Esempio pratico Strutture 3D

Strutture 3D

Esempio pratico

Software per
Architettura,
Ingegneria
ed **Edilizia**

CYPE Ingenieros, S.A.
Avda. Eusebio Sempere, 5
03003 **Alicante**
Tel. (+34) 965 92 25 50
Fax (+34) 965 12 49 50
cype@cype.com

www.cype.it

IMPORTANTE: QUESTO TESTO RICHIEDE LA SUA ATTENZIONE E LETTURA

L'informazione contenuta in questo documento è proprietà di CYPE Ingenieros S.A. e non può essere né riprodotta né trasferita in nessun modo e attraverso nessun mezzo, sia esso elettronico o meccanico, sotto nessuna circostanza, senza la previa autorizzazione scritta di CYPE Ingenieros S.A. L'infrazione dei diritti di proprietà intellettuale può rappresentare un reato (art. 270 e seguenti del Codice Penale).

Questo documento e l'informazione in esso contenuta sono parte integrante della documentazione che accompagna la Licenza d'Uso dei programmi informatici di CYPE Ingenieros S.A. e sono da essa inseparabili. Pertanto essa è protetta dalle stesse leggi e dagli stessi diritti.

Non dimentichi che dovrà leggere, comprendere ed accettare il Contratto di Licenza d'Uso del software di cui fa parte questa documentazione prima di utilizzare qualsiasi componente del prodotto. Se NON accetta i termini del Contratto di Licenza d'Uso, restituisca immediatamente il software e tutti gli elementi allegati al luogo in cui lo ha acquistato per ottenere un rimborso completo.

Questo manuale corrisponde alla versione del software denominata Strutture 3D da CYPE Ingenieros S.A. L'informazione contenuta in questo documento descrive sostanzialmente le caratteristiche e i metodi di gestione del programma o dei programmi che lo accompagnano. L'informazione contenuta in questo documento può essere stata modificata in seguito all'edizione stampata di questo libro senza previo avviso. Il software che accompagna questo documento può essere sottoposto a modifiche senza previo avviso.

CYPE Ingenieros S.A. dispone di altri servizi tra cui si trova il servizio Aggiornamenti che le consentirà di acquistare le ultime versioni del software e la relativa documentazione. Se presenta dubbi relativamente a questo scritto o al Contratto di Licenza d'Uso del software o desidera mettersi in contatto con CYPE Ingenieros S.A. può rivolgersi al suo Distributore Locale Autorizzato o al Dipartimento Post-vendita di CYPE Ingenieros S.A. al seguente indirizzo:

Avda. Eusebio Sempere, 5 • 03003 Alicante (Spagna) • Tel: +34 965 92 25 50 • Fax: +34 965 12 49 50 • www.cype.com

© CYPE Ingenieros, S.A.

Pubblicato e stampato ad Alicante (Spagna)

Windows ® è un marchio registrato di Microsoft Corporation ®

3. Esempio pratico STRUTTURE 3D 7

3.1. Descrizione 7

3.2. Generatore di telai 7

3.2.1. Carichi generati dal programma 13

3.2.1.1. Ipotesi relative al vento 13

3.2.1.2. Ipotesi relative alla neve 18

3.3. Strutture 3D 19

3.3.1. Inserimento di nodi e di aste 19

3.3.1.1. Nascondere/visualizzare piani 19

3.3.1.2. Inserimento di aste e quotatura 20

3.3.2. Descrizione di nodi e di aste 27

3.3.3. Disposizione di profili 28

3.3.4. Raggruppamento di aste uguali 29

3.3.5. Coefficienti di incastro 29

3.3.6. Ipotesi di carico 30

3.3.6.1. Aggiungere ipotesi di carico 30

3.3.6.2. Carichi agenti sul solaio. Campi e carichi per unità di superficie 30

3.3.6.3. Carichi del vento 32

3.3.7. Instabilità piana 32

3.3.8. Instabilità laterale 33

3.3.9. Calcolo e dimensionamento della struttura 34

3.3.9.1. Dimensionamento di tiranti 34

3.3.9.2. Dimensionamento di unioni 36

3.3.9.3. Verifica di aste 45

3.3.9.4. Consultazione di azioni interne e tensioni 46

3.3.10. Piastre di ancoraggio 47

3.3.11. Fondazione 48

3.3.11.1. Inserimento di plinti 48

3.3.11.2. Inserimento di travi e cordoli di collegamento 49

3.3.11.3. Definizione di dati prima del dimensionamento 49

3.3.11.4. Dimensionamento e verifica della fondazione 50

3.3.11.5. Uguagliamento 50

3.3.12. Output dei risultati 51

3.3.12.1. Disegni esecutivi 51

3.3.12.2. Elenchi 52

Presentazione

Strutture 3D è un programma agevole ed efficiente predisposto ad eseguire la progettazione di strutture tridimensionali costituite da aste in acciaio, alluminio e legno.

Consente di ottenere le azioni interne e gli spostamenti sulla base di un dimensionamento automatico. Possiede una vasta base di dati di profilati in acciaio laminato, saldato e sagomato. Calcola qualsiasi tipo di struttura eseguendo le verifiche richieste dalla norma selezionata.

Grazie alla generazione di viste della struttura, l'utente può lavorare con finestre in 2D e in 3D in maniera totalmente interattiva. La struttura può essere inoltre ridimensionata ottenendo in tal modo la sua massima ottimizzazione. Le dimensioni degli elementi vengono create senza la necessità di dover inserire sistemi di coordinate o mesh rigide.

3. Esempio pratico STRUTTURE 3D

3.1. Descrizione

Attraverso questo esempio si eseguirà il calcolo e il dimensionamento di un capannone industriale con le seguenti dimensioni in pianta: sviluppo in lunghezza pari a 40 m e a 20 m in larghezza. Consterà di 9 telai distanziati di 5 m tra di loro, con sviluppo in altezza pari a 10 m in corrispondenza del colmo e a 8 m in corrispondenza dei lati. All'interno del capannone si disporrà un solaio adibito a uffici a 4 m di altezza; sono inoltre previste due aperture con dimensioni pari a 6mx5m lungo il lato destro e un'apertura con stesse dimensioni lungo il lato sinistro.

Il primo passo da seguire consiste nel determinare le ipotesi relative ai carichi agenti sulla struttura.

Carichi permanenti:

- Peso proprio degli arcarecci.
- Materiale di rivestimento (pannello sandwich di spessore pari a 80 mm e peso per unità di superficie pari a 0.24 kN/m2).
- Peso proprio del solaio con travetti in calcestruzzo (25+5): 3.7 kN/m2.
- Pavimentazione (opere di finitura): 1.2 kN/m2.

Carichi di esercizio:

- Conformemente alla tabella 3.1.II delle NTC, il carico di esercizio corrispondente a una categoria d'uso B (uffici) è pari a 2 kN/m2.

Azione del vento:

- Conformemente alla tabella 3.3.III delle NTC: Classe di rugosità del terreno D, aree prive di ostacoli.

Carico da neve:

- Conformemente al paragrafo 3.4.2 delle NTC: Zona II, altezza topografica pari a 0 m; secondo la tabella 3.4.I, topografia normale.

3.2. Generatore di telai

Per il dimensionamento degli arcarecci di copertura e dei carichi in **Strutture 3D**, si utilizzerà il programma **Generatore di telai** di **CYPE**.

Crei un nuovo progetto in tale programma, lo nomini "Capannone_01" e inserisca una descrizione (in questo caso "Esempio").

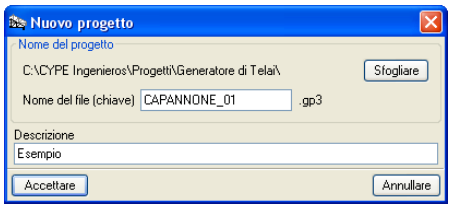


Fig. 3.1

In seguito, completi i campi della finestra **Dati struttura** come mostrato in Fig. 3.2 (il numero di telai costituenti il capannone, in questo caso 8, la distanza tra di essi pari a 5 m, il peso del materiale di rivestimento, la normativa di riferimento per la generazione dei carichi del vento e della neve). In particolare, è importante spuntare la casella "Con chiusure verticali ai lati" per la corretta generazione dei carichi del vento, in quanto, in caso contrario, il programma non li genera automaticamente.

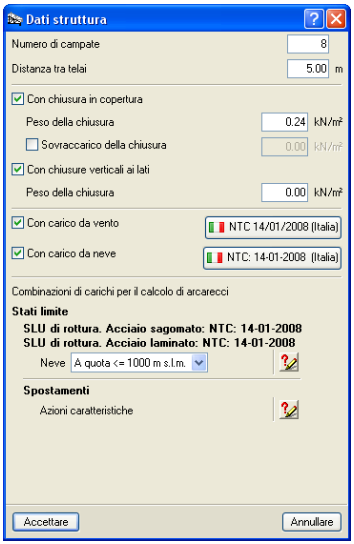


Fig. 3.2

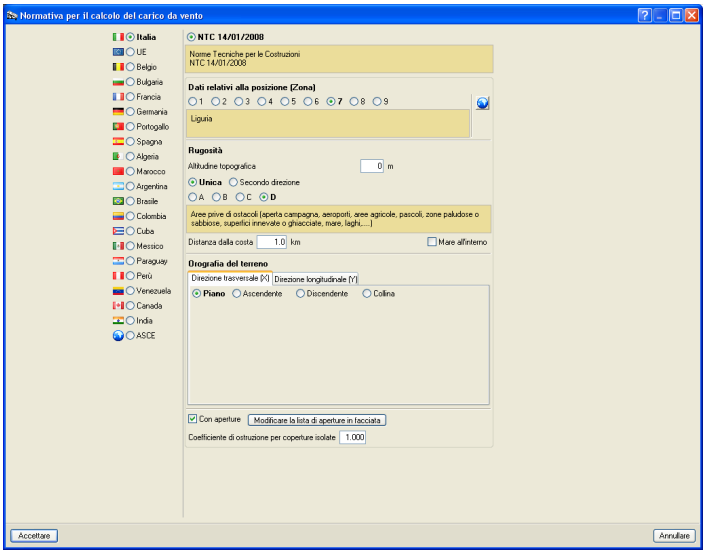


Fig. 3.3

Spuntando la casella corrispondente, completi i dati del riquadro di dialogo relativo al vento come segue: selezioni la zona eolica 7, la classe di rugosità del terreno D e specifichi le aperture presenti lungo le facciate e l'altezza del loro centro geometrico al fine di determinare la pressione interna. Deve inoltre indicare se tali aperture rimarranno permanentemente aperte o meno, dato che il programma, nel caso in cui si tratti di aperture che si possano chiudere, genererà due nuove ipotesi per ciascuna azione del vento: una combinando la pressione esterna con la massima pressione interna, nel caso in cui si chiudano le aperture in direzione sottovento; l'altra con la massima depressione nel caso in cui siano le aperture in direzione sopravento a rimanere chiuse. In questo esempio, spunti la casella "Le aperture sono permanentemente aperte".

Cliccando sull'icona si aprirà la seguente finestra:

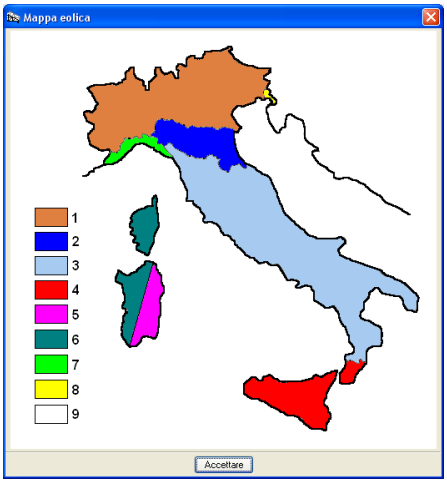


Fig. 3.4

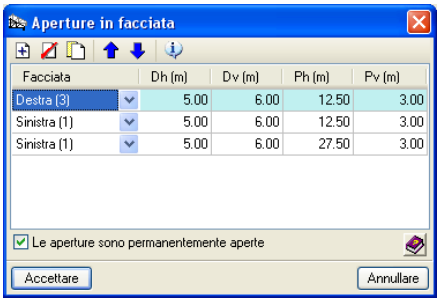


Fig. 3.5

Completi i dati del riquadro di dialogo relativo alla neve, spuntando la casella corrispondente.

Per agevolare l'inserimento dei dati al suo interno, clicchi sull'icona ; comparirà la seguente finestra esplicativa:

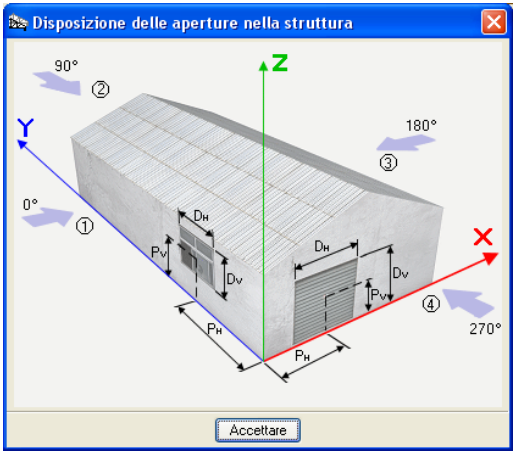


Fig. 3.6

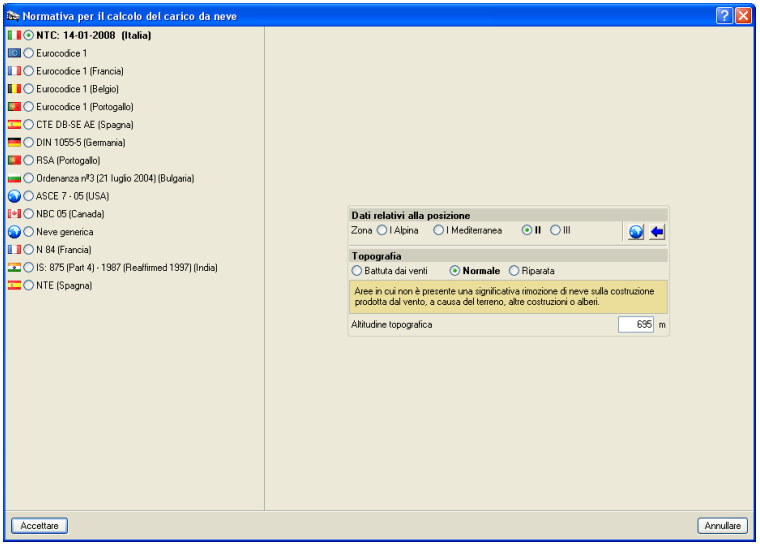


Fig. 3.7

Analogamente a prima, cliccando sull'icona comparirà la seguente finestra esplicativa:

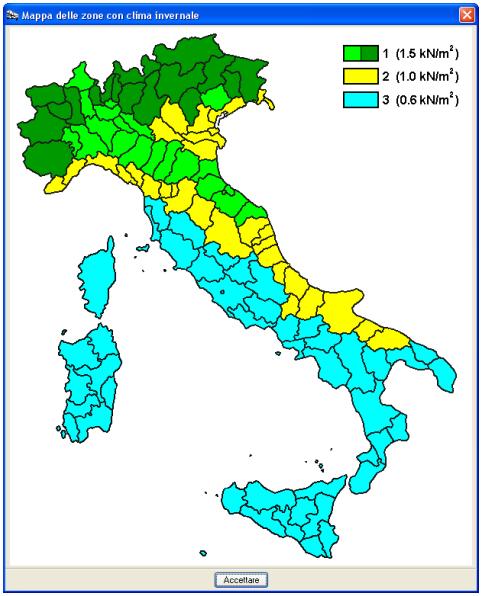


Fig. 3.8

Una volta definiti i dati generali del progetto, prosegua con la definizione della geometria del telaio, per poi selezionare e dimensionare gli arcarecci di copertura. Si creerà un telaio a due falde; per completare i suoi dati geometrici, è necessario cliccare sulle quote nel riquadro di dialogo **Generazione di telai a due falde** (con tale operazione è anche possibile modificarle). Nel menu a tendina **Tipo di copertura**, selezioni la voce "Telaio rigido".

