzate come linee.

È anche possibile visualizzare gli spostamenti generalizzati delle sezioni trasversali: passare al navigatore *Visualizza* e

selezionare **Risultati**, **Spostamento generalizzato**, **Aste** e **Sezioni trasversali colorate**.

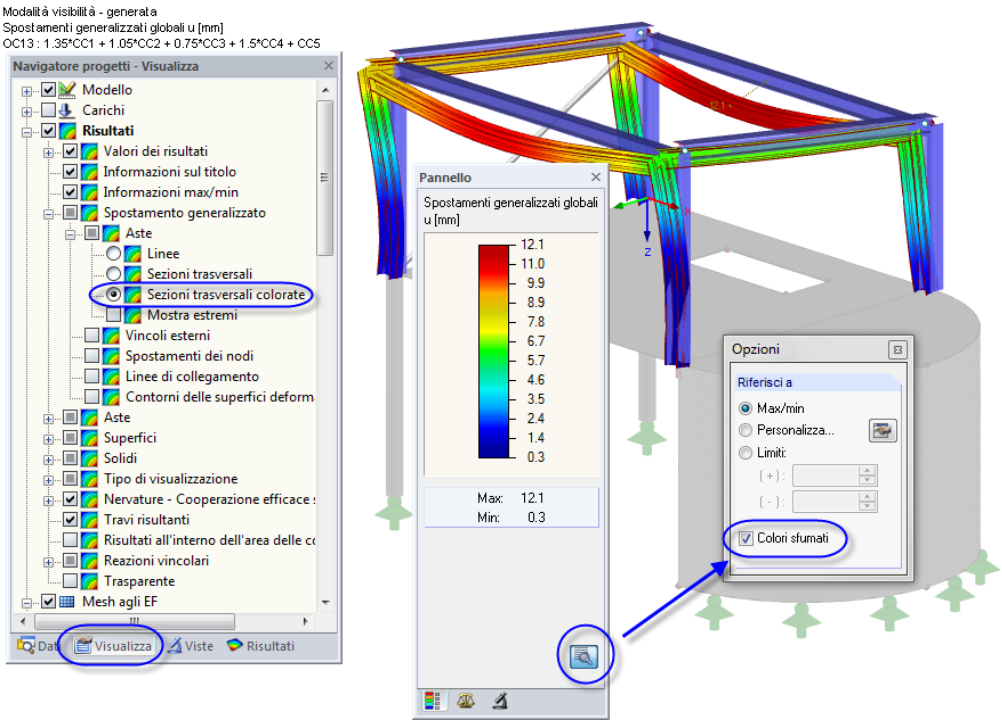


Figura 8.13 Spostamenti generalizzati delle sezioni trasversali di acciaio

Con il pulsante del pannello [Opzioni] è possibile attivare aggiuntivamente l'opzione *Colori sfumati*.

RFEM non visualizza alcun spostamento generalizzato della sezione trasversale a L, per esempio nella CO13. Quest' asta è stata definita come asta tesa. Tuttavia, gli spostamenti

generalizzati mostrano che vi sono forze di compressione. Queste comportano il collasso delle diagonali, il che significa che quest' asta non è efficace all'interno del sistema.

8.3.2 Risultati sugli oggetti

Un'altra possibilità per filtrare i risultati è usare la scheda filtro del pannello di controllo dove è possibile specificare i numeri aste o superfici particolari di cui visualizzare esclusivamente i risultati. A differenza della funzione di visibilità, il modello verrà visualizzato completamente nell'area di lavoro.

Prima, disattivare l'opzione *Definita dall'utente / generata* nel navigatore *Viste*

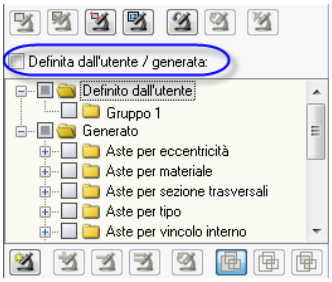


Figura 8.14 Reimpostazione della panoramica generale nel navigatore *Viste*

Poi, nel navigatore *Risultati*, selezionare le forze assiali *N* delle aste. È possibile disattivare i risultati delle *Superfici*.

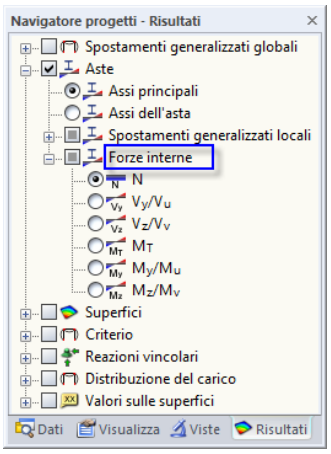


Figura 8.15 Impostazioni di visualizzazione per le forze assiali dell'asta *N*

Selezione speciale

Per visualizzare soltanto le forze assiali delle colonne, selezionare tutte le aste in posizione verticale. RFEM offre speciali opzioni di selezione disponibili nella finestra di dialogo. Per aprire la finestra di dialogo,

selezionare **Seleziona** nel menu **Modifica**, e poi fare clic su **Speciale**,

o usare il pulsante della barra degli strumenti mostrato sulla sinistra.

Selezionare la categoria *Aste* e l'opzione *Parallele all'asta*.

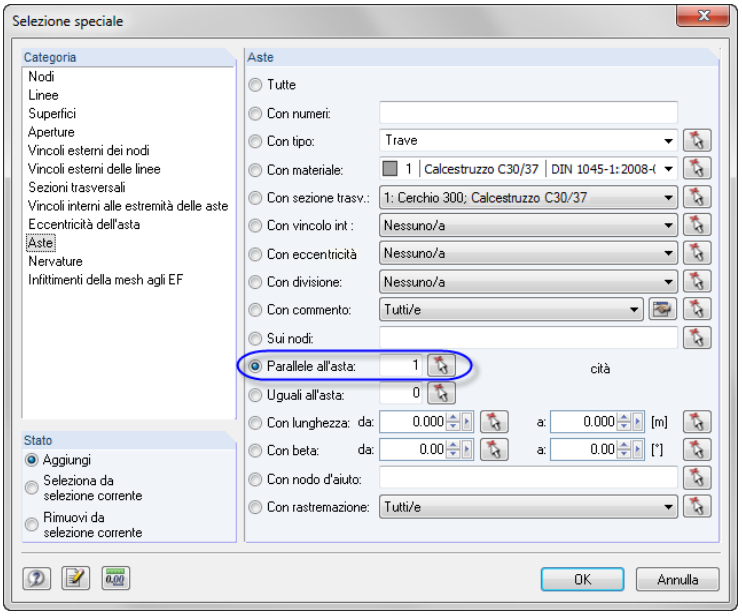


Figura 8.16 Selezione delle aste parallele

Poi, usare la funzione [Seleziona asta] per selezionare una delle aste della colonna nell'area di lavoro.
Dopo aver chiuso le finestre di dialogo con [OK], tutte le aste in posizione verticale vengono selezionate.

Visualizzazione delle forze assiali delle colonne

Nel pannello, passare alla scheda filtro e attivare l'impostazione *Aste*.

Fare clic sul pulsante [Importa da selezione] e vedere i numeri di tutte le aste della colonna che sono stati inseriti nel campo di immissione sovrastante. Le forze assiali della nervatura e quelle delle travi orizzontali e delle aste dell'arcareccio scompaiono dall'area di lavoro.