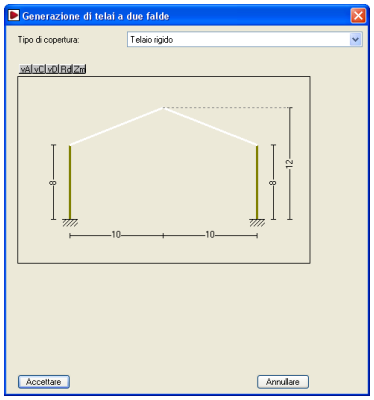


Fig. 3.9

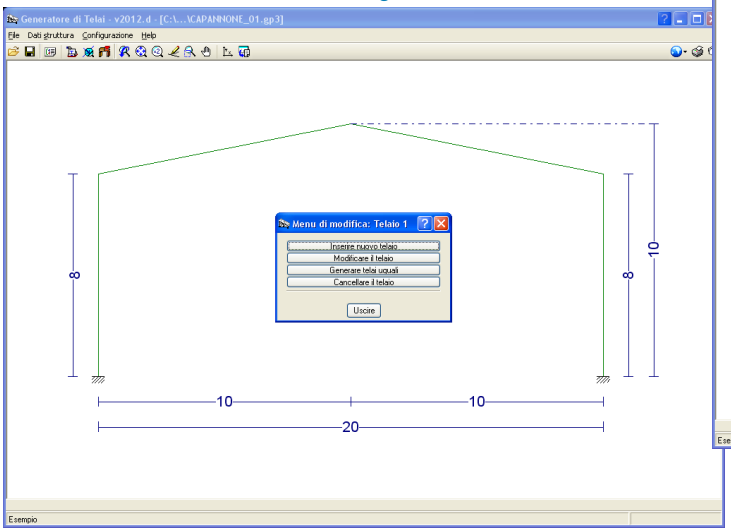


Fig. 3.10

Dopo aver cliccato su "Accettare", nella schermata generale del programma comparirà il telaio descritto in precedenza. Per qualsiasi correzione o modifica, clicchi all'interno del disegno del telaio con il tasto sinistro del mouse (Fig. 3.10).

In questo esempio, il materiale costituente la chiusura laterale è rappresentato da pannelli alleggeriti in calcestruzzo, per cui è necessario inserire un muro in corrispondenza dei lati; nel caso in cui quest'ultimo non venisse inserito, il programma non genererà i carichi da vento sulle pareti laterali del capannone. A tale scopo, clicchi al di fuori del telaio in corrispondenza del lato su cui desidera aggiungere il muro, selezioni l'opzione **Muro laterale** dal menu e indichi 8 m per quanto riguarda l'altezza del muro. In seguito, spunti la casella **Controventa il pilastro nei confronti dell'instabilità**, ma non attivi la casella **Autoequilibrato**; con tale operazione si trasmetteranno i carichi della pressione del vento ai pilastri della facciata del capannone.

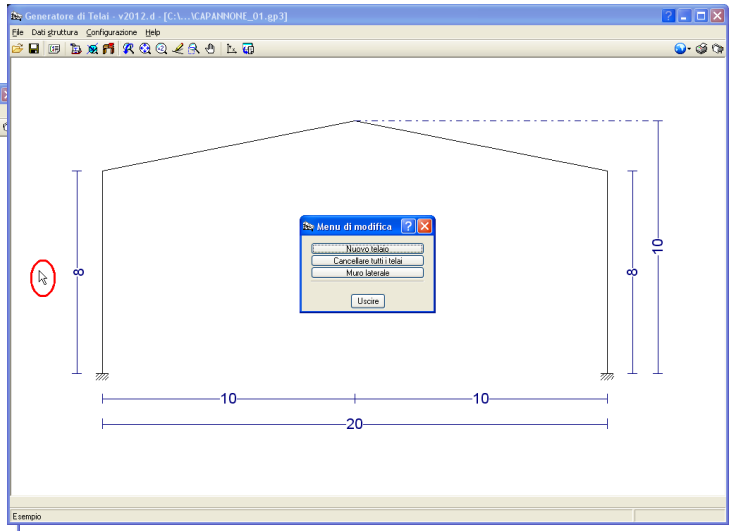


Fig. 3.11

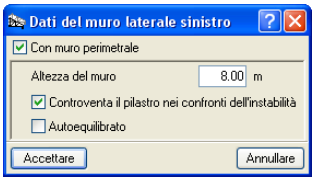


Fig. 3.12

Ripeta questa procedura per il lato destro, in modo tale da poter visualizzare entrambi i muri sullo schermo.

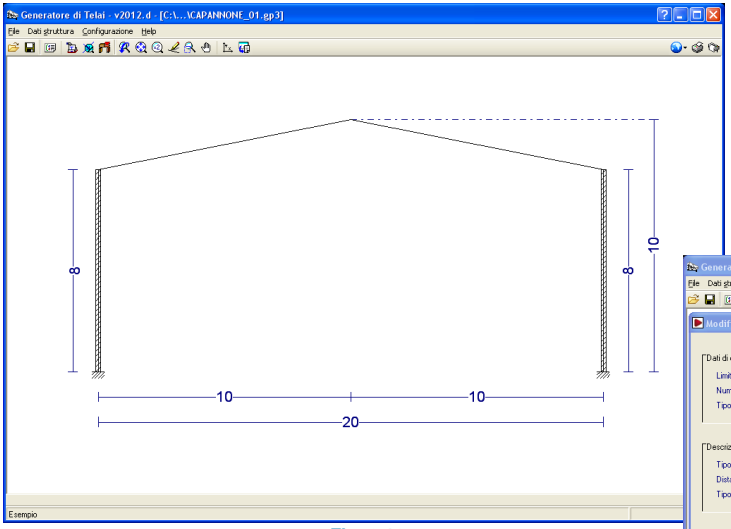


Fig. 3.13

Proceda adesso con il dimensionamento degli arcarecci di copertura; selezioni l'opzione **Modifica di arcarecci in copertura e ai lati** dal menu **Dati struttura**. Si aprirà la finestra "Selezione di arcarecci"; clicchi sull'opzione "Arcarecci in coperture" e, nella nuova finestra che si apre, inserisca il limite relativo alla freccia che bisogna verificare, il numero di campate coperte dall'arcareccio e il tipo di fissaggio. Clicchi sul bottone corrispondente alla voce "Tipo di profilato"; si aprirà il riquadro di dialogo "Descrizione". Ancora una volta, clicchi sul bottone corrispondente alla voce "Profilato"; comparirà il riquadro "Descrizione del profilato". Nel menu a tendina, alla voce "Materiale" selezioni **Laminati** e, come serie di profilati, **IPE**. Clicchi su **Accettare**.

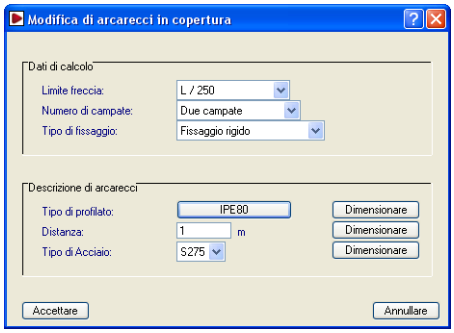


Fig. 3.14

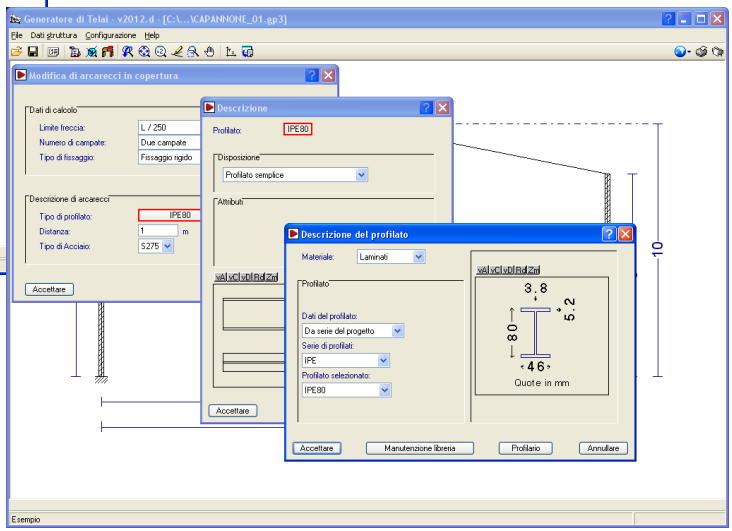


Fig. 3.15

Una volta selezionato il profilato IPE per gli arcarecci di copertura, ha a disposizione tre opzioni per la sua ottimizzazione.

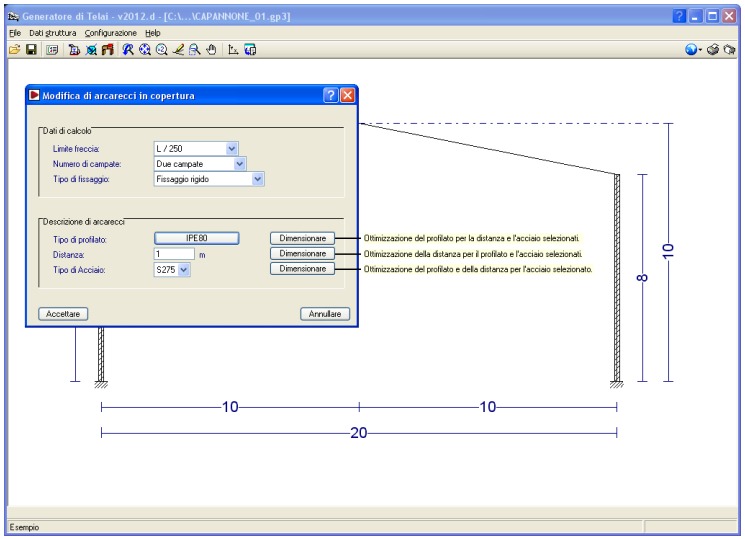


Fig. 3.16

La prima ottimizza il profilato in funzione della distanza selezionata; in questo caso il programma verificherà tutti i profilati della serie per la distanza scelta tra gli arcarecci.

La seconda ottimizza la distanza tra gli arcarecci in funzione del profilato selezionato.

Infine, la terza ottimizza sia il profilato sia la distanza tra gli arcarecci; per ciascuna iterazione deve specificare la distanza minima e massima da verificare, così come il suo incremento. Come risultato comparirà un elenco dei profilati, con i rispettivi pesi per unità di superficie degli arcarecci e la loro percentuale di utilizzo; inoltre si indicano con un segno di spunta i profilati che verificano e con un simbolo di divieto i profilati che non verificano. Per selezionare un profilato dalla lista deve cliccare due volte sulla fila in cui esso si trova, operazione con cui la fila stessa rimarrà contrassegnata in azzurro; cliccando su **Accettare** nella finestra di dialogo, il profilato selezionato sarà inserito nella struttura. Nel momento in cui si sceglie il profilato, bisogna inoltre verificare che la distanza selezionata sia valida per il tipo di pannello sandwich con cui si esegue il progetto; nell'esempio corrente indichi un valore pari a 1.40 m per quanto riguarda la distanza.

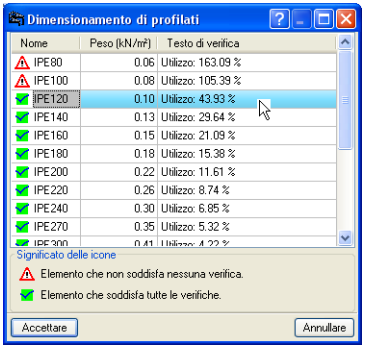


Fig. 3.17

Una volta selezionati gli arcarecci di copertura, è possibile esportare i dati in **Strutture 3D**. A tale scopo, selezioni l'opzione **Esportare in Strutture 3D** dal menu **Dati struttura**. Nella finestra di dialogo **Opzioni per l'esportazione in Strutture 3D** che compare, deve indicare il numero di telai, il tipo di vincolo da generare, e se la generazione dei fattori di lunghezza efficace si riferisce a telai a nodi mobili o a telai a nodi fissi (dato che si inseriranno successivamente diagonali di controvento in **Strutture 3D**, spunti alla voce "Opzioni di instabilità" la casella "Instabilità piana in telai a nodi fissi"). Nel caso in cui la normativa relativa al vento preveda distinte suddivisioni della copertura in zone, come accade nelle NTC (norma di riferimento per l'esecuzione di questo progetto), il raggruppamento di piani nella generazione non è abilitato, posto che i carichi agenti sul capannone non siano simmetrici. Si potrebbero infatti com-

mettere errori raggruppando piani soggetti a carichi differenti, ponendosi in una situazione sfavorevole per quanto concerne la sicurezza.

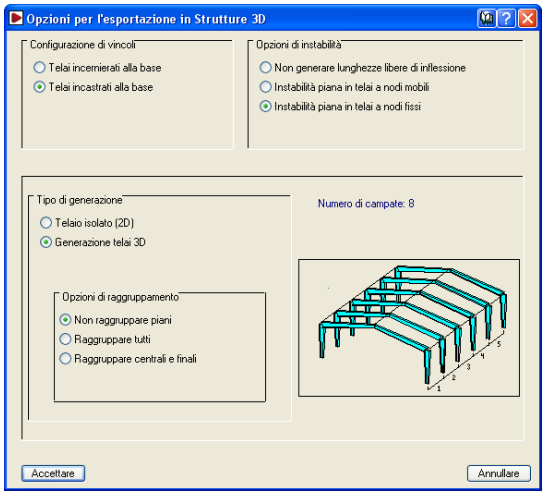


Fig. 3.18

3.2.1. Carichi generati dal programma

Il programma genera automaticamente le ipotesi corrispondenti ai carichi permanenti, ai carichi del vento e ai carichi della neve.

3.2.1.1. Ipotesi relative al vento

Il vento può agire sul capannone nelle quattro direzioni: a 0º, 90º, 180º e 270º.

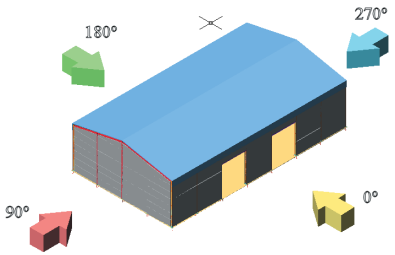


Fig. 3.19

Ciò comporta che, come minimo, esisteranno quattro ipotesi relative al vento. La copertura del presente esempio forma un angolo di 11.31º con l'orizzontale. Entrando nella tabella H.Va dell'Allegato CNR – DT 207/2008 alle NTC è possibile osservare che, per questa inclinazione, si generano due situazioni di carico in copertura; ciò implica che le ipotesi Vento a 0º e Vento a 180º si duplicano per poter contemplare tali situazioni.

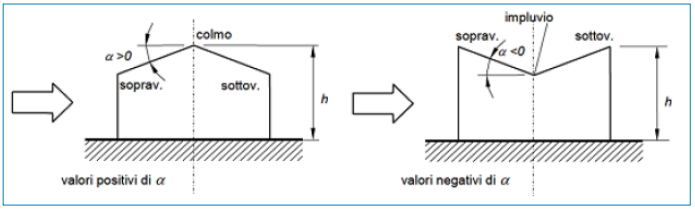


Fig. 3.20. Schema di riferimento per coperture a doppia falda

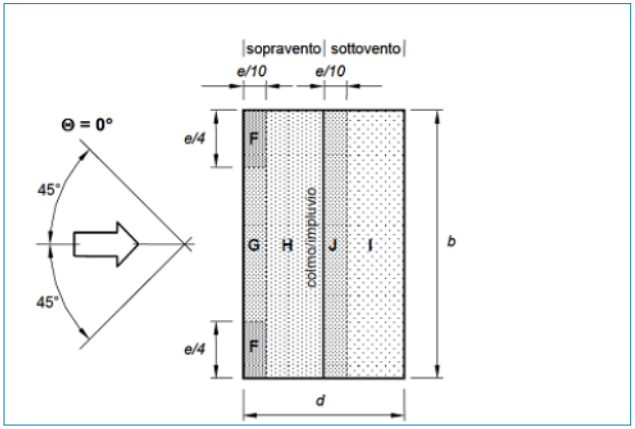


Fig. 3.21. Suddivisione delle coperture a doppia falda in zone di ugual pressione: vento in direzione ortogonale al colmo

Tabella H.Va - Coefficienti di pressione per coperture a doppia falda: vento in direzione ortogonale al colmo

α	Direzione del vento Θ = 0°									
	F		G		H		I		J	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
−45°	−0,6		−0,6		−0,8		−0,7		−1,0	−1,5
−30°	−1,1	−2,0	−0,8	−1,5	−0,8		−0,6		−0,8	−1,4
−15°	−2,5	−2,8	−1,3	−2,0	−0,9	−1,2	−0,5		−0,7	−1,2
−5°	−2,3	−2,5	−1,2	−2,0	−0,8	−1,2	−0,6		−0,6	
							+0,2		+0,2	
5°	−1,7	−2,5	−1,2	−2,0	−0,6	−1,2	−0,6		−0,6	
	0		0		0				+0,2	
15°	−0,9	−2,0	−0,8	−1,5	−0,3		−0,4		−1,0	−1,5
	+0,2		+0,2		+0,2		0		0	
30°	−0,5	−1,5	−0,5	−1,5	−0,2		−0,4		−0,5	
	+0,7		+0,7		+0,4		0		0	
45°	0		0		0		−0,2		−0,3	
	+0,7		+0,7		+0,6		0		0	
60°	+0,7		+0,7		+0,7		−0,2		−0,3	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		−0,2		−0,3	

Fig. 3.22

Nel seguito si analizzano i carichi del vento forniti direttamente dal programma una volta esportata la struttura.

Come verifica, è possibile calcolarli manualmente (attraverso interpolazioni lineari) e paragonarli a quelli forniti da Strutture 3D.

Pressione cinetica di riferimento q_b

Secondo quanto indicato al paragrafo 3.3.6 delle NTC, la pressione cinetica di riferimento q_b si calcola secondo l'espressione:

$$q_b = \frac{1}{2}\rho v_b^2$$

Dove:

v_b è la velocità di riferimento del vento (espressa in m/s), calcolabile secondo quanto previsto al paragrafo 3.3.2 delle NTC;
ρ è la densità dell'aria, assunta convenzionalmente costante e pari a 1.25 kg/m3.

Ipotesi di vento a 0º , Situazione 1

Secondo quanto specificato al paragrafo 3.3.7 delle NTC, il coefficiente di esposizione c_e dipende dall'altezza z sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno, e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione. Per altezze sul suolo non maggiori di z = 200 m, esso è dato dalla formula:

$$c_e(z) = k_r^2 c_t \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)\cdot\left[7 + c_t \ln(z/z_0)\right] \quad \text{per } z \geq z_{min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{min}) \quad \text{per } z < z_{min}$$

k_r, z_0, z_{min} sono assegnati in tabella 3.3.II delle NTC in funzione della categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione;
c_t è il coefficiente di topografia, posto generalmente uguale a 1.

Tramite la tabella 3.3.III, che definisce la classe di rugosità del terreno (nel nostro caso la D), e la figura 3.3.2 delle NTC, ricadiamo nella categoria di esposizione III (trovandoci in zona 7), per cui i valori dei tre parametri sopra menzionati sono:

$k_r = 0.20$

$z_0 = 10$ m

$z_{min} = 5$ m

Assumendo come altezza sul suolo del punto considerato l'altezza del capannone in corrispondenza del colmo (z = 10 m), per il calcolo del coefficiente di esposizione si utilizzerà la prima delle due espressioni sopra riportate (essendo $z > z_{min}$); sostituendo i valori corrispondenti nella formula si ottiene:

$c_e = 2.137$

Dalla tabella H.II dell'Allegato CNR – DT 207/2008 alle NTC si desumono i seguenti valori per quanto riguarda il coefficiente di pressione esterna:

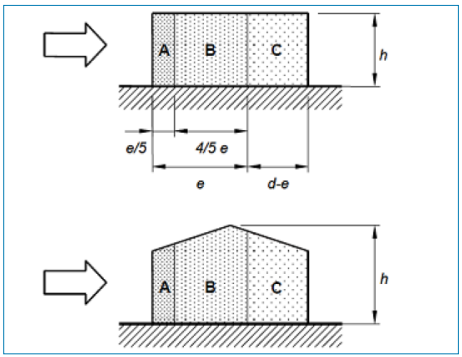


Fig. 3.23. Suddivisione delle pareti verticali di edifici a pianta rettangolare in zone di uguale pressione (prospetto).

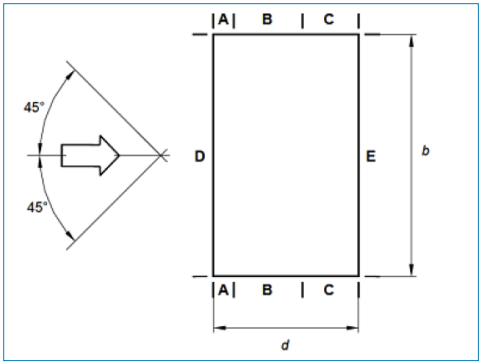


Fig. 3.24. Suddivisione delle pareti verticali di edifici a pianta rettangolare in zone di uguale pressione (pianta).

Tabella H.II. Coefficienti di pressione per le pareti verticali di edifici a pianta rettangolare

Zona	A		B		C		D		E	
h/d	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	−1,2	−1,4	−0,8	−1,1	−0,5		+0,8	+1,0	−0,7	
1	−1,2	−1,4	−0,8	−1,1	−0,5		+0,8	+1,0	−0,5	
≤ 0,25	−1,2	−1,4	−0,8	−1,1	−0,5		+0,7	+1,0	−0,3	

Interpolando i valori della tabella per le zone D ed E per un elemento esposto con un'area > 10 m² e una snellezza pari a 0.5, si ottengono i seguenti valori per il coefficiente di pressione esterna:

Zona	C_{pe}	C_e	q_b	q_e
A	-1.200	2.137	0.490	-1.257
B	-0.800	2.137	0.490	-0.838
C	-0.500	2.137	0.490	-0.524
D	0.733	2.137	0.490	0.768
E	-0.367	2.137	0.490	-0.384

Pressione interna

Per la valutazione del coefficiente di pressione interna, si fa riferimento al paragrafo G.4.3 dell'Allegato CNR – DT 207/2008 alle NTC; in esso è indicato che il coefficiente di pressione interna è indipendente dal valore assunto dal coefficiente di porosità, ed è fornito dalla seguente relazione:

$$c_{pi} = \frac{A_p^2 \cdot c_{pe,p} + A_n^2 \cdot c_{pe,n}}{A_p^2 + A_n^2}$$

A_p è l'area totale delle aperture cui compete un coefficiente di pressione esterna positivo;
A_n è l'area totale delle aperture cui compete un coefficiente di pressione esterna negativo;
$C_{pe,p}$ è il coefficiente di pressione esterna medio per le aperture soggette a pressione esterna positiva;
$C_{pe,n}$ è il coefficiente di pressione esterna medio per le aperture soggette a pressione esterna negativa.

I coefficienti di pressione esterna media sono forniti dalle seguenti relazioni:

$$c_{pe,p} = \frac{\sum_{\text{superfici con } c_{pe}>0} A_{p,j} \cdot c_{pe,p,j}}{\sum_{\text{superfici con } c_{pe}>0} A_{p,j}} = \frac{\sum_{\text{superfici con } c_{pe}>0} A_{p,j} \cdot c_{pe,p,j}}{A_p}$$

$$c_{pe,n} = \frac{\sum_{\text{superfici con } c_{pe}<0} A_{n,j} \cdot c_{pe,n,j}}{\sum_{\text{superfici con } c_{pe}<0} A_{n,j}} = \frac{\sum_{\text{superfici con } c_{pe}<0} A_{n,j} \cdot c_{pe,n,j}}{A_n}$$

$A_{p,j}$ è l'area della j-esima apertura cui compete un coefficiente di pressione esterna positivo;
$A_{n,j}$ è l'area della j-esima apertura cui compete un coefficiente di pressione esterna negativo;
$C_{pe,p,j}$ è il coefficiente di pressione esterna della j-esima apertura soggetta a pressione esterna positiva;
$C_{pe,n,j}$ è il coefficiente di pressione esterna della j-esima apertura soggetta a pressione esterna negativa.

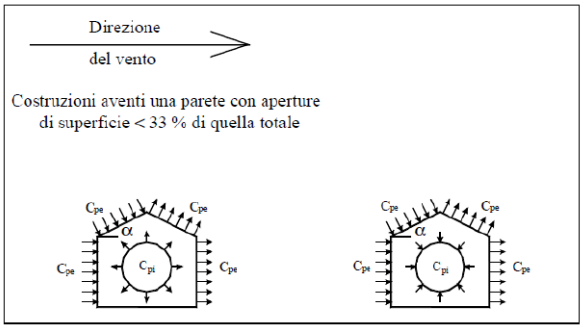


Fig. 3.25. Coefficienti di forma per gli edifici

- Vento a 0°:

C_{pi}	C_e	q_b	q_i
0.513	2.137	0.49	0.538

- Vento a 90°:

C_{pi}	C_e	q_b	q_i
-0.700	2.137	0.49	-0.733

- Vento a 180°:

C_{pi}	C_e	q_b	q_i
-0.147	2.137	0.49	-0.154

- Vento a 270°:

C_{pi}	C_e	q_b	q_i
-0.600	2.137	0.49	-0.628

Carichi in copertura

Per ricavare i coefficienti di pressione esterna, si interpolano i valori della tabella H.Va dell'Allegato CNR – DT 207/2008 alle NTC, in ogni zona della copertura e per ciascuna delle due situazioni:

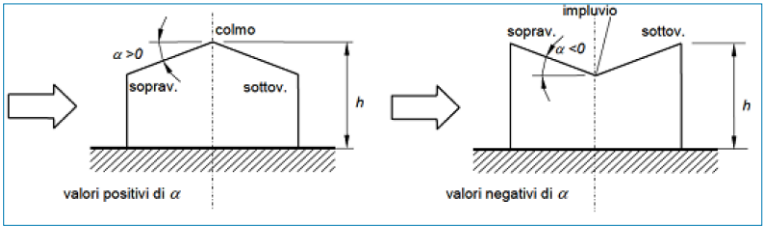


Fig. 3.26. Schema di riferimento per coperture a doppia falda

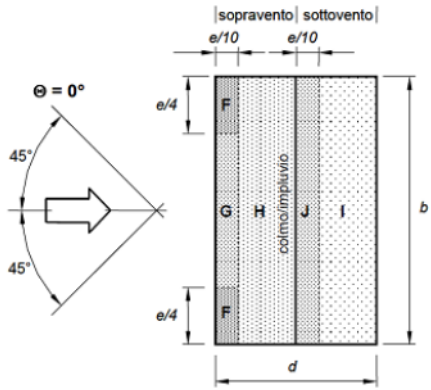


Fig. 3.27. Suddivisione delle coperture a doppia falda in zone di uguale pressione: vento in direzione ortogonale al colmo.

Tabella H.Va - Coefficienti di pressione per coperture a doppia falda: vento in direzione ortogonale al colmo

α	Direzione del vento Θ = 0°									
	F		G		H		I		J	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
−45°	−0,6		−0,6		−0,8		−0,7		−1,0	−1,5
−30°	−1,1	−2,0	−0,8	−1,5	−0,8		−0,6		−0,8	−1,4
−15°	−2,5	−2,8	−1,3	−2,0	−0,9	−1,2	−0,5		−0,7	−1,2
−5°	−2,3	−2,5	−1,2	−2,0	−0,8	−1,2	−0,6		−0,6	
							+0,2		+0,2	
5°	−1,7	−2,5	−1,2	−2,0	−0,6	−1,2	−0,6		−0,6	
	0		0		0				+0,2	
15°	−0,9	−2,0	−0,8	−1,5	−0,3		−0,4		−1,0	−1,5
	+0,2		+0,2		+0,2		0		0	
30°	−0,5	−1,5	−0,5	−1,5	−0,2		−0,4		−0,5	
	+0,7		+0,7		+0,4		0		0	
45°	0		0		0		−0,2		−0,3	
	+0,7		+0,7		+0,6		0		0	
60°	+0,7		+0,7		+0,7		−0,2		−0,3	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		−0,2		−0,3	

- **1ª Situazione**

Zona	C_{pe}	C_e	q_b	q_e
F	-1.195	2.137	0.49	-1.252
G	-0.948	2.137	0.49	-0.992
H	-0.411	2.137	0.49	-0.430
I	-0.474	2.137	0.49	-0.496
J	-0.852	2.137	0.49	-0.893

- **2ª Situazione**

Zona	C_{pe}	C_e	q_b	q_e
F	0.126	2.137	0.49	0.132
G	0.126	2.137	0.49	0.132
H	0.126	2.137	0.49	0.132
I	-0.221	2.137	0.49	-0.232
J	0.074	2.137	0.49	0.077

I carichi totali generati dal programma per l'ipotesi di vento corrisponderanno alla differenza tra la pressione esterna (q_e) e la pressione interna in ciascuna zona (q_i). Il programma, non conoscendo il numero di pilastri presenti nelle pareti di facciata, non genera i carichi nelle zone ad esse adiacenti, per cui è necessario inserirli manualmente. Nelle seguenti tabelle si indicano i valori delle pressioni generati dal programma, corrispondenti ai valori ombreggiati.

Ipotesi di vento in direzione 0º - Situazione 1						
Zona	C_{pe}	C_e	q_b	q_e	q_i	q_e-q_i [kN/m^2]
A	-1.2	2.137	0.49	-1.257	0.538	-1.794
B	-0.8	2.137	0.49	-0.838	0.538	-1.375
C	-0.5	2.137	0.49	-0.524	0.538	-1.061
D	0.733	2.137	0.49	0.768	0.538	0.230
E	-0.367	2.137	0.49	-0.384	0.538	-0.921
F	-1.195	2.137	0.49	-1.252	0.538	-1.789
G	-0.948	2.137	0.49	-0.992	0.538	-1.530
H	-0.411	2.137	0.49	-0.430	0.538	-0.968
I	-0.474	2.137	0.49	-0.496	0.538	-1.034
J	-0.852	2.137	0.49	-0.893	0.538	-1.430

dove:
$q_e = C_{pe} \cdot C_e \cdot q_b$

Ipotesi di vento in direzione 0º - Situazione 2						
Zona	C_{pe}	C_e	q_b	q_e	q_i	q_e-q_i [kN/m^2]
A	-1.2	2.137	0.49	-1.257	0.538	-1.794
B	-0.8	2.137	0.49	-0.838	0.538	-1.375
C	-0.5	2.137	0.49	-0.524	0.538	-1.061
D	0.733	2.137	0.49	0.768	0.538	0.230
E	-0.367	2.137	0.49	-0.384	0.538	-0.921
F	0.126	2.137	0.49	0.132	0.538	-0.405
G	0.126	2.137	0.49	0.132	0.538	-0.405
H	0.126	2.137	0.49	0.132	0.538	-0.405
I	-0.221	2.137	0.49	-0.232	0.538	-0.769
J	0.074	2.137	0.49	0.077	0.538	-0.460

Ipotesi di vento in direzione 180º - Situazione 1						
Zona	C_{pe}	C_e	q_b	q_e	q_i	q_e-q_i [kN/m^2]
A	-1.2	2.137	0.49	-1.257	-0.154	-1.103
B	-0.8	2.137	0.49	-0.838	-0.154	-0.684
C	-0.5	2.137	0.49	-0.524	-0.154	-0.370
D	0.733	2.137	0.49	0.768	-0.154	0.921
E	-0.367	2.137	0.49	-0.384	-0.154	-0.230
F	-1.195	2.137	0.49	-1.252	-0.154	-1.098
G	-0.948	2.137	0.49	-0.992	-0.154	-0.839
H	-0.411	2.137	0.49	-0.430	-0.154	-0.276
I	-0.474	2.137	0.49	-0.496	-0.154	-0.343
F	-0.852	2.137	0.49	-0.893	-0.154	-0.739

Ipotesi di vento in direzione 180º - Situazione 2						
Zona	C_{pe}	C_e	q_b	q_e	q_i	q_e-q_i [kN/m^2]
A	-1.2	2.137	0.49	-1.257	-0.154	-1.103
B	-0.8	2.137	0.49	-0.838	-0.154	-0.684
C	-0.5	2.137	0.49	-0.524	-0.154	-0.370
D	0.733	2.137	0.49	0.768	-0.154	0.921
E	-0.367	2.137	0.49	-0.384	-0.154	-0.230
F	0.126	2.137	0.49	0.132	-0.154	0.286
G	0.126	2.137	0.49	0.132	-0.154	0.286
H	0.126	2.137	0.49	0.132	-0.154	0.286
I	-0.221	2.137	0.49	-0.232	-0.154	-0.078
F	0.074	2.137	0.49	0.077	-0.154	0.231

Per determinare le pressioni del vento in direzione 90º e 270º, si interpolano i valori nella tabella H.Vb dell'Allegato CNR – DT 207/2008 alle NTC in ciascuna zona di pressione in copertura.