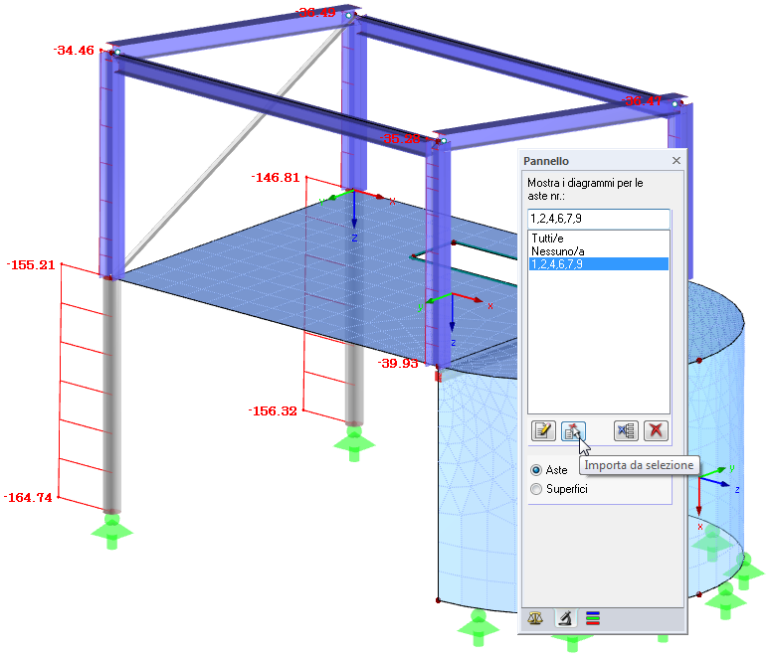


Figura 8.17 Forze assiali delle aste

8.3.3 Intervallo di valori

Con la scheda relativa della scala di colori del pannello è possibile filtrare i valori dei risultati.

Prima di tutto, nel navigatore *Risultati*, rimuovere il segno di spunta per i risultati dell'asta. Poi, impostare le forze interne fondamentali n_x della superficie per la visualizzazione. In questo caso le forze sono assiali, agenti in direzione dell'asse locale x della superficie. L'asse x dei punti della superficie della parete curva è diretto verso il basso.

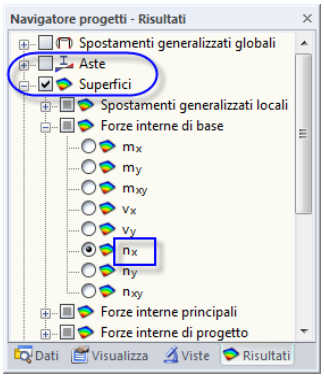


Figura 8.18 Impostazioni per la visualizzazione delle forze interne fondamentali n_x

Guardando la superficie della parete, è possibile vedere forze compressive elevate che si verificano al di sopra dei nodi finali dell'arco. Nella CO13 per esempio, esse sono indotte da entrambe le colonne in acciaio e attraverso la nervatura. I valori elevati indicano gli effetti delle singolarità.

Per eliminare questi picchi di risultati per la valutazione, cambiare la scheda della scala dei colori del pannello. Fare doppio clic sullo spettro dei colori (non quello dei valori!) e si aprirà la finestra di dialogo *Modifica valore isobanda e spettro colori*.

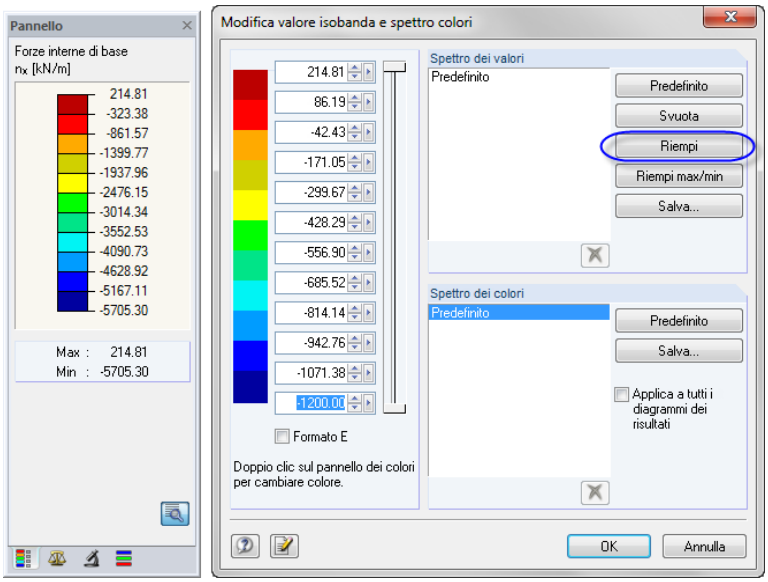


Figura 8.19 Cambiamento del valore estremo per visualizzare e [Riempi]mento dello spettro dei valori

Ridurre il valore estremo delle forze di compressione come mostrato nella figura sovrastante, per esempio per CO13 (**-1200** kN/m invece di -5705,30 kN/m). Infine, suddividere lo spettro dei valori in intervalli uguali tra il valore del limite superiore ed inferiore cliccando il pulsante [Riempi].

Dopo aver fatto clic su [OK] la distribuzione della forza è maggiormente differenziata. Ora, la zona dove le forze di sollevamento si verificano è chiaramente visibile. Le posizioni delle singolarità non comprese con la scala di colore sono rappresentate senza colore.

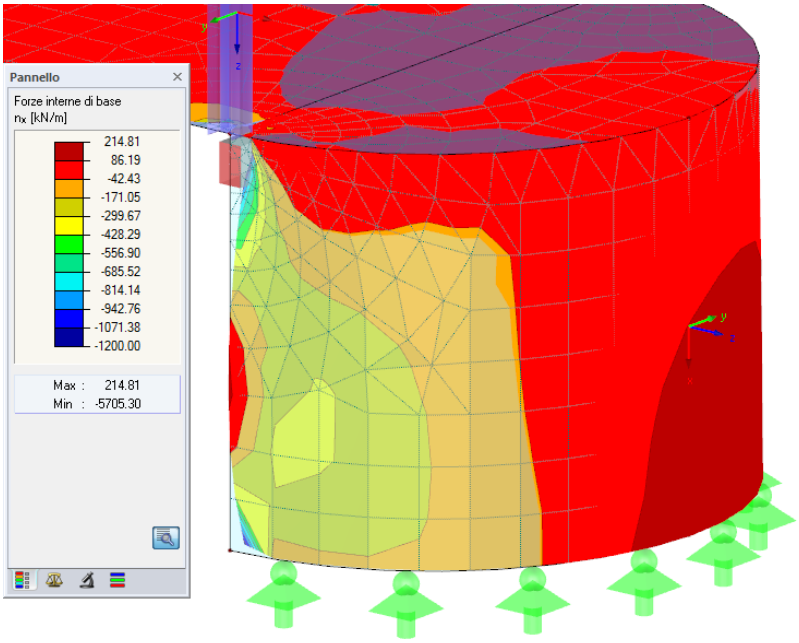
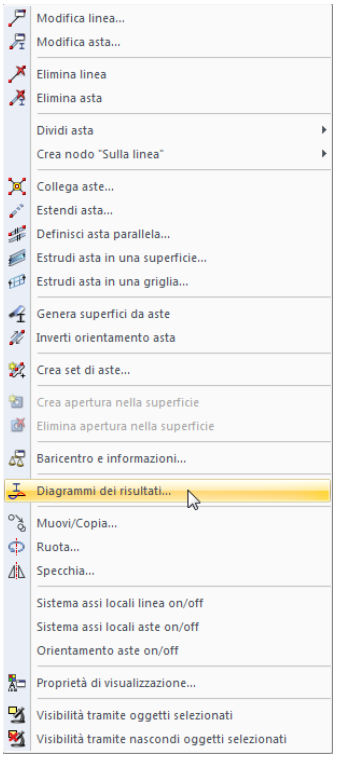


Figura 8.20 Forze assiali della parete con spettro di valori regolato (picchi adattati, zone tese e compresse)

8.4 Visualizzazione dei diagrammi dei risultati



Menu di scelta rapida *Asta*

Si potranno valutare i risultati anche in un diagramma disponibile per le linee, le aste, i vincoli esterni della linea e le sezioni (vedere paragrafo 8.5). Useremo questa funzione per controllare il diagramma di risultati della trave emergente.

Fare clic con il pulsante destro del mouse sull'asta *3* (quando si hanno problemi si possono disinserire i risultati delle superfici) e selezionare l'opzione *Diagramma dei risultati*.

Si aprirà una nuova finestra mostrante i diagrammi dei risultati per la nervatura.