Ipotesi di vento in direzione 90º						
Zona	C_{pe}	C_e	q_b	q_e	q_i	q_e-q_i [kN/m^2]
A	-1.200	2.137	0.49	-1.257	-0.733	-0.524
B	-0.800	2.137	0.49	-0.838	-0.733	-0.105
C	-0.500	2.137	0.49	-0.524	-0.733	0.209
D	0.733	2.137	0.49	0.768	-0.733	1.501
E	-0.367	2.137	0.49	-0.384	-0.733	0.349
F	-1.411	2.137	0.49	-1.477	-0.733	-0.744
G	-1.300	2.137	0.49	-1.361	-0.733	-0.628
H	-0.637	2.137	0.49	-0.667	-0.733	0.066
I	-0.537	2.137	0.49	-0.562	-0.733	0.171

Ipotesi di vento in direzione 270º						
Zona	C_{pe}	C_e	q_b	q_e	q_i	q_e-q_i [kN/m^2]
A	-1.200	2.137	0.49	-1.257	-0.628	-0.628
B	-0.800	2.137	0.49	-0.838	-0.628	-0.209
C	-0.500	2.137	0.49	-0.524	-0.628	0.105
D	0.733	2.137	0.49	0.768	-0.628	1.396
E	-0.367	2.137	0.49	-0.384	-0.628	0.244
F	-1.411	2.137	0.49	-1.477	-0.628	-0.849
G	-1.300	2.137	0.49	-1.361	-0.628	-0.733
H	-0.637	2.137	0.49	-0.667	-0.628	-0.039
I	-0.537	2.137	0.49	-0.562	-0.628	0.066

3.2.1.2. Ipotesi relative alla neve

Conformemente al paragrafo 3.4.1 delle NTC, il carico provocato dalla neve sulle coperture si valuta mediante la seguente espressione:

$$q_s = \mu_i \cdot q_{sk} \cdot C_E \cdot C_t$$

dove:
q_s è il carico neve sulla copertura;
μ_i è il coefficiente di forma della copertura, desumibile dalla tabella 3.4.II, in questo caso pari a 0.8 (copertura a due falde con inclinazione compresa tra 0º e 30º).

q_{sk} è il valore caratteristico di riferimento del carico neve al suolo, fornito al paragrafo 3.4.2 per un periodo di ritorno di 50 anni; in questo caso, trovandoci in zona II a una quota inferiore a 200 m, tale parametro assume un valore pari a 1 kN/m2.
C_E è il coefficiente di esposizione, desumibile dalla tabella 3.4.I del paragrafo 3.4.3 in funzione della classe di topografia; trovandoci in una situazione di topografia normale, tale parametro assume un valore pari a 1.
C_t è il coefficiente termico, valutato al paragrafo 3.4.4 delle NTC e assunto pari a 1.

Il carico neve sulla copertura vale pertanto:

$$q_s = 0.8 \times 1 \times 1 \times 1 = 0.8 \text{ kN/m}^2$$

Il programma applica quanto esposto nelle NTC, cioè che bisogna distribuire asimmetricamente i carichi a causa del trasporto della neve da parte del vento, dovendo applicare il carico complessivo su di un lato e la metà del carico totale sull'altro. Per tale motivo compaiono 3 ipotesi relative al carico della neve esportando la struttura in Strutture 3D.

go in cui il programma chiede all'utente di assegnare un nome al progetto. Una volta accettata tale finestra di dialogo, nel programma **Strutture 3D** comparirà la struttura soggetta ai carichi generati in precedenza.

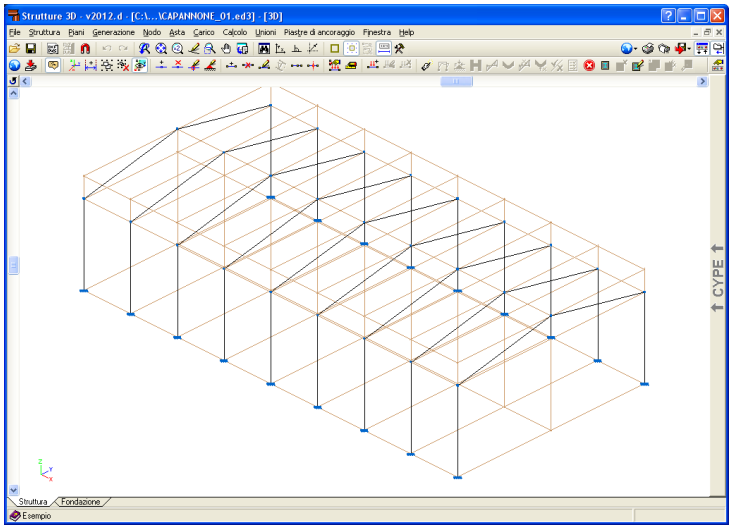


Fig. 3.28

3.3. Strutture 3D

3.3.1. Inserimento di nodi e di aste

Una volta eseguita l'esportazione in Strutture 3D, compare una finestra di dialogo in cui è possibile selezionare le norme relative ai vari materiali (calcestruzzo, acciaio sagomato e laminato, legno e alluminio); cliccando su **Seguente**, è possibile scegliere la norma di riferimento per quanto riguarda gli stati limite da verificare. Cliccando ancora su **Seguente**, si passa alla definizione del tipo di acciaio (in questo esempio spunti la casella S275 per quanto riguarda l'acciaio laminato e sagomato) e, infine, dei parametri relativi alla fondazione (angolo di attrito terreno-plinto e materiali). Cliccando su **Terminare**, si apre una finestra di dialo-

3.3.1.1. Nascondere/visualizzare piani

Per agevolare il lavoro con il programma, si raccomanda di nascondere le linee di riferimento; a tale scopo esegua le seguenti due operazioni.

In primo luogo, mediante l'opzione **Mostrare/nascondere piani** del menu **Piani**, selezioni **Nascondere** e, dopo aver cliccato su "Accettare" nella finestra di dialogo, selezioni tutti i nodi in cui desidera nascondere le loro linee di riferimento; in seguito, clicchi il tasto destro del mouse per convalidare la selezione. Se avrà successivamente bisogno di attivare le linee di riferimento dei piani, può ripetere la procedura appena illustrata, attivando, al posto di Nascondere, l'opzione inversa **Mostrare**.

La seconda operazione da eseguire consiste nel disattivare l'opzione **Mostrare/nascondere piani nuovi**; in tale modo, inserendo nuovi nodi all'interno della struttura, non si visualizzeranno i piani ad essi associati.

3.3.1.2. Inserimento di aste e quotatura

Si prosegue inserendo le aste che sostengono il solaio interno del capannone, così come i pilastri delle pareti di facciata. Esegua i seguenti passi:

1º Attivi i piani dei nodi che fungono da vincolo; in questo caso, il nodo inferiore sinistro e il nodo di colmo della parete di facciata.

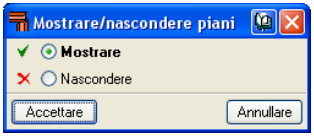


Fig. 3.29

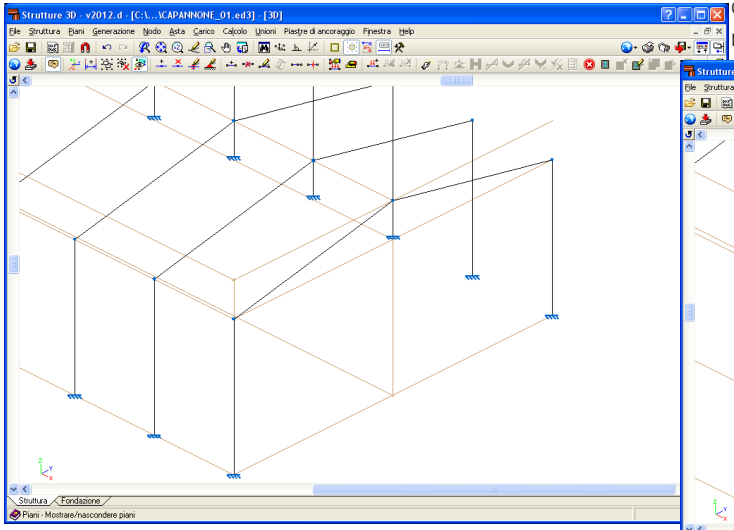


Fig. 3.30

2º Mediante l'opzione **Nuovo** del menu **Nodo**, inserisca i tre nodi catturando la linea di riferimento del nodo inferiore sinistro. Ricordi che per eseguire tale operazione deve aver spuntato le caselle **Più vicino** e **Intersezione** dell'opzione **Riferimenti a oggetti** della parte superiore del menu .

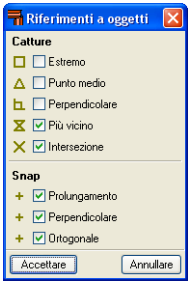


Fig. 3.31

Inserisca il primo punto tra le due linee di riferimento del vincolo di sinistra del colmo; il secondo punto, catturando l'intersezione della linea di riferimento del nodo del colmo con quella del vincolo di sinistra, e l'ultimo punto tra le linee del colmo e del vincolo di destra.

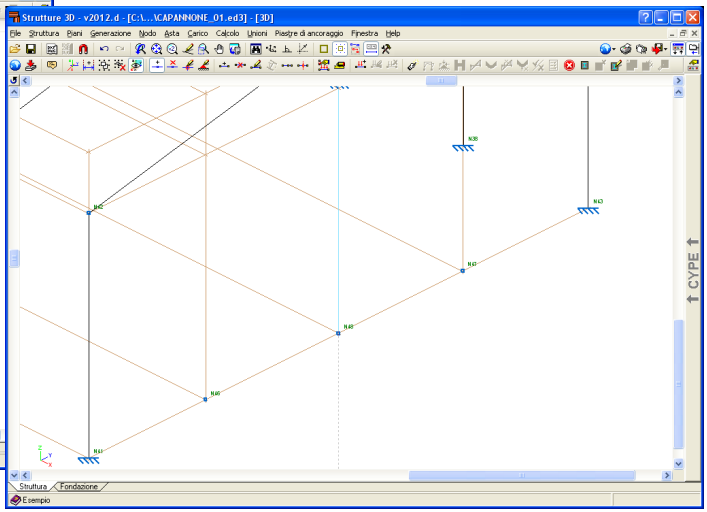


Fig. 3.32

Per posizionare i nodi nella loro coordinata esatta, clicchi sulla voce **Aggiungere** dell'opzione **Quote** del menu **Piani**. Inserisca il valore della quota da assegnare (in questo caso 5 m) e continui a selezionare le linee di riferimento del nodo del vincolo e il primo nodo nuovo. In seguito, selezioni nuovamente il nuovo nodo che ha appena quotato e i nodi seguenti, e così via fino a quotare tutti i nodi.

Fig. 3.33

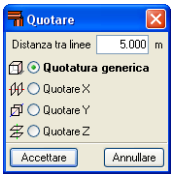


Fig. 3.34

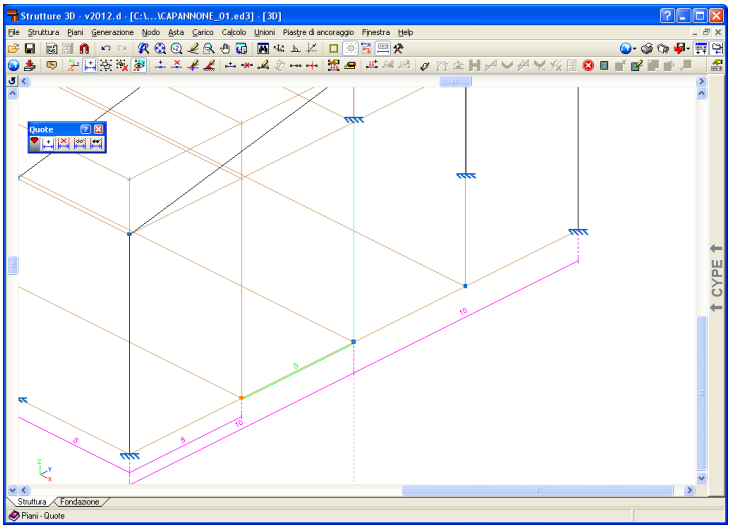


Fig. 3.36

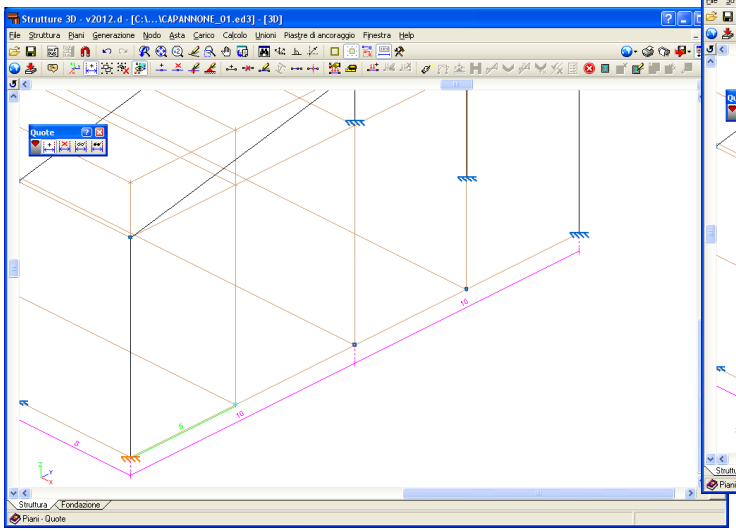


Fig. 3.35

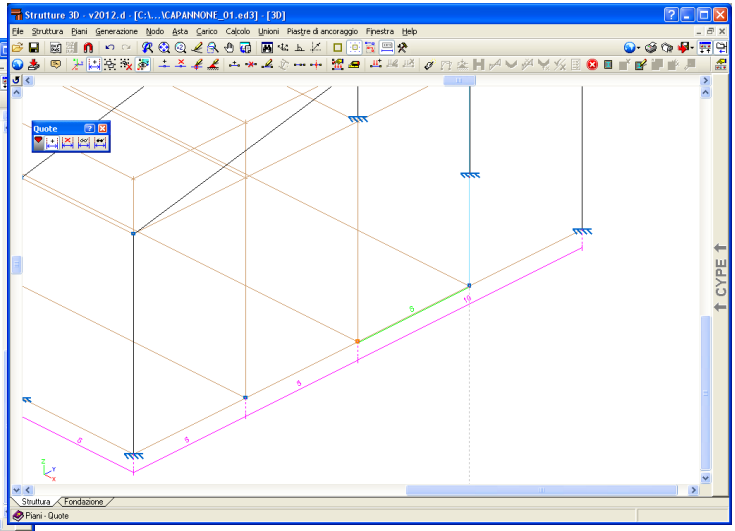


Fig. 3.37

Un altro modo di quotare i nodi consiste nel selezionare, nell'opzione **Configurazione** di **Catture** , la linguetta **Quotatura**. Spunti la casella **Riportare la quotatura**; in questo modo il programma chiederà il valore della quota ogni volta che si inseriscono aste o nodi all'interno di aste.

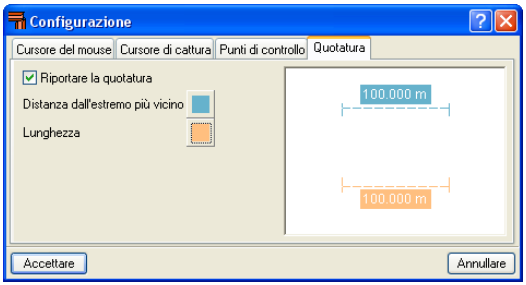
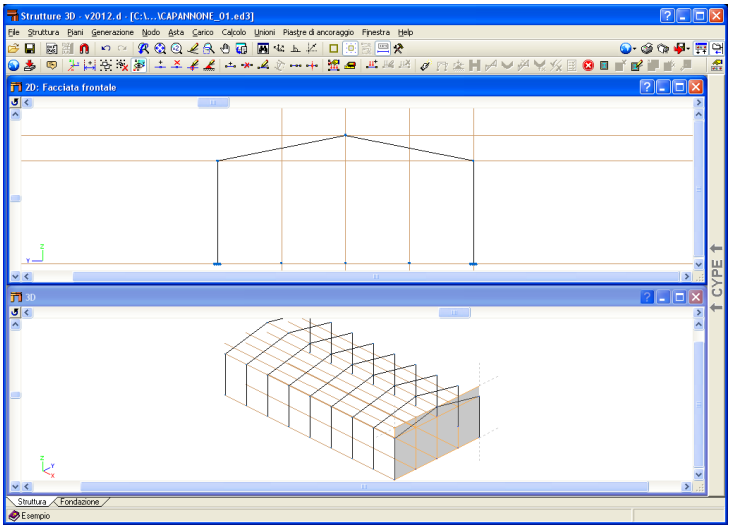


Fig. 3.38



Fig, 3.39

Una volta posizionati i nodi, mediante l'opzione **Nuova** del menu **Asta**, bisogna definire i pilastri che si erigono a partire da essi. Per agevolare l'operazione è conveniente selezionare una vista 2D del piano contenente la parete di facciata frontale.

Creazione di viste nuove

Per la creazione di finestre con viste nuove della struttura, deve usare l'opzione **Aprire nuova** del menu **Finestra**. Spunti la casella **Vista 2D di un piano**, e selezioni tre nodi non allineati che siano contenuti nel piano in cui desidera lavorare.

Spostando il cursore nella finestra relativa alla vista 2D, il piano di lavoro nella finestra 3D si visualizza ombreggiato.

Lavorando ora nella finestra contenente la vista 2D, definisca le aste a partire dai nodi inseriti in precedenza. A tale scopo, si avvicini a un nodo fino a che esso diventi di colore ciano (elemento catturato), clicchi il tasto sinistro del mouse e si avvicini all'intersezione della linea di riferimento del nodo con l'asta della trave fino a quando compare il simbolo di cattura dell'intersezione; completi l'inserimento premendo nuovamente il tasto sinistro del mouse.

Per terminare, clicchi il tasto destro del mouse al fine di poter selezionare un altro nodo origine dell'asta successiva; in caso contrario, continui a inserire le aste rispetto all'ultimo nodo selezionato.

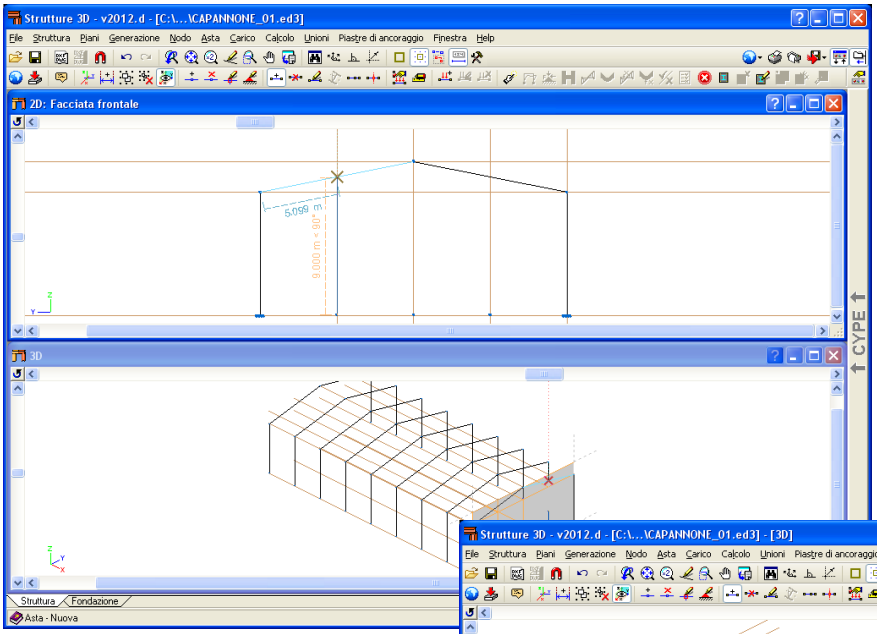


Fig. 3.40

Ripeta questa procedura nelle due pareti di facciata fino a inserire tutti i loro pilastri.

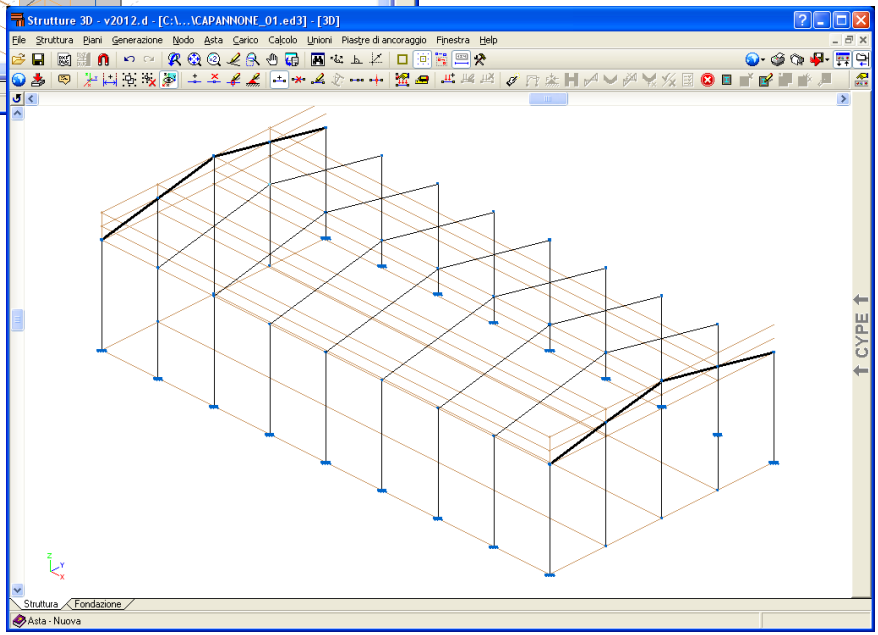


Fig. 3.41

In seguito, si inserirà la trave su cui appoggia il solaio. A tale scopo ritorni a lavorare nella finestra contenente la vista 2D della parete di facciata cliccando sul menu **Finestra**, selezionando quindi tale vista. Avendo attivato l'opzione **Nuova** del menu **Asta**, posizioni il cursore sul pilastro sinistro del telaio (Fig. 3.42) e inserisca un valore pari a 4 m; con tale procedura il primo nodo risulterà inserito. Si avvicini ora con il cursore al pilastro destro del telaio; catturando l'intersezione della linea di riferimento del nodo precedente con il pilastro destro del telaio, si inserirà l'ultimo nodo. Quando si introduce un'asta che si interseca con altre aste, è importante aver attivato l'opzione **Generare nodi in punti di intersezione** del menu **Asta**, dato che in caso contrario il programma assume che l'asta inserita non si interseca con i pilastri intermedi.

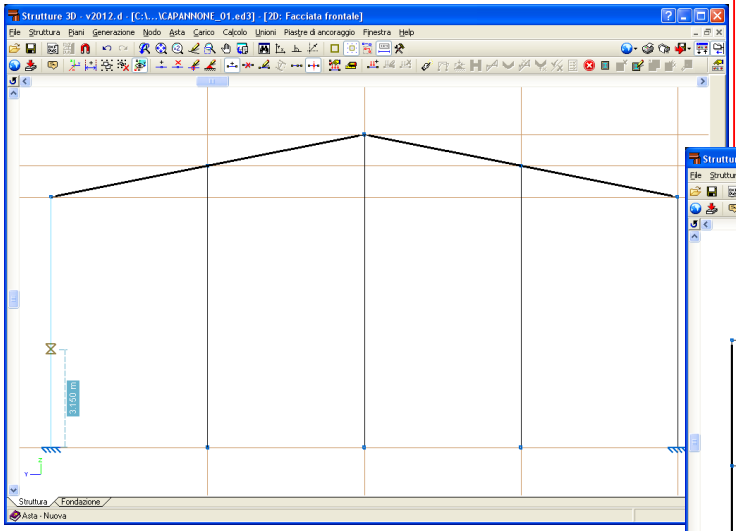


Fig. 3.42

Elementi

Nel momento in cui si inseriscono aste, è importante introdurre solamente quelle che realmente si useranno. In altre parole, se si definisce la trave del solaio come un unico elemento di lunghezza pari a 20 m che si appoggia sui pilastri intermedi, la stessa deve essere inserita da pilastro estremo a pilastro estremo. In tal modo, il programma assume che l'asta sia un unico elemento e, al momento di descriverla, i coefficienti di incastro si applicheranno all'elemento nella sua globalità. Se invece si dispongono nella struttura 4 aste con lunghezza pari a 5 m ciascuna, bisogna inserirle da pilastro a pilastro. È importante sottolineare che, quando si inserisce un'asta costituita da un unico elemento nel quale concorrono più aste, essa si mostra mediante una linea spessa per identificarla come un unico elemento.

Se al posto di inserire aste indipendenti è stata introdotta erroneamente un'unica asta, è possibile rimediare utilizzando l'opzione **Creare Elementi** del menu **Asta**. Selezioni pertanto i nodi iniziale e finale dell'asta creata erroneamente e convalidi il nuovo elemento cliccando il tasto destro del mouse; il programma suddividerà automaticamente l'elemento originale in quattro elementi (aste) indipendenti l'uno dall'altro.

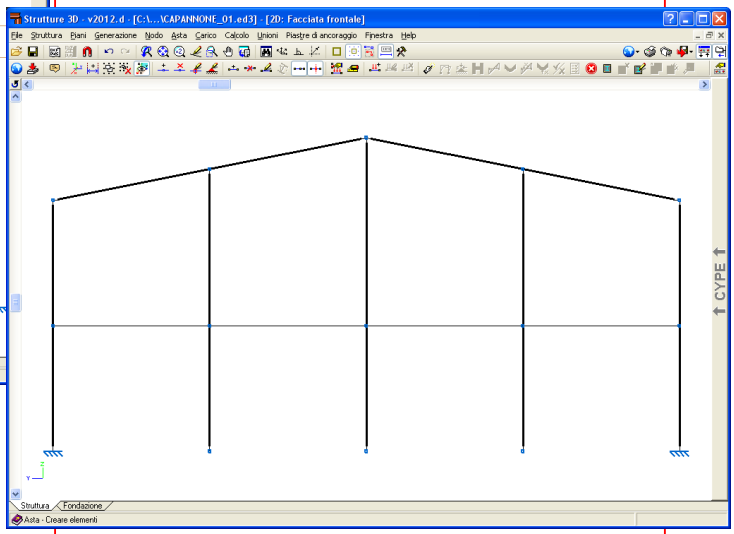


Fig. 3.43

Torni nuovamente a lavorare nella finestra contenente la vista 3D. A tale scopo, selezioni tale vista dal menu **Finestra** e crei una nuova vista del secondo telaio per terminare la definizione dell'area del solaio.

Inserisca la trave dal pilastro di sinistra al pilastro di destra a un'altezza pari a 4 metri.

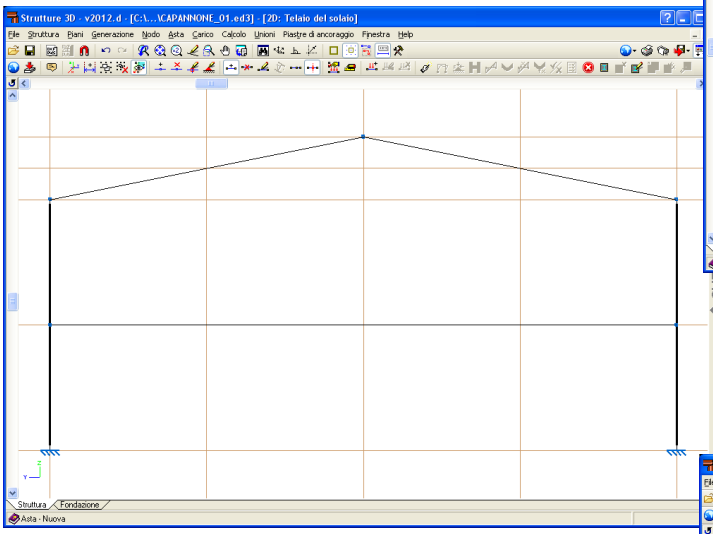


Fig. 3.44

Inserisca ora i tre pilastri fino alla trave appena definita.

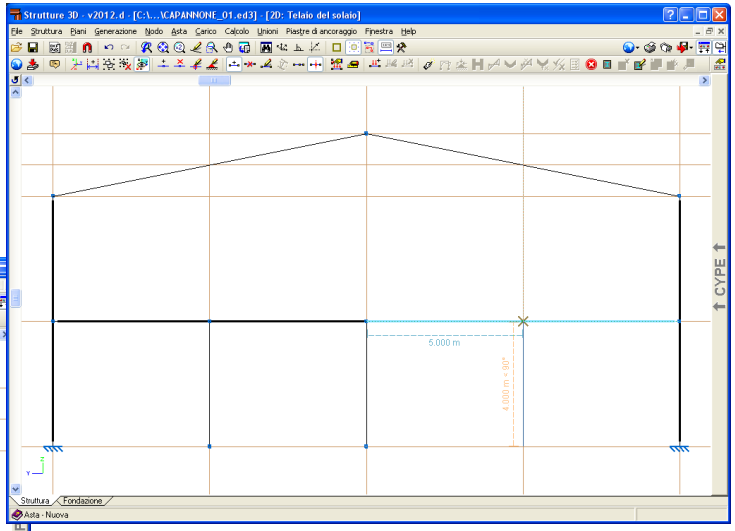


Fig. 3.45

Lavori nuovamente nella finestra contenente la Vista 3D per inserire le aste che collegano trasversalmente le travi del solaio con la parete di facciata

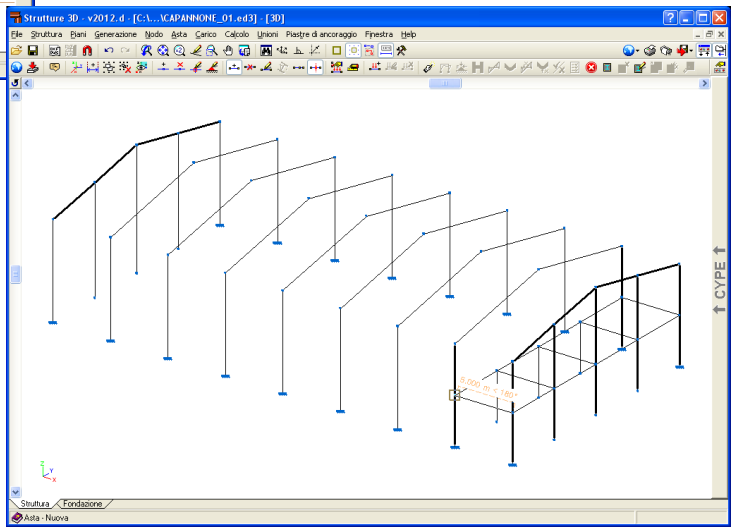


Fig. 3.46

Esegua la stessa procedura per collegare la copertura delle due pareti di facciata con il loro telaio interno più vicino.

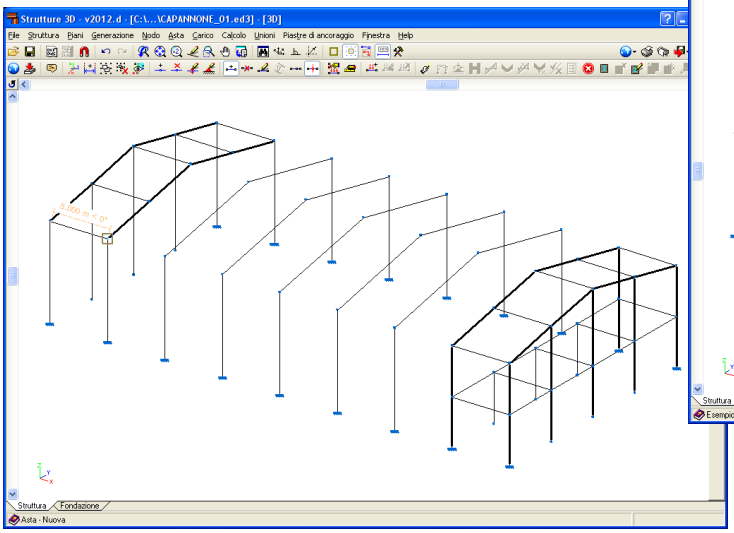


Fig. 3.47

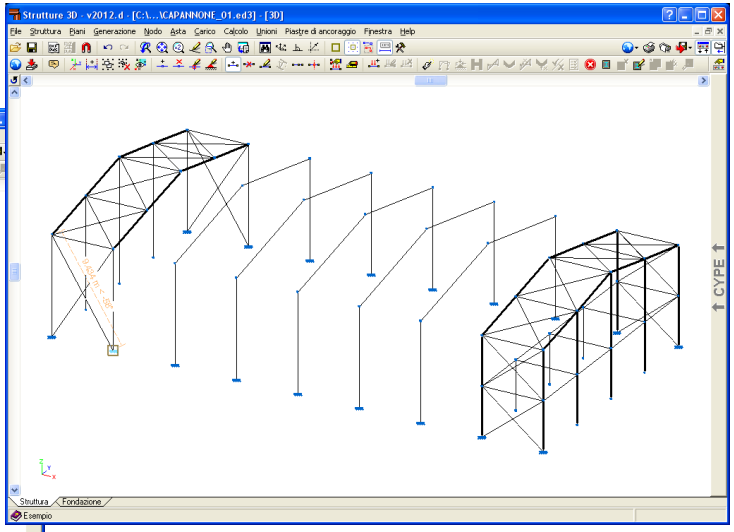


Fig. 3.48

Infine, inserisca le travi costituenti le aperture nei telai laterali, a un'altezza pari a 6 m dal suolo, e la trave che controventa la testa dei pilastri.