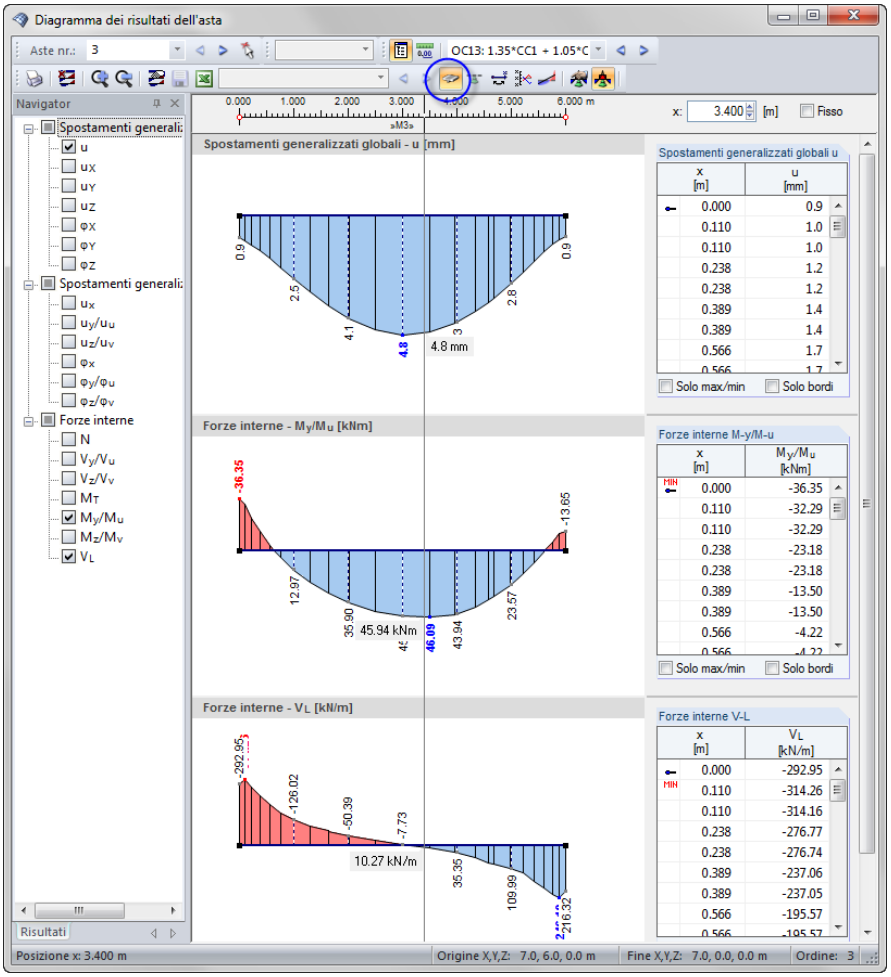


Figura 8.21 Visualizzazione dei diagrammi dei risultati per la trave emergente

Nel navigatore, mettere un segno di spunta per gli spostamenti generalizzati 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 componente nervature] viene attivato nella barra degli strumenti. Quando si farà clic sul pulsante per disattivarlo e attivarlo, è possibile vedere chiaramente la differenza tra le forze interne pure dell'asta e le forze interne della nervatura con le componenti di integrazione dalla superficie.

Per regolare la dimensione dei risultati dei diagrammi visualizzati, usare i pulsanti [+] e [-].

I pulsanti [◀] e [▶] per la selezione del caso di carico sono disponibili anche nella finestra del diagramma dei risultati. Ma è possibile anche usare l'elenco per impostare i risultati di un caso di carico.

Uscire dalla funzione *Diagrammi dei risultati dell'asta* chiudendo la finestra.

8.5 Creazione della sezione

È possibile definire delle sezioni piane del modello per facilitare la validazione dei risultati. Il navigatore gestisce tutte le sezioni come oggetti indipendenti.

Per creare una nuova sezione,

selezionare **Sezione** nel menu **Inserisci**

o usare il menu di scelta rapida della sezione nel navigatore *Dati*.

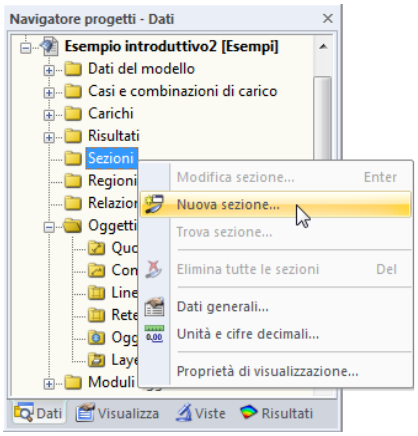
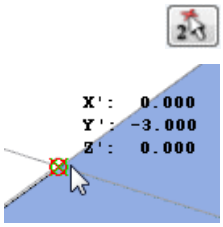


Figura 8.22 Menu di scelta rapida *Sezioni* nel navigatore *Dati*

Si aprirà la finestra di dialogo *Nuova sezione,* inserire **Centro** come *Nome sezione* perché si vuole definire la sezione lungo il centro della piastra.



Selezione del punto di mezzo della linea 1

Poi, definire i punti dei bordi della sezione graficamente usando la funzione [Scegli punti dei bordi della sezione]: cliccare il punto di mezzo della linea 1 (coordinate globali 0,000/3,000/0,000), e poi si selezionare l'arco del nodo *5*.

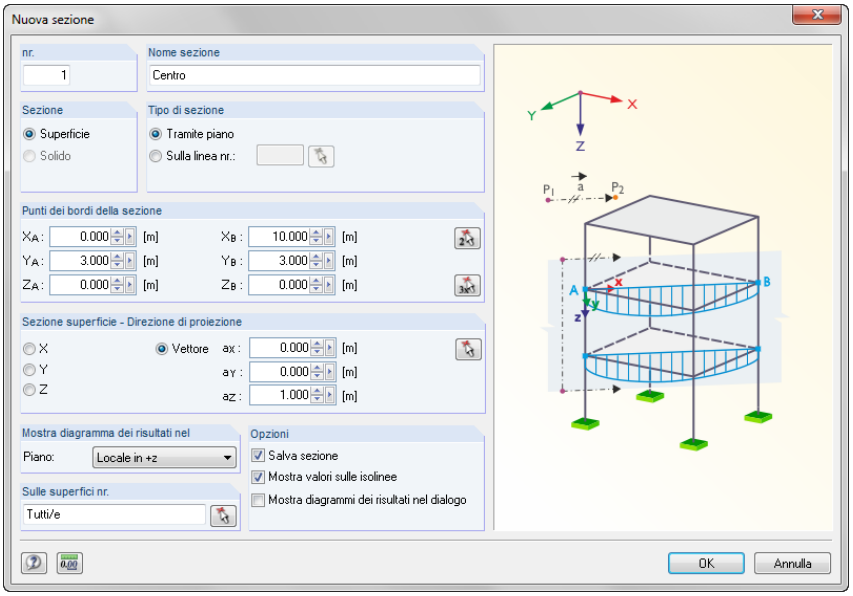


Figura 8.23 Definizione della sezione

Accettare le preimpostazioni rimanenti e confermare con [OK] la finestra di dialogo.

Apparirà la finestra già conosciuta *Diagramma dei risultati*. Nel navigatore, spuntare le caselle di controllo degli spostamenti generalizzati globali *u* e le forze interne fondamentali m_x e n_x. I risultati delle superfici *S1* e *S2* intercettate per sezione sono visualizzati su una linea.