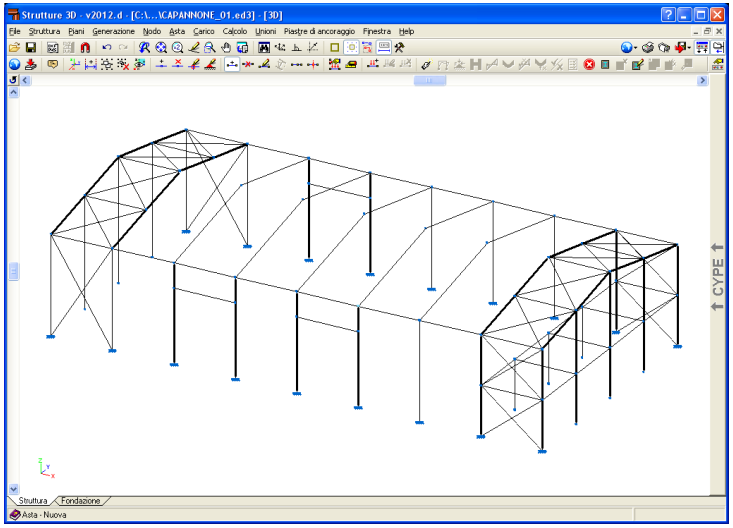


Fig. 3.49

Tiranti

Inserisca ora diagonali di controvento che collegano le aste dei telai estremi. A tale scopo, deve ricordarsi di disattivare l'opzione **Generare nodi in punti di intersezione** del menu **Asta** , dato che ciò che si desidera è generare aste totalmente indipendenti tra di loro.

3.3.2. Descrizione di nodi e di aste

Una volta inserite le aste, si prosegue con la descrizione dei vincoli esterni dei nuovi pilastri; gli altri vincoli sono già stati assegnati quando il telaio è stato definito nel **Generatore di telai**. A tale scopo, utilizzi l'opzione **Vincolo esterno** del menu **Nodo**: selezioni uno a uno (o mediante una finestra di cattura) tutti i nodi mancanti ai quali assegnare il tipo di vincolo esterno. Una volta terminata tale operazione, clicchi il tasto destro del mouse; si aprirà la finestra di dialogo **Vincolo esterno** in cui bisogna selezionare l'incastro.

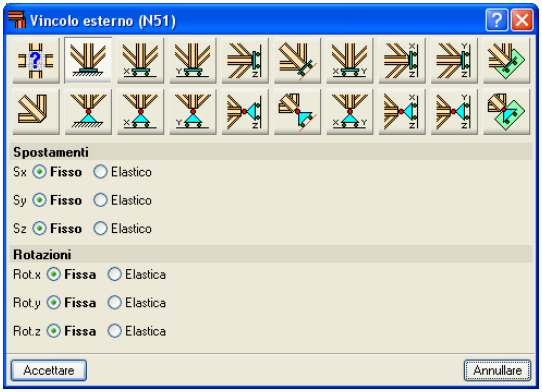


Fig. 3.50

Il seguente passo consiste nel descrivere il tipo di profilato che si assegnerà alle aste. A tale scopo, utilizzi l'opzione **Descrivere profilo** del menu **Asta**; per prima cosa selezioni i pilastri dei telai e clicchi il tasto destro del mouse per assegnare loro il tipo di profilato desiderato.

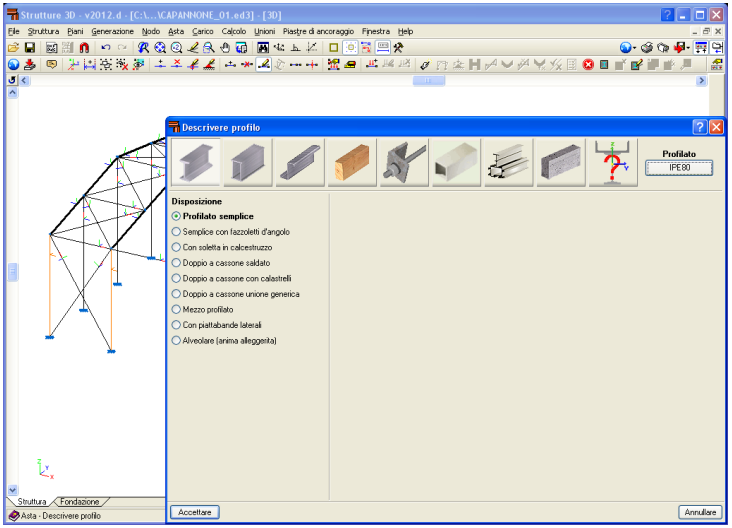


Fig. 3.51

Selezioni i profilati corrispondenti alla voce **Acciaio Laminato** e clicchi sul bottone **Profilato** per selezionare inizialmente una IPE-300.

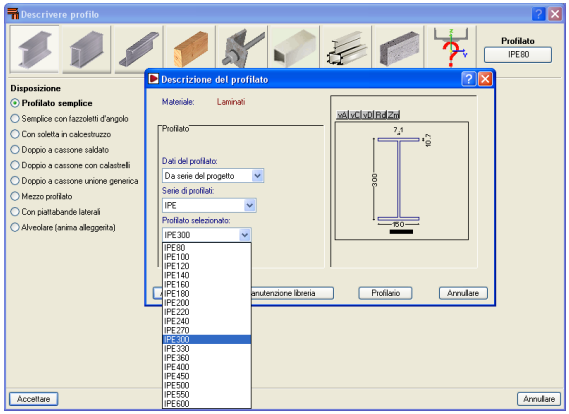


Fig. 3.52

Assegni lo stesso profilato alle travi dei telai centrali, una IPE-240 alle travi del solaio e una IPE-160 alle travi che collegano i vari telai. Infine, selezioni le diagonali di controvento e clicchi sull'opzione **Tirante**. Questa opzione è valida sempre e quando le aste selezionate soddisfino i seguenti requisiti:

- Le aste descritte come tiranti fanno parte di un irrigidimento a forma di croce di Sant'Andrea, delimitato nei suoi quattro bordi, oppure in tre se l'irrigidimento concorre in due vincoli esterni.
- Il programma considera che esse lavorino solo a trazione, per cui non consente di assegnare loro né fattori di lunghezza efficace né coefficienti di incastro.
- Non è possibile inserire carichi su di esse.

In questo esempio si assegneranno ai tiranti aste a sezione circolare di diametro ø16. Per differenziare i tiranti dalle altre aste, il programma li disegna in azzurro.

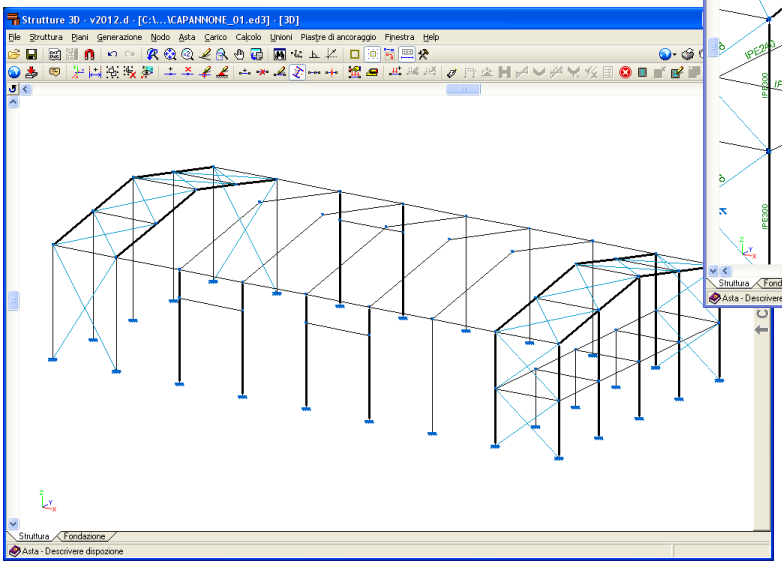


Fig. 3.53

3.3.3. Disposizione di profili

Il seguente passo consiste nella descrizione della disposizione delle aste, indicando l'angolo e la posizione corretta che esse presenteranno nella struttura. Inizi dai pilastri intermedi delle pareti di facciata.

Una volta attivata l'opzione **Descrivere disposizione** del menu **Asta**, selezioni in primo luogo i pilastri delle pareti e, dopo aver cliccato il tasto destro del mouse, l'opzione **Rotazione di 90º** alla voce **Angolo di rotazione**.

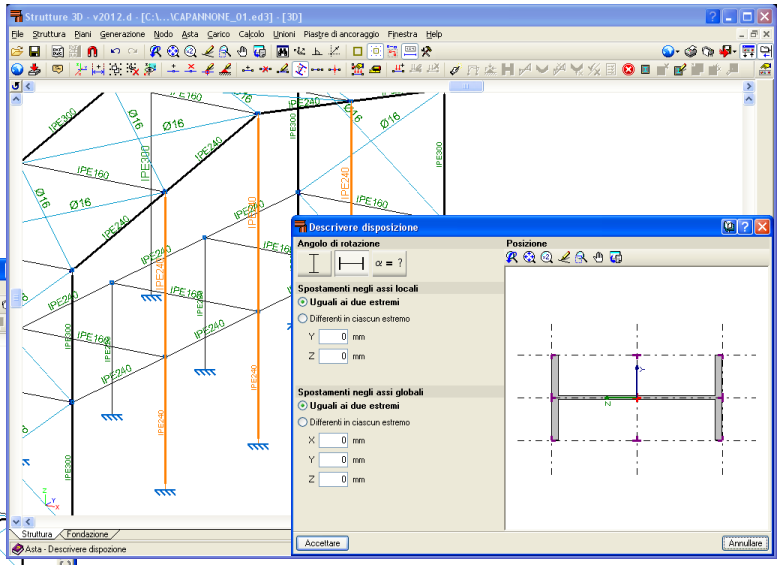


Fig. 3.54

3.3.4. Raggruppamento di aste uguali

A causa del fatto che le aperture presenti nel capannone non sono simmetriche, i carichi del vento comportano, come risultato, pressioni non simmetriche; per tale motivo, dopo aver eseguito il calcolo della struttura, il dimensionamento delle aste può risultare non simmetrico. Per evitare ciò, è necessario utilizzare l'opzione **Raggruppare** del menu **Asta**.

Selezioni tutti i pilastri IPE-300 dei telai e clicchi il tasto destro del mouse per convalidare il raggruppamento.

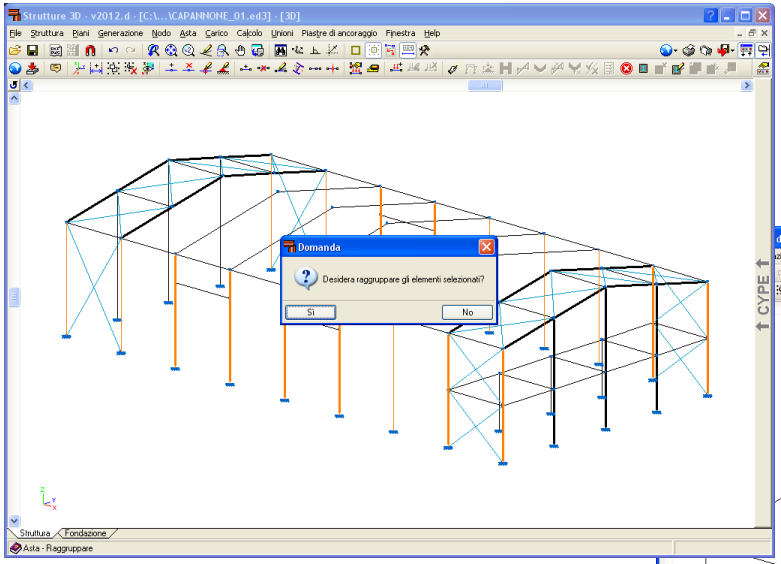


Fig. 3.55

Questa operazione comporta che quando si esegue una modifica su un pilastro di un gruppo, essa si rifletta in tutti i pilastri appartenenti allo stesso gruppo.

Esegua la stessa procedura per le travi IPE-300 dei telai. Raggruppi anche i pilastri IPE-240 della parete di facciata, così come le travi IPE-240 e i pilastri IPE-220 del solaio degli uffici, e tutte le travi IPE-160 che collegano i diversi telai.

3.3.5. Coefficienti di incastro

Il seguente passo da eseguire consiste nell'incernierare gli estremi delle travi colleganti i vari telai; a tale scopo utilizzi l'opzione **Incernierare estremi** del menu **Asta**. Cliccando sul centro di ogni asta si incerniereranno entrambi gli estremi, mentre nel caso in cui si desideri incernierare solo uno di essi bisogna cliccare unicamente su tale estremo. Si applicherà una cerniera alle travi del solaio che si collegano all'anima dei pilastri. Le travi appartenenti al telaio della parete di facciata contenente il solaio si incastreranno ai pilastri esterni e si incerniereranno a quelli interni; per eseguire quest'ultima operazione, bisogna quindi cliccare sull'estremo rivolto verso il pilastro interno del solaio.

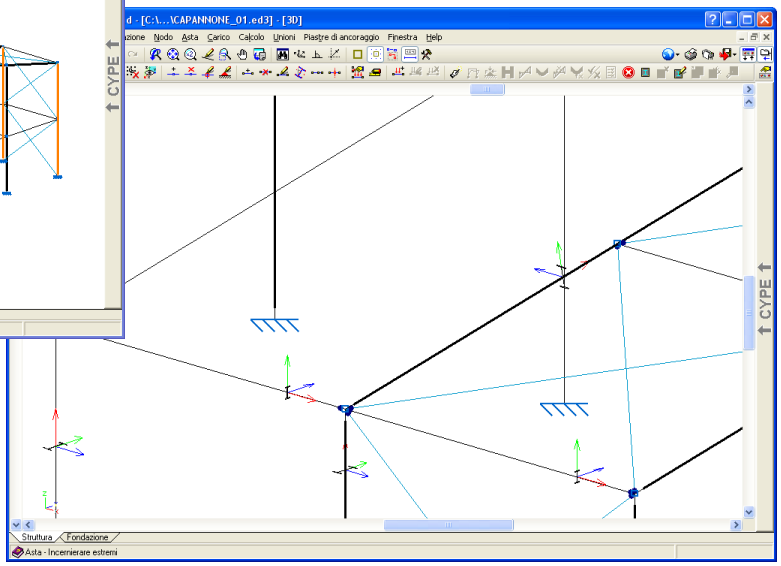


Fig. 3.56

3.3.6. Ipotesi di carico

Una volta terminata la descrizione della geometria, prosegua completando le ipotesi di carico mancanti da aggiungere a quelle fornite dal **Generatore di telai**.

3.3.6.1. Aggiungere ipotesi di carico

Per aggiungere o modificare ipotesi deve utilizzare l'opzione **Azioni** del menu **Struttura**. Il **Generatore di telai** ha generato 1 ipotesi relativa ai carichi permanenti, 6 relative al vento e 3 al carico della neve. Poiché in questo esempio è stato inserito un solaio adibito a uffici, è necessario creare una nuova ipotesi inerente al carico di esercizio; a tale scopo, nella finestra di dialogo **Azioni**, clicchi sul bottone **Ipotesi aggiuntive** e, in seguito, sull'icona per modificare le ipotesi relative al **carico di esercizio**. Aggiunga pertanto le corrispondenti ipotesi di carico, come mostrato nelle figure riassuntive seguenti:

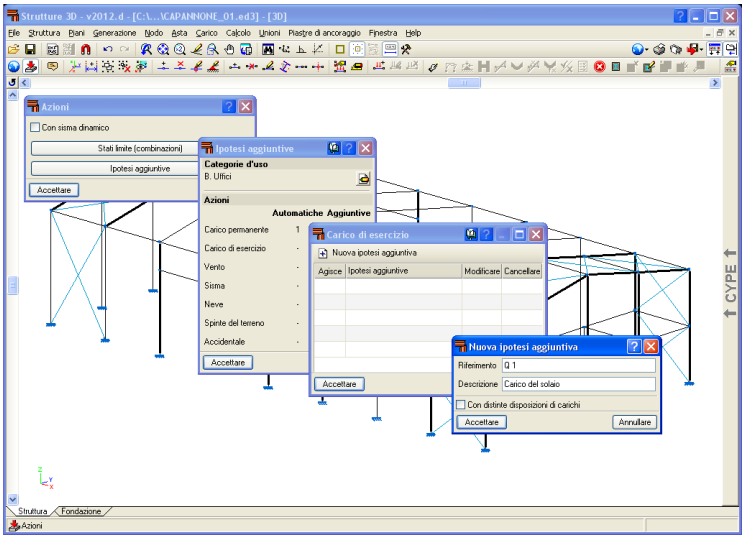


Fig. 3.58

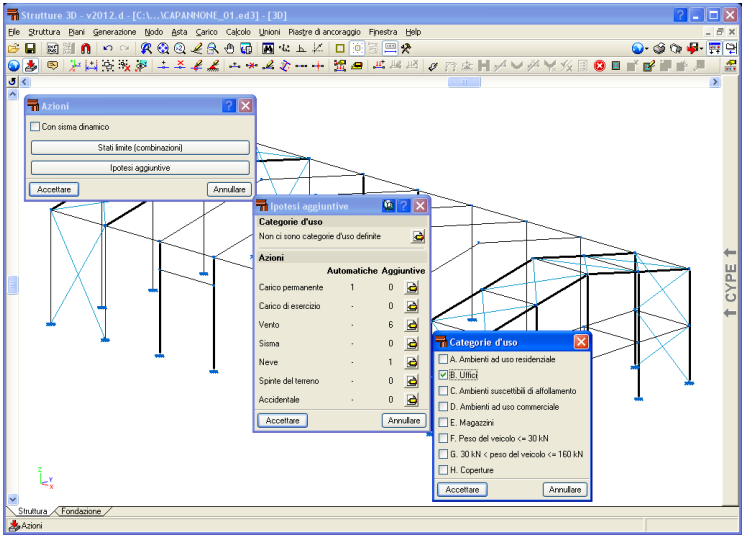


Fig. 3.57

3.3.6.2. Carichi agenti sul solaio. Campi e carichi per unità di superficie

Una volta creata l'ipotesi relativa al carico di esercizio, si inseriscono i carichi ad essa associati; a tale scopo, utilizzi l'opzione **Inserire campi** del menu **Carico**.