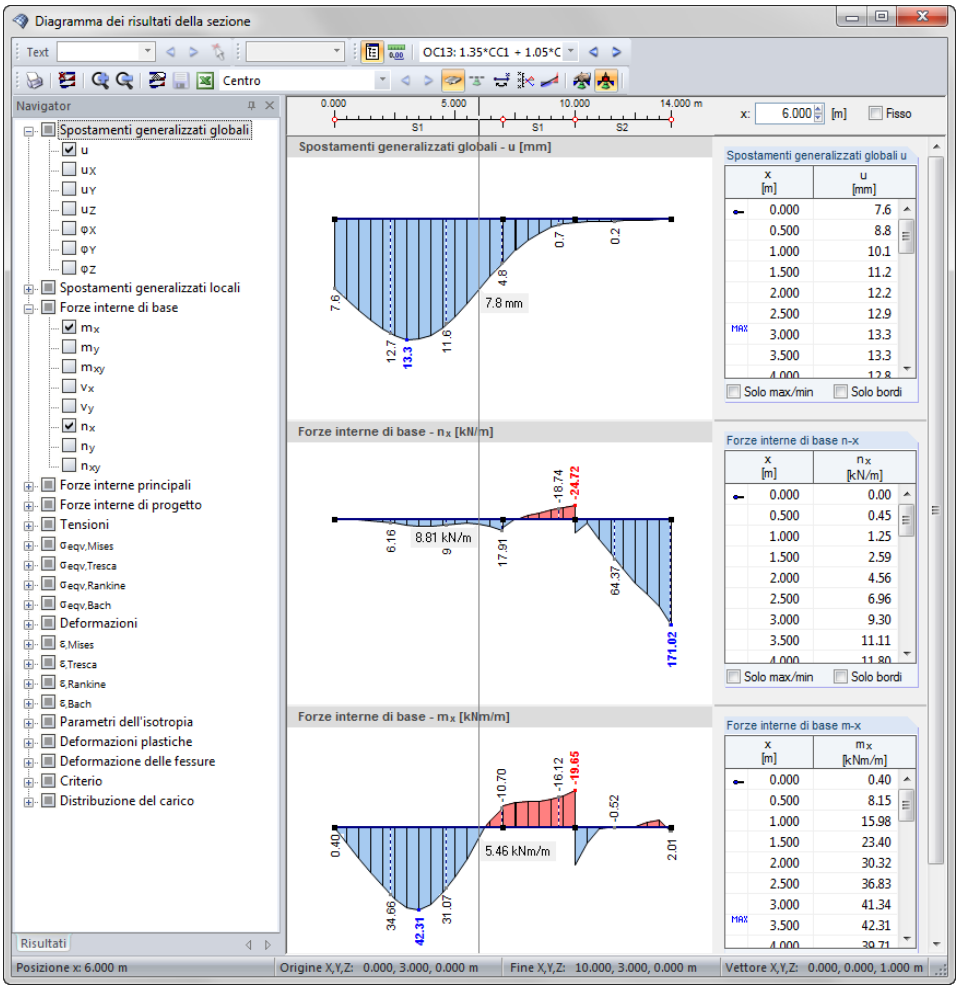


Figura 8.24 Visualizzazione della sezione nella finestra *Diagramma dei risultati*

Fare clic su [Chiudi] per chiudere la finestra *Diagramma dei risultati*. Si vedrà ora la sezione visualizzata anche nella finestra di lavoro di RFEM dove si imposteranno le forze interne fondamentali m_x.

Disattivare i risultati delle superfici per visualizzare solo i diagrammi della sezione (vedere figura 8.26).

Con l'opzione visualizzata riempita per le sezioni disponibile nel navigatore *Visualizza* è possibile evidenziare il diagramma del momento nel modello.

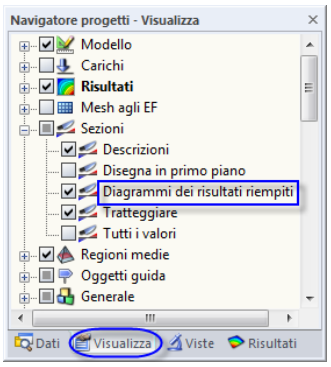


Figura 8.25 Opzioni di visualizzazione per le sezioni nel navigatore *Visualizza*

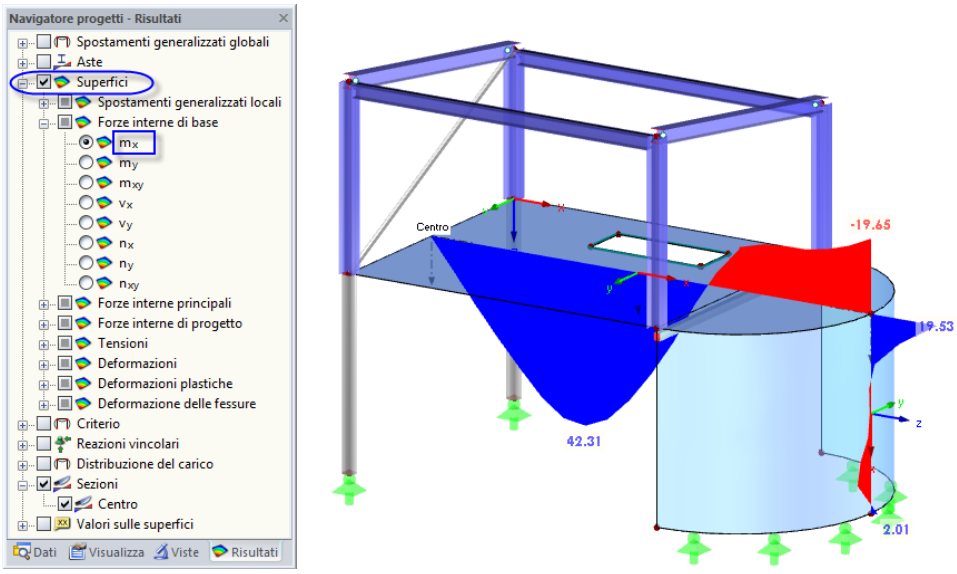


Figura 8.26 Visualizzazione della sezione nel modello

9. Documentazione

9.1 Creazione della relazione di calcolo

Non è raccomandabile spedire gli output complessi dei risultati di un calcolo agli EF direttamente alla stampante. RFEM genera un'anteprima di stampa chiamata "relazione di calcolo" contenente gli input e i dati dei risultati. Usare la relazione di calcolo per determinare i dati da stampare. Inoltre, è possibile aggiungere grafici, descrizioni o scansioni.

Per aprire la relazione di calcolo,

selezionare **Apri relazione di calcolo** nel menu **File**

o usare il pulsante mostrato sulla sinistra. Apparirà una finestra di dialogo dove è possibile specificare un *Modello di relazione di calcolo* come schema per la nuova relazione di calcolo.

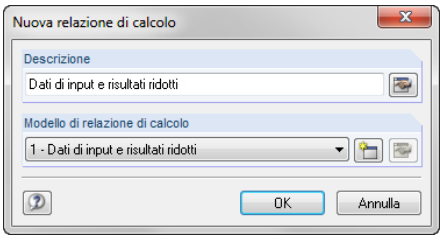


Figura 9.1 Finestra di dialogo *Nuova relazione di calcolo*

Accettare il modello 1-*Dati di input e risultati ridotti* e generare un'anteprima di stampa con [OK].