Dopo aver selezionato i campi che delimitano la struttura creata dal Generatore di telai, essi compariranno disegnati sullo schermo. Per inserire il solaio, selezioni tutti i punti costituenti il poligono che lo delimita (Fig. 3.59); terminata questa operazione, clicchi il tasto destro del mouse e selezioni la direzione di ripartizione dei carichi applicati, che in questo esempio coincide con la direzione parallela a quella longitudinale del capannone (Fig. 3.60).

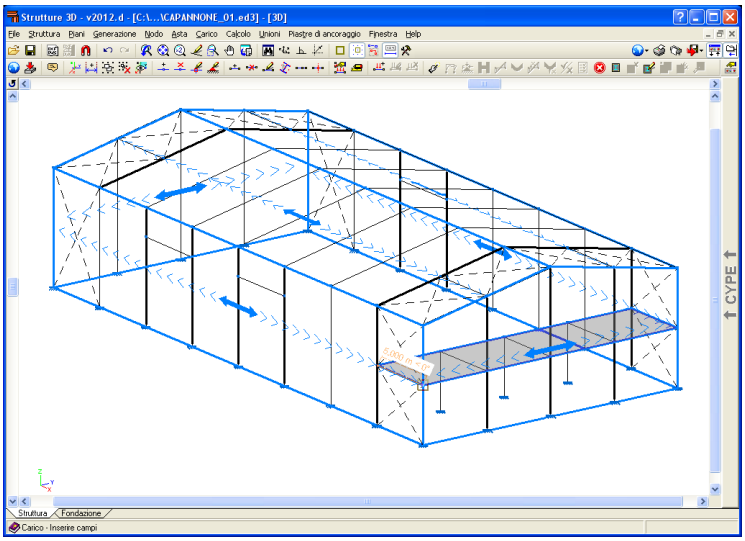


Fig. 3.59

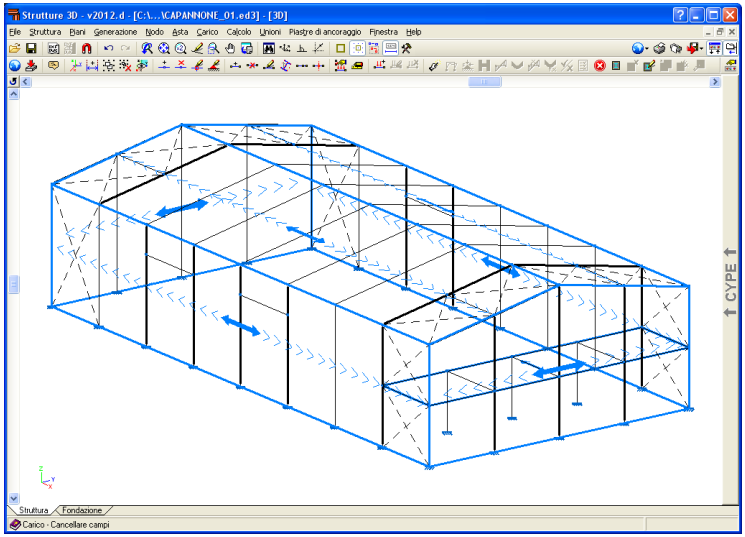


Fig. 3.60

Dopo aver selezionato la direzione di ripartizione dei carichi, cliccando il tasto destro del mouse, si aprirà una finestra che consentirà di inserire i carichi associati a quel campo. Aggiunga i carichi seguenti, associando ciascuno di essi all'ipotesi relativa ai carichi permanenti corrispondenti al peso proprio del solaio, il cui valore è pari a 3.7 kN/m^2; definisca inoltre un altro carico, associato all'ipotesi di carico permanente, rappresentato dalla pavimentazione (opere de finitura) del solaio stesso, di valore pari a 1.2 kN/m^2. Infine, inserisca un nuovo carico nella lista corrispondente al carico di esercizio (Q_1), selezioni tale ipotesi e indichi come valore 2 kN/m^2.

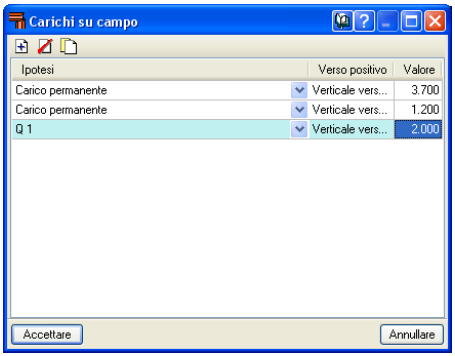


Fig. 3.61

Clicchi su **Accettare** nella finestra **Carichi su campo**; sarà ora possibile consultare la ripartizione dei carichi eseguita dal programma. A tale scopo selezioni l'ipotesi Q1 (carico di esercizio) nell'opzione **Ipotesi Vista** del menu **Carico**, e automaticamente si mostreranno i carichi relativi a quell'ipotesi generati sulle aste.

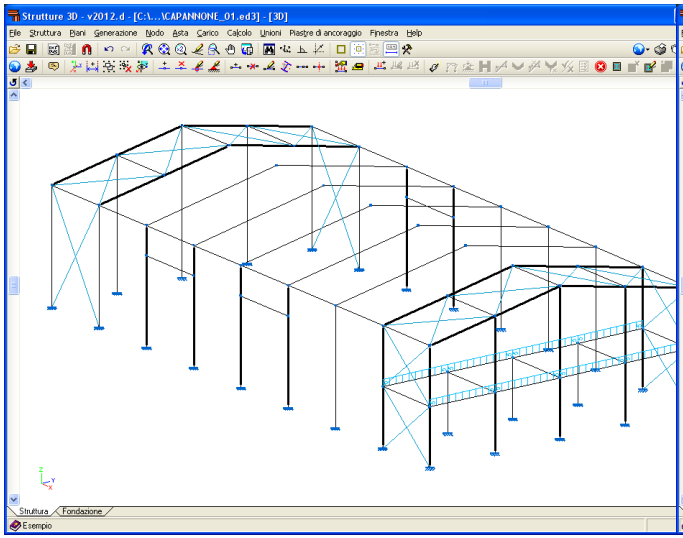


Fig. 3.62

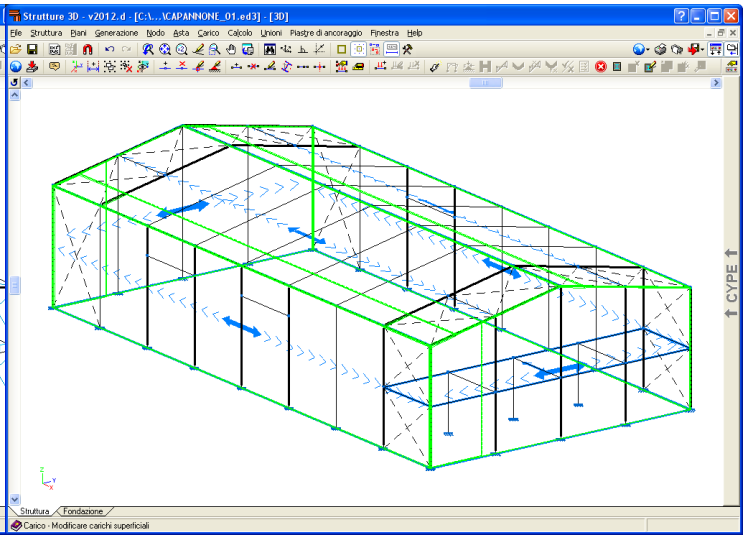


Fig 3.63

3.3.6.3. Carichi del vento

È possibile consultare i carichi per unità di superficie generati dal programma per ciascuna ipotesi relativa al vento; a tale scopo selezioni nell'opzione **Ipotesi Vista** del menu **Carico** l'ipotesi corrispondente. In questo esempio, attivi l'ipotesi "0 gradi. Pressione esterna tipo 1" (V(0º) H1 del menu a tendina), e automaticamente si visualizzeranno i carichi generati sulle aste. Inoltre, se desidera consultare i carichi per unità di superficie originati dal Generatore di telai, deve attivare l'opzione **Modificare carichi superficiali** del menu **Carico** (Fig. 3.63). Per ciascun campo inserito, il programma genererà i carichi superficiali corrispondenti alla pressione esterna, analogamente a quelli corrispondenti alla pressione interna, come carichi separati.

3.3.7. Instabilità piana

Una volta completato l'inserimento degli stati di carico agenti sul capannone, prosegua definendo i fattori di lunghezza efficace delle aste inserite in **Strutture 3D**, dato che essi sono già stati assegnati alle aste definite nel **Generatore di telai**.

Per assegnare i fattori di lunghezza efficace, selezioni l'opzione **Instabilità piana** del menu **Asta** e, in seguito, le travi IPE-160 che controventano i telai. Poiché la struttura presenta gli arcarecci IPE-120 separati ogni 1400 mm uniti al pannello di copertura mediante fissaggio rigido, e, a loro volta, nel capannone si utilizzeranno piastre in calcestruzzo con spessore pari a 150 mm in qualità di chiusure verticali, si può considerare che queste aste non subiranno il fenomeno dell'instabilità. Affinché quest'ultimo si verifichi, infatti, la struttura dovrebbe essere totalmente caricata. Pertanto,

si assegnerà a tali travi un fattore di lunghezza efficace β di valore pari a 0 nel piano XY e a 1 nell'altro piano.

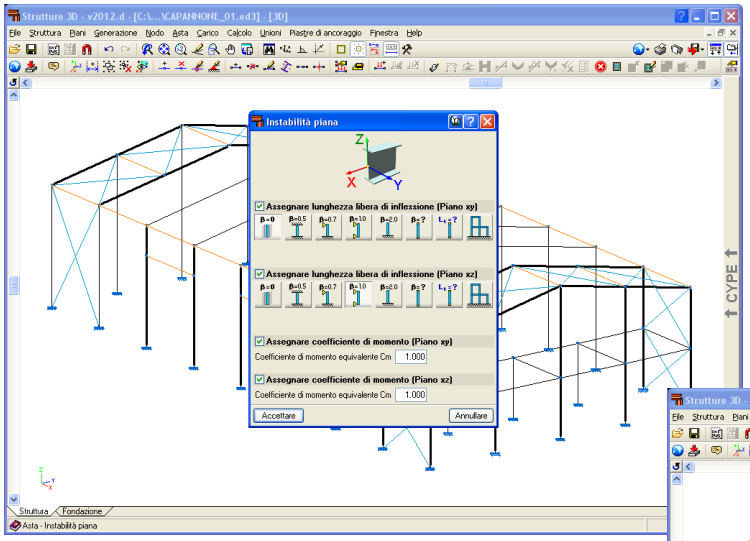


Fig. 3.64

Per le travi IPE-240 che collegano i due telai che sostengono il solaio degli uffici, si procederà esattamente come nel caso precedente, dato che il solaio stesso impedisce l'instabilità del profilato nel suo piano XY.

Nei pilastri IPE-220 che sostengono il telaio interno del solaio si considererà un fattore di lunghezza efficace di valore pari a $\beta = 0.7$, essendo quest'ultimo incastrato alla base e incernierato in sommità in entrambi i piani.

Infine, i pilastri IPE-240 di entrambe le pareti di facciata non sono soggetti a instabilità nel piano XY a causa della presenza della chiusura laterale in cui essi sono contenuti.

3.3.8. Instabilità laterale

A causa delle ipotesi relative alla depressione del vento in copertura, nelle travi dei telai centrali del capannone si può verificare instabilità laterale dell'ala inferiore. Ciò può essere evitato disponendo nella struttura tiranti che controventino l'ala inferiore nei confronti di questo fenomeno; per eseguire tale operazione nel programma, utilizzi l'opzione **Instabilità laterale** del menu **Asta** e selezioni le travi IPE-300 costituenti la copertura. In seguito, clicchi il tasto destro del mouse al fine di modificare i fattori di lunghezza efficace per instabilità laterale delle aste selezionate. Disponga in corrispondenza delle loro ali inferiori un tirante ogni 4 arcarecci con un lunghezza libera di inflessione pari a $L_b = 4.2$ m.

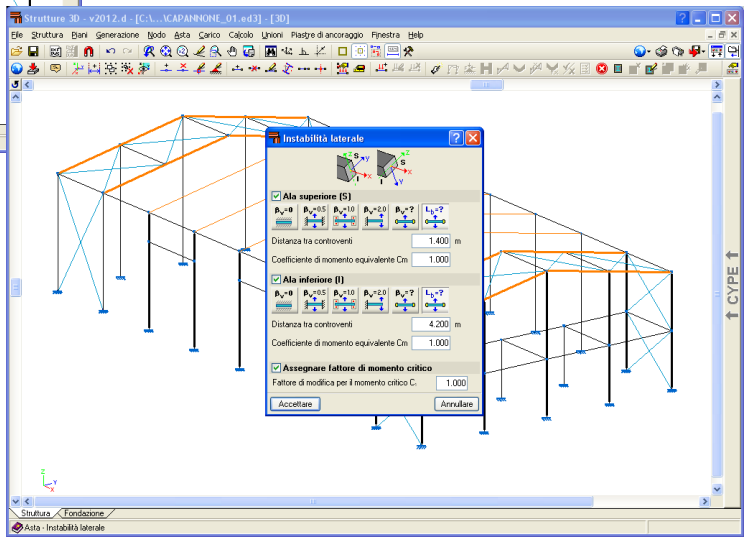


Fig. 3.65

Per quanto riguarda i pilastri IPE-300 dei telai centrali, inserisca un valore del fattore di lunghezza efficace pari a 0, in quanto essi risultano già controventati nei confronti dell'instabilità laterale.

3.3.9. Calcolo e dimensionamento della struttura

Una volta eseguiti tutti i passi precedenti, è possibile calcolare la struttura e iniziare la fase di dimensionamento della stessa. A tale scopo, selezioni l'opzione **Calcolare** del menu **Calcolo**; comparirà una finestra in cui si consente di scegliere tra **Non dimensionare profilati**, **Dimensionamento veloce di profilati** o **Dimensionamento ottimale di profilati**. Per proseguire con l'esempio di questo manuale selezioni la prima opzione, **Non dimensionare profilati**.

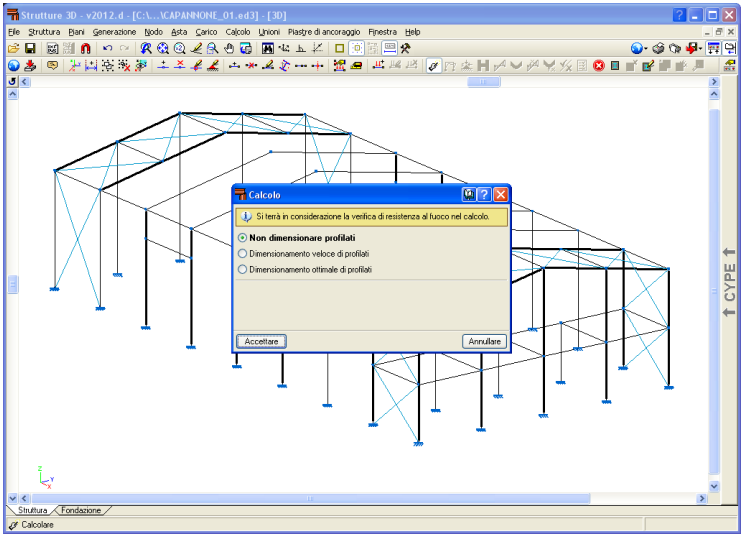


Fig. 3.66

3.3.9.1. Dimensionamento di tiranti

Il fatto che i tiranti siano aste ad asse rettilineo che ammettono solamente azioni di trazione nella direzione del loro asse, implica che la loro modellazione sarebbe rigorosamente esatta solo se si eseguisse un'analisi non lineare della struttura per ciascuna combinazione di ipotesi, nella quale dovrebbero essere trascurati, in ogni calcolo, tutti quei tiranti le cui azioni assiali siano di compressione.