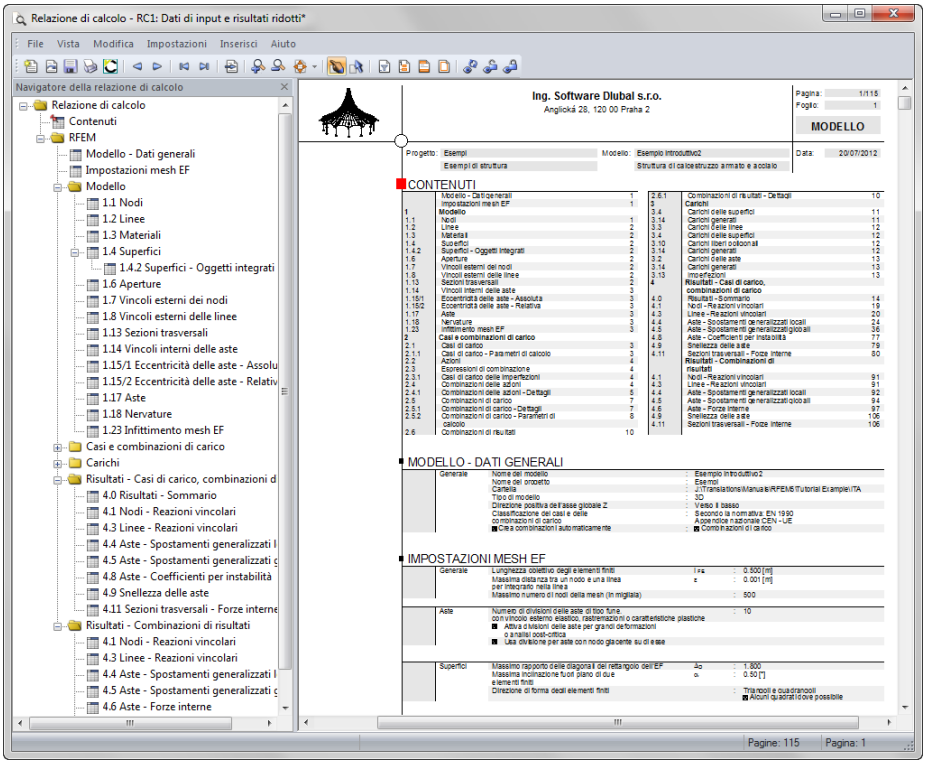


Figura 9.2 Anteprima di stampa nella relazione di calcolo

9.2 Modifica della relazione di calcolo

Anche la relazione di calcolo ha un navigatore, che elenca i capitoli selezionati. Cliccando una voce del navigatore è possibile vedere il contesto visualizzato nella finestra a destra.

Il contesto preimpostato può essere specificato nel dettaglio. Per modificare l'output delle forze interne, fare clic con il pulsante destro del mouse sul capitolo *Risultati - Combinazioni di risultati*. Poi cliccare *Selezione* nel menu di scelta rapida.

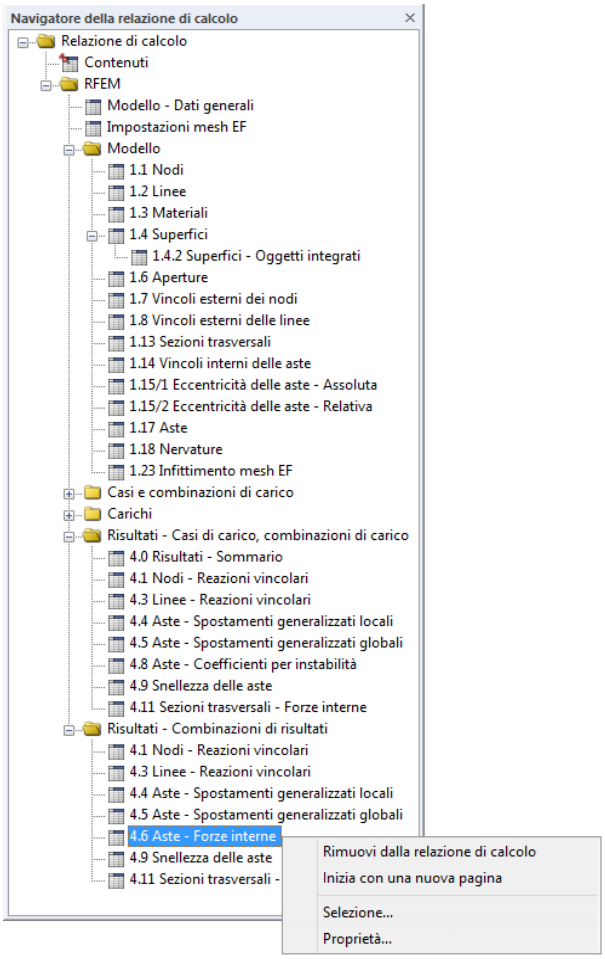


Figura 9.3 Menu di scelta rapida *Aste- Forze interne*

Apparirà una finestra di dialogo, che offre opzioni di selezione dettagliate per i risultati delle CR delle aste (vedere figura sottostante).

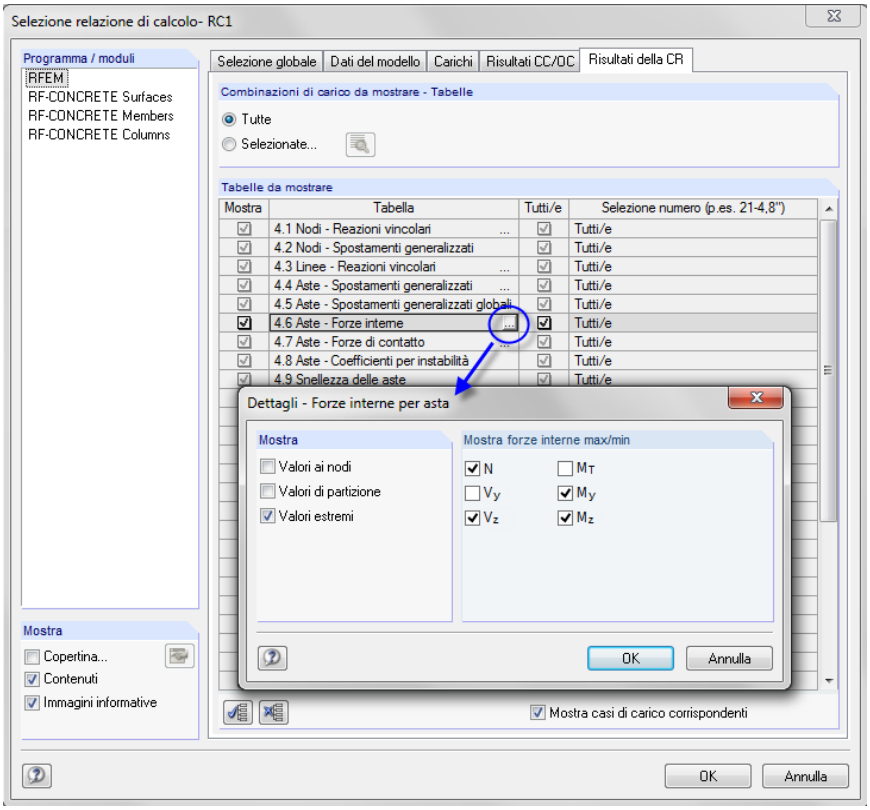


Figura 9.4 Riduzione dell'output delle forze interne per mezzo di *Selezione relazione di calcolo*

Posizionare il puntatore nella cella della tabella *4.6 Aste - Forze interne* (vedere figura sovrastante). Si attiverà il pulsante [...] che aprirà la finestra di dialogo *Dettagli - Forze interne per asta*. Ora, ridurre gli output dei **Valori estremi** delle forze interne delle aste **N**, $\mathbf{V_z}$, $\mathbf{M_y}$ e $\mathbf{M_z}$.

Dopo aver confermato le finestre di dialogo, RFEM regola di conseguenza l'output delle forze interne.

Relazione di calcolo - RC1: Dati di input e risultati ridotti*

File Vista Modifica Impostazioni Inserisci Aiuto

4.6 ASTE - FORZE INTERNE

Asta nr.	CR	Nodo nr.	Posizione x [m]		Forze [kN] N	V_y	V_z	Momenti [kNm] M_T	M_y	M_z	
1	CR1	Max N	4.000	Max N	-113.14	3.19	-2.60	0.00	-10.93	-13.40	OC1
		13	0.000	Min N	-176.70	6.77	-3.34	0.00	0.00	0.00	OC4
		Max V_z	4.000	Max V_z	-125.47	-2.79	-1.59	-0.00	-6.69	-7.46	OC14
		13	0.000	Min V_z	-164.86	4.71	-3.83	0.00	0.00	0.00	OC2
		13	0.000	Max M_y	-122.67	3.43	-2.80	0.00	0.00	0.00	OC1
		Min M_y	4.000	Min M_y	-155.34	4.26	-3.47	-0.00	-14.83	-18.21	OC2
		13	0.000	Max M_z	-122.67	3.43	-2.80	0.00	0.00	0.00	OC1
		Min M_z	4.000	Min M_z	-155.34	4.26	-3.47	-0.00	-14.83	-18.21	OC2
2	CR1	Max N	4.000	Max N	-107.44	-11.49	-2.03	0.00	-8.51	20.53	OC9
		14	0.000	Min N	-169.46	-5.26	-3.20	0.00	0.00	0.00	OC3
		Max V_z	4.000	Max V_z	-117.89	-11.48	-1.82	0.00	-7.68	20.65	OC14
		14	0.000	Min V_z	-146.49	-3.60	-3.58	0.00	0.00	0.00	OC11
		14	0.000	Max M_y	-118.05	-3.80	-2.49	0.00	0.00	0.00	OC1
		Min M_y	4.000	Min M_y	-136.99	-12.98	-3.28	-0.00	-13.91	27.06	OC11
		Max M_z	4.000	Max M_z	-136.99	-12.98	-3.28	-0.00	-13.91	27.06	OC11
		14	0.000	Min M_z	-118.05	-3.80	-2.49	0.00	0.00	0.00	OC1
3	CR1	Max N	3.000	Max N	101.21	1.46	2.30	-1.55	50.62	-53.83	OC5
		3	0.000	Min N	-101.62	42.27	110.26	3.53	-36.31	38.87	OC5
		Max V_z	0.110	Max V_z	-25.63	46.38	116.98	11.41	-31.92	15.49	OC5
		Min V_z	5.890	Min V_z	-12.21	-49.09	-107.02	-5.76	-24.15	9.95	OC2
		Max M_y	3.500	Max M_y	99.16	-1.90	-6.27	-1.57	51.17	-52.63	OC5
		3	0.000	Min M_y	-100.49	33.76	100.03	3.21	-36.35	38.22	OC13
		3	0.000	Max M_z	-101.62	42.27	110.26	3.53	-36.31	38.87	OC5
		Min M_z	3.000	Min M_z	101.18	1.35	2.15	-1.59	50.61	-53.84	OC4
4	CR1	Max N	3.000	Max N	-25.46	-4.24	-18.62	0.00	-23.81	0.00	OC1
		1	0.000	Min N	-40.16	1.39	-29.90	-0.06	43.36	-1.38	OC12
		Max V_z	3.000	Max V_z	-26.26	0.23	-15.64	-0.04	-25.20	-0.48	OC9
		1	0.000	Min V_z	-39.85	-1.82	-29.99	-0.03	47.06	-8.88	OC5
		1	0.000	Max M_y	-39.93	-1.83	-29.98	-0.03	47.33	-8.89	OC4
		Min M_y	3.000	Min M_y	-36.32	-3.38	-26.26	-0.04	-37.12	-0.28	OC4
		1	0.000	Max M_z	-39.99	2.78	-26.12	-0.05	32.58	2.84	OC15
		1	0.000	Min M_z	-29.36	-5.78	-23.53	0.01	44.93	-17.46	OC2

Pagine: 107 Pagina: 97

Figura 9.5 Valori estremi delle forze interne dell'asta N, V_z, M_y e M_z nella relazione di calcolo

Allo stesso modo, si potranno regolare tutti i rimanenti capitoli della relazione.

Per cambiare la posizione di un paragrafo all'interno della relazione di calcolo, è possibile utilizzare la funzione di drag and drop. Quando si vuole cancellare un capitolo, usare il menu di scelta rapida (vedere figura 9.3) o il tasto [CANC] della tastiera.

9.3 Inserimento di grafici nella relazione di calcolo

Generalmente, i grafici illustranti la documentazione sono compresi nella relazione di calcolo.

Stampa dei grafici degli spostamenti generalizzati

Chiudere la relazione di calcolo con il pulsante [X]. Il programma chiede se *Salvare la relazione di calcolo?* Confermare questa voce e ritornare nell'area di lavoro di RFEM.

Nell'area di lavoro, impostare gli *Spostamenti generalizzati* della **CR1 - Stato limite ultimo**. Inoltre, disattivare le *Sezioni* nel navigatore *Risultati*.

RFEM fornisce due risultati per ogni combinazione di risultati, i valori degli estremi di massimo e di minimo. Entrambi i valori sono visualizzati contemporaneamente nel grafico. Per il grafico da stampare rimpostare la visualizzazione per mostrare solo i *Valori max*.

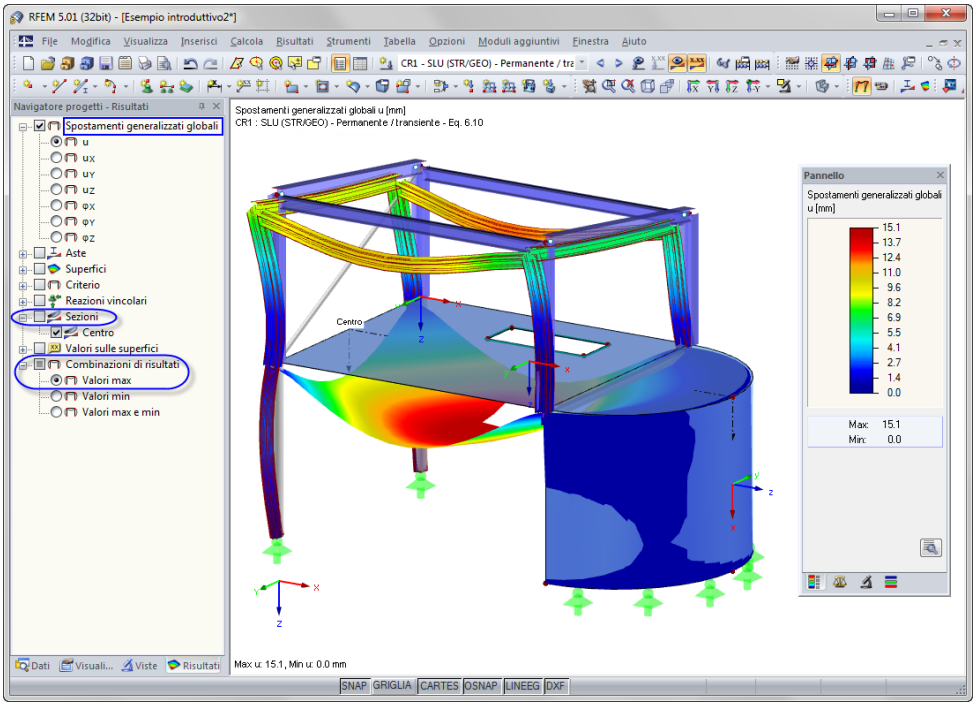


Figura 9.6 Visualizzazione dei risultati degli spostamenti generalizzati massimi di CR1

Ora, trasferire questa rappresentazione grafica nella relazione di calcolo.

Selezionare **Stampa grafico** nel menu **File**

o usare il pulsante della barra degli strumenti mostrato sulla sinistra.

Apparirà la finestra di dialogo *Stampa grafico* (vedere figura sottostante).

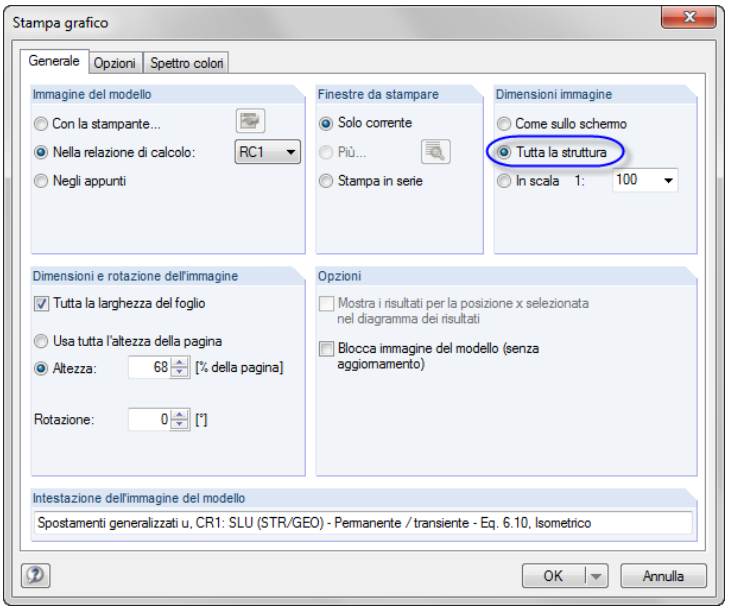


Figura 9.7 Finestra di dialogo *Stampa grafico*

Impostare i parametri di stampa come mostrato in figura 9.7. Non è necessario modificare le impostazioni predefinite nelle schede di dialogo *Opzioni* e *Spettro colori*.

Fare clic su [OK] per stampare il grafico degli spostamenti generalizzati nella relazione di calcolo. Il grafico apparirà alla fine del capitolo *Risultati - Casi di carico, combinazioni di carico*.

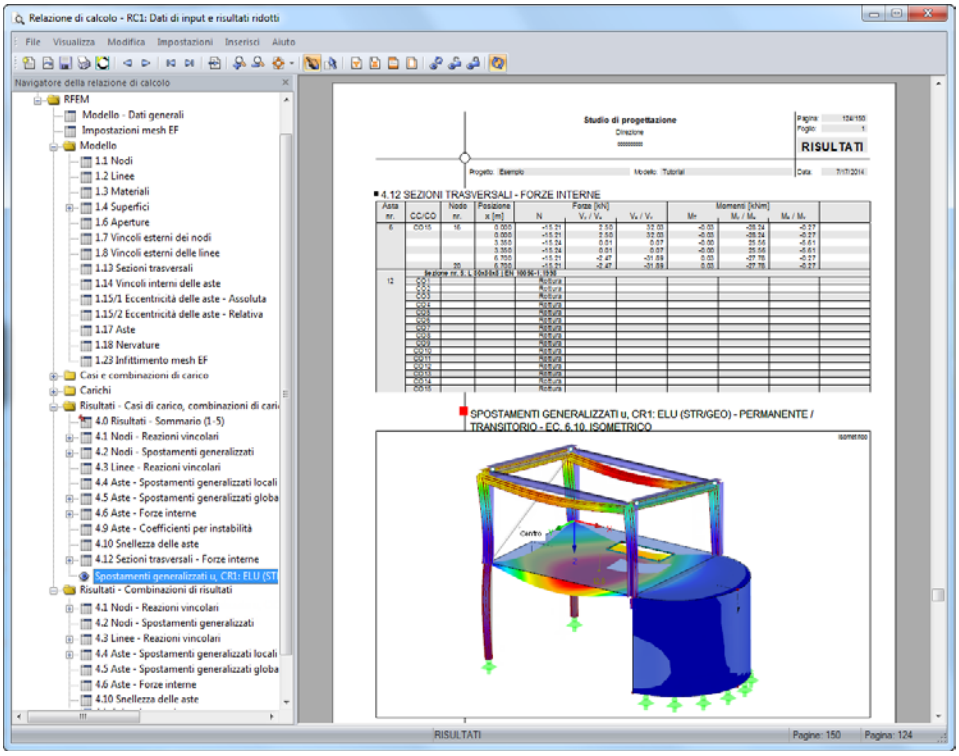


Figura 9.8 Grafico degli spostamenti generalizzati nella relazione di calcolo

Stampa dei diagrammi dei risultati

Infine, si vuole documentare la distribuzione delle forze interne disponibile per un arcareccio in acciaio.

Chiudere la relazione di calcolo usando il pulsante [X].

Tornando indietro nell'area di lavoro di RFEM, fare clic con il pulsante destro del mouse sull'asta *11* (arcareccio sul cornicione di gronda superiore). Si aprirà il menu di scelta rapida dell'asta (vedere a pagina 90) dove selezionare l'opzione *Diagramma dei risultati*.

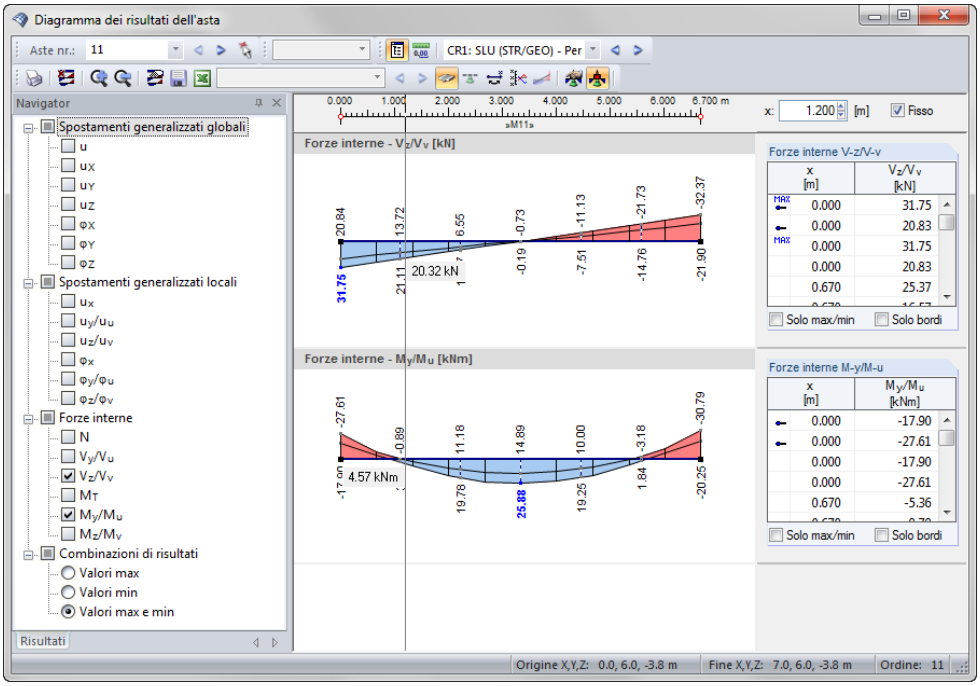


Figura 9.9 Forza di taglio e diagramma di momento dell'arcareccio

La finestra visualizza i diagrammi dei risultati di *CR1*. Per la relazione di calcolo fare doppio clic nelle caselle di controllo delle forze interne $\mathbf{V_z}$ e $\mathbf{M_y}$. Il diagramma dei risultati visualizza i *Valori max e min*.

Con il pulsante [Stampa grafico] si aprirà la finestra di dialogo *Stampa grafico*. È possibile mantenere le impostazioni predefinite della scheda *Generale*. Nella scheda *Opzioni*, cambiare alcune impostazioni.

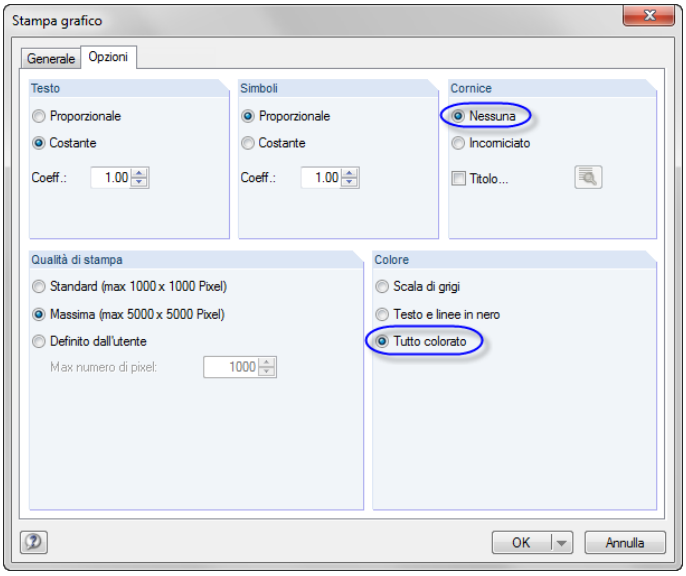


Figura 9.10 Finestra di dialogo *Stampa grafico*, scheda *Opzioni*

Trasferire con [OK] il grafico alla relazione di calcolo.

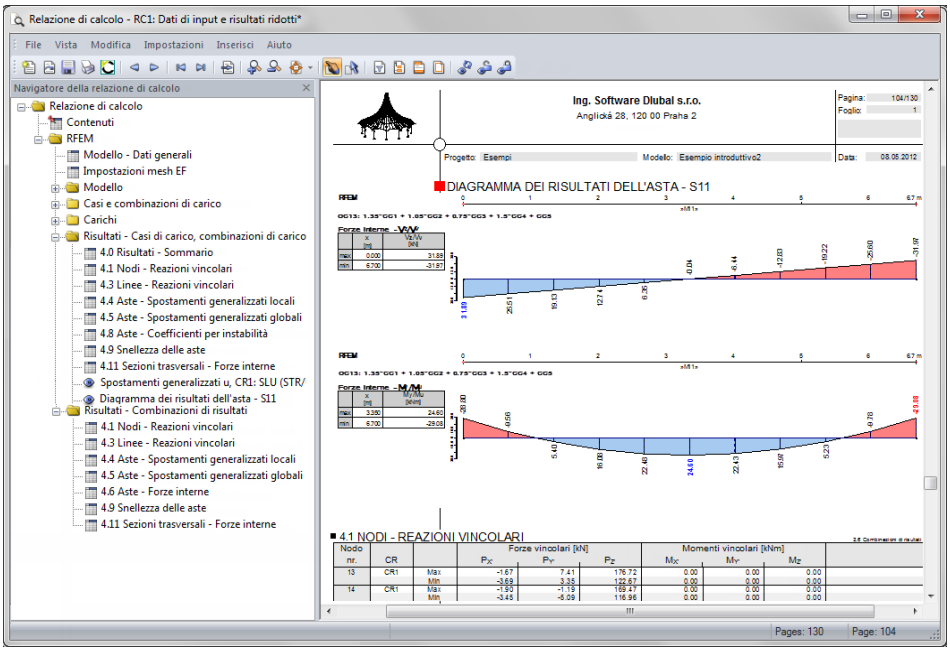


Figura 9.11 Diagrammi delle forze interne per l'arcareccio nella relazione di calcolo

Modifica della lingua nella relazione di calcolo

La lingua nella relazione di calcolo può essere selezionata indipendentemente dalla lingua che è impostata per l'interfaccia utente di RFEM. Quindi, saremo in grado di creare per esempio una relazione di calcolo in italiano nella versione inglese. Per attivare la funzione,

selezionare **Lingua** nel menu **Impostazioni** della relazione di calcolo.

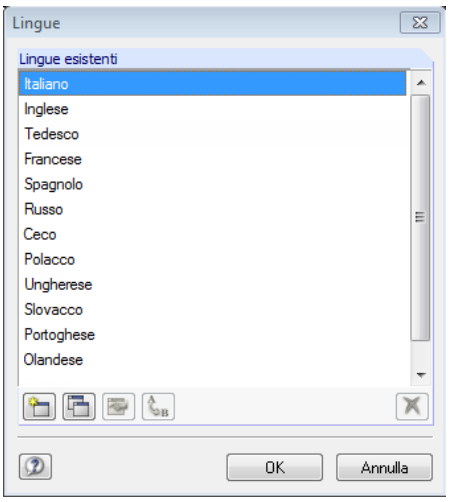


Figura 9.12 Modifica della lingua nella relazione di calcolo

Nella finestra di dialogo *Lingue*, impostare **Italiano** (o qualunque altra lingua) come nuova lingua. È possibile verificare le corrispondenti modifiche nella relazione di calcolo quando si fa clic su [OK].

Le voci definite dall'utente come le descrizioni dei casi di carico o i commenti non verranno tradotti.

Stampa della relazione di calcolo

Quando la relazione di calcolo è completamente preparata, è possibile spedirla alla stampante usando il pulsante [Stampa relazione di calcolo].

È possibile stampare i dati della relazione di calcolo in un file PDF.
Per attivare questa funzione,

selezionare **Esporta in PDF** nel menu **File**.

Nella finestra di dialogo *Salva con nome*, inserire il nome del file e la posizione di memorizzazione.

Cliccando il pulsante [Salva] si creerà un file PDF con i segnalibri che facilitano l'esplorazione nel documento digitale.

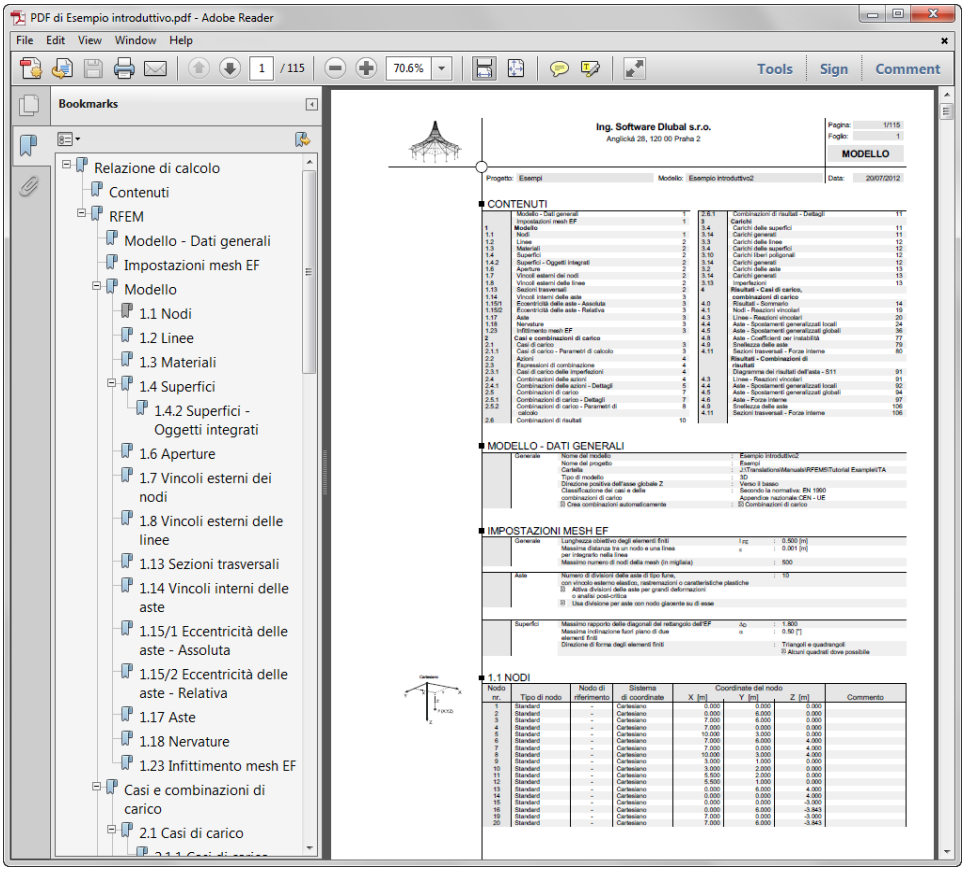


Figura 9.13 Relazione di calcolo italiana come file PDF con segnalibri

10. Conclusioni

Si è arrivati alla fine di questo esempio. Si spera che questo tutorial abbia aiutato a fare i primi passi con RFEM e destato curiosità per scoprire di più sulle funzioni del programma. Si troverà la descrizione in dettaglio riguardante il programma nel manuale di RFEM disponibile per il download sul nostro sito internet **http://www.dlubal.com/it/downloading-manuals.aspx**.

Con il menu **Aiuto** o con il tasto [F1] è possibile aprire il sistema di assistenza tecnica del programma dove sarà possibile cercare termini pertinenti nel manuale. L'assistenza tecnica è basata sul manuale di RFEM.

Infine, se si avessero delle domande, si invita ad usare la nostra linea di fax ed e-mail gratuita o visitare la pagina FAQ su **www.dlubal.it**.

Nota: questo esempio può essere eseguito con la versione demo dei moduli aggiuntivi, per esempio per la progettazione dell'acciaio e del calcestruzzo armato (RF-STEEL Members, RF-CONCRETE Surfaces/ Members, RF-STABILITY ecc.). Per adattarsi alle restrizioni dei programmi demo, è consigliabile sostituire gli oggetti: per esempio in RF-STEEL EC3, è possibile sostituire una trave con una sezione trasversale IPE 300. In questo modo, sarà possibile effettuare il progetto, ottenere informazioni dettagliate sulla funzionalità dei moduli aggiuntivi. Successivamente, è possibile valutare i risultati della progettazione nell'area di lavoro di RFEM.