Inoltre, per eseguire un'analisi dinamica senza prendere in considerazione i tiranti compressi, sarebbe necessario eseguire un'analisi nel dominio del tempo con accelerogrammi.

Come approssimazione del metodo esatto, proponiamo un metodo alternativo i cui risultati, nei casi in cui soddisfino le condizioni che si precisano nel seguito, sono sufficientemente accettabili per la pratica comune del progetto di strutture con elementi tiranti.

Il metodo presenta le seguenti limitazioni, il cui soddisfacimento è verificato dal programma:

1. L'elemento tirante fa parte di un irrigidimento a forma di croce di Sant'Andrea delimitata nei suoi quattro bordi, o in tre se l'irrigidimento concorre in due vincoli esterni. Inoltre, ogni telaio irrigidito deve formare un rettangolo (i quattro angoli interni devono essere retti).

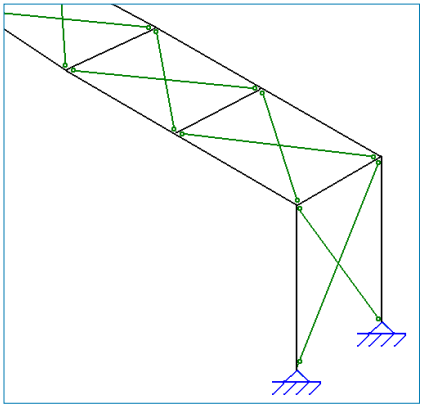


Fig. 3.67

2. La rigidezza assiale dei tiranti (EA/L) è inferiore di circa il 10% alla rigidezza assiale degli elementi che formano la croce di Sant'Andrea.

3. Ogni diagonale di uno stesso telaio irrigidito deve presentare la stessa sezione trasversale, cioè, lo stesso profilato.

Applicazione del metodo

Il metodo di calcolo è lineare ed elastico con formulazione matriciale. Ogni tirante si inserisce nella matrice di rigidezza solamente con il termine relativo alla rigidezza assiale (EA/L), pari alla metà della rigidezza assiale reale del tirante. In tal modo, si ottengono spostamenti nel piano dell'irrigidimento simili a quelli che si otterrebbero se la diagonale compressa fosse stata trascurata nell'analisi matriciale considerando l'area reale della sezione del tirante teso.

Per ciascuna combinazione di ipotesi, si ottengono le azioni interne finali in ogni tirante, e in quelli in cui l'azione assiale risulti essere di compressione si procede nel modo seguente:

A. Si annulla l'azione assiale del tirante compresso.

B. Tale azione assiale si somma all'azione assiale dell'altro tirante che costituisce il telaio irrigidito.

C. Con la nuova configurazione di azioni assiali nei tiranti, si procede a ripristinare l'equilibrio nei nodi.

Poiché il metodo rende compatibili azioni interne e non spostamenti, è importante considerare la restrizione indicata al punto 2 precedente relativa alle rigidezze assiali delle sezioni costituenti il telaio irrigidito, dato che il metodo presenta maggior esattezza quanto minori sono gli accorciamenti e gli allungamenti relativi delle aste che delimitano la croce di Sant'Andrea. In tutti i casi analizzati da CYPE, le discrepanze tra i risultati ottenuti attraverso questo metodo e quelli ricavati mediante un'analisi non lineare sono state trascurabili.

Nelle seguenti figure si schematizza la procedura descritta in precedenza.

Azioni interne provenienti da ciascuna combinazione oggetto di studio:

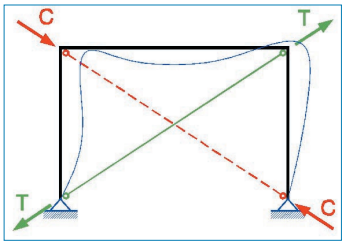


Fig. 3.68

T: azione assiale nel tirante teso
C: azione assiale nel tirante compresso

A. Annullamento dell'azione assiale nel tirante compresso. Assegnazione del valore della compressione al tirante teso.

Si elimina l'azione assiale nel tirante compresso (C=0) e la si somma al tirante teso (T*=T+|C|).

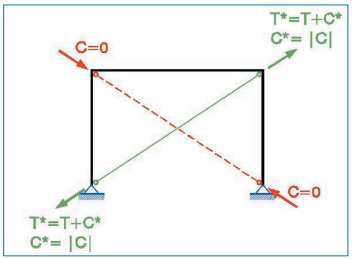


Fig. 3.69

B. Distribuzione (per scomposizione di forze) dell'incremento di azione assiale nel tirante teso (C*)

L'incremento di azione assiale (C*) nel tirante si scompone nella direzione delle aste (o reazioni vincolari) che concorrono nei nodi.

N_1, N_2, N_3, R_{1h}, R_{1v}, R_{2h}, R_{2v}: azioni interne e reazioni vincolari negli elementi che delimitano l'irrigidimento senza considerare l'incremento di trazione nel tirante teso.

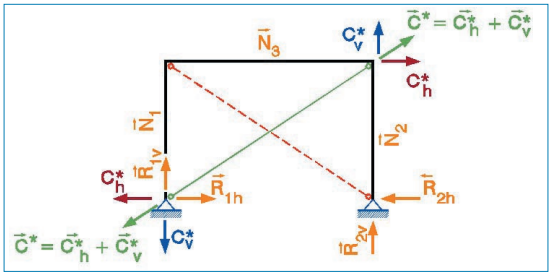


Fig. 3.70

C. Ripristino dell'equilibrio nei nodi estremi dei tiranti. Equilibrio di forze

In ogni asta e vincolo esterno del telaio si esegue la somma vettoriale delle componenti dell'incremento di trazione (di valore assoluto uguale alla compressione nel tirante compresso). Lo stato finale di azioni interne e reazioni vincolari si illustra nella seguente figura:

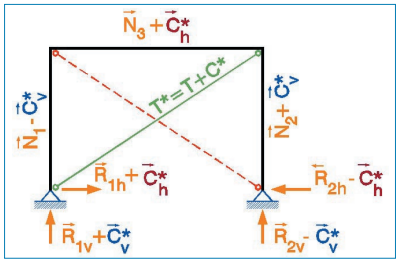


Fig. 3.71

Si possono consultare tali valori in ogni asta o nodo, in base alle ipotesi o alle combinazioni. Ogni ipotesi si tratta come una combinazione unitaria.

3.3.9.2. Dimensionamento di unioni

Il programma incorpora il calcolo e il dimensionamento di unioni per profilati a doppio T saldati per diverse normative (la invitiamo a consultare il nostro sito web per le diverse normative di calcolo disponibili. Se la norma di calcolo con cui è stata progettata la struttura non è ancora disponibile con il modulo Unioni, l'utente può decidere di copiare la struttura e progettare le unioni usando una norma differente).

Per ottenere maggiori informazioni, è possibile consultare le tipologie di unioni implementate nel programma sul nostro sito web.

Tipologie di unioni implementate

- Unione di pilastro con trave incastrata.

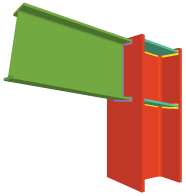


Fig. 3.72

- Unione di pilastro con trave incastrata, e con una trave ortogonale incernierata.

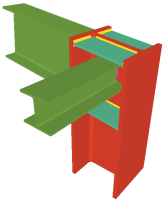


Fig. 3.73

- Unione di pilastro con trave incastrata, e con due travi ortogonali incernierate.

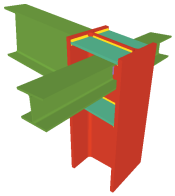


Fig. 3.74

- Unione di pilastro con trave incastrata con fazzoletto d'angolo.

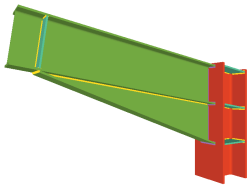


Fig. 3.75

- Unione di pilastro con trave incastrata con fazzoletto d'angolo, e con una trave ortogonale incernierata.

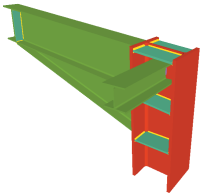


Fig. 3.76

- Unione di pilastro con trave incastrata con fazzoletto d'angolo, e con due travi ortogonali incernierate.

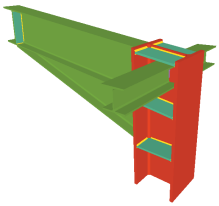


Fig. 3.77

- Unione di pilastro con trave incastrata (pilastro passante).

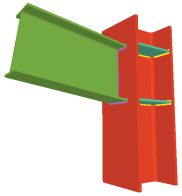


Fig. 3.78

- Unione di pilastro con trave incastrata, e con una trave ortogonale incernierata (pilastro passante).

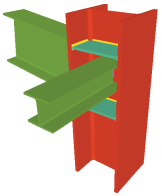


Fig. 3.79

- Unione di pilastro con trave incastrata, e con due travi ortogonali incernierate (pilastro passante).

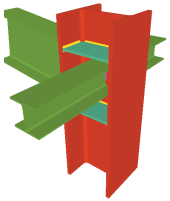


Fig. 3.80

- Unione di pilastro con trave incastrata con fazzoletto d'angolo (pilastro passante).

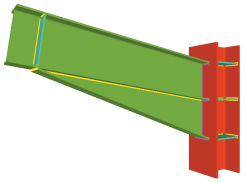


Fig. 3.81

- Unione di pilastro con trave incastrata con fazzoletto d'angolo, e con una trave ortogonale incernierata (pilastro passante).

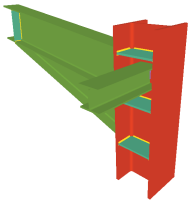


Fig. 3.82

- Unione di pilastro con trave incastrata con fazzoletto d'angolo, e con due travi ortogonali incernierate (pilastro passante).

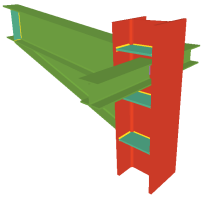


Fig. 3.83

- Unione di pilastro con due travi incastrate.

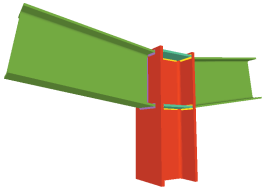


Fig. 3.84

- Unione di pilastro con due travi incastrate, e con una trave ortogonale incernierata.

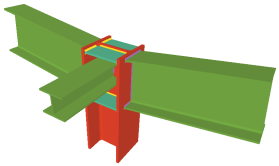


Fig. 3.85

- Unione di pilastro con due travi incastrate, e con due travi ortogonali incernierate.

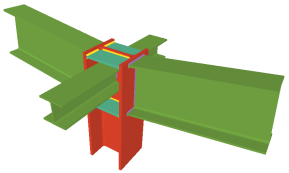


Fig. 3.86

- Unione di pilastro con due travi incastrate con fazzoletti d'angolo.

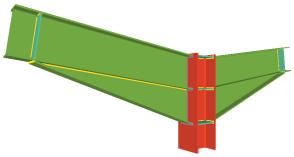


Fig. 3.87

- Unione di pilastro con due travi incastrate con fazzoletti d'angolo, e con una trave ortogonale incernierata.

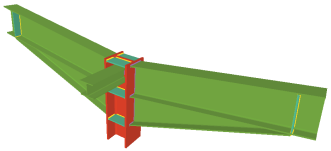


Fig. 3.88

- Unione di pilastro con due travi incastrate con fazzoletti d'angolo, e con due travi ortogonali incernierate.

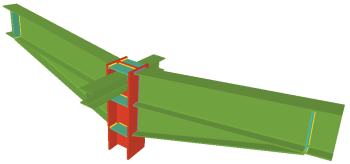


Fig. 3.89

- Unione di pilastro con due travi incastrate (pilastro passante).

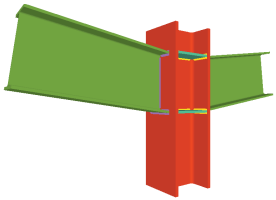


Fig. 3.90

- Unione di pilastro con due travi incastrate e con una trave ortogonale incernierata (pilastro passante).

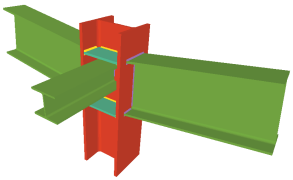


Fig. 3.91

- Unione di pilastro con due travi incastrate e con due travi ortogonali incernierate (pilastro passante).

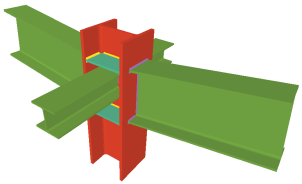


Fig. 3.92

- Unione di pilastro con due travi incastrate con fazzoletti d'angolo (pilastro passante).

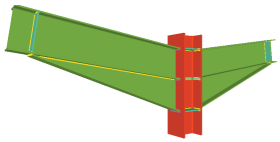


Fig. 3.93

- Unione di pilastro con due travi incastrate con fazzoletti d'angolo, e con una trave ortogonale incernierata (pilastro passante).

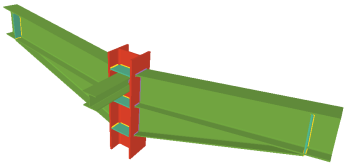


Fig. 3.94

- Unione di pilastro con due travi incastrate con fazzoletti d'angolo, e con due travi ortogonali incernierate (pilastro passante).

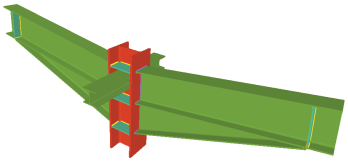


Fig. 3.95

- Unione di pilastro con trave incernierata (anime complanari).

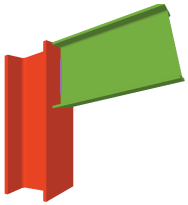


Fig. 3.96

- Unione di pilastro con trave incernierata (anime complanari), e con una trave ortogonale incernierata.

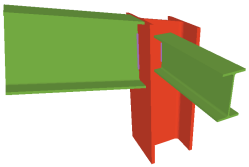


Fig. 3.97

- Unione di pilastro con trave incernierata (anime complanari e pilastro passante).

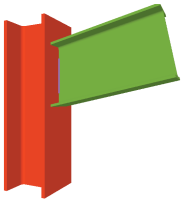


Fig. 3.98

- Unione di pilastro con trave incernierata (anime complanari), e con una trave ortogonale incernierata (pilastro passante).

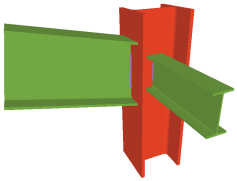


Fig. 3.99

- Unione di pilastro con trave incernierata all'anima del pilastro.

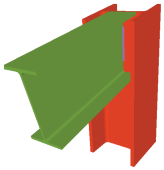


Fig. 3.100

- Unione di pilastro con trave incernierata all'anima del pilastro (pilastro passante).

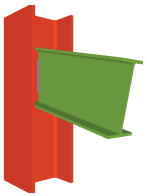


Fig. 3.101

- Trave passante appoggiata sul pilastro.

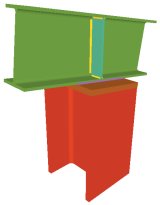


Fig. 3.102

- Unione in corrispondenza del colmo.

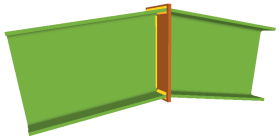


Fig. 3.103

- Unione in corrispondenza del colmo con fazzoletti d'angolo.

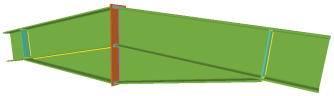


Fig. 3.104

- Unione di una trave incernierata a un'altra trave.

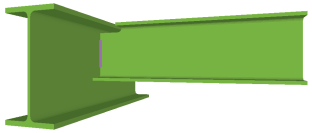


Fig. 3.105

- Unione di due travi incernierate a un'altra trave.

Fig. 3.106

- Giunzione di elementi con stesso profilato in prolungamento rettilineo mediante lamiera divisoria.

Fig. 3.107

- Dettaglio di tirante.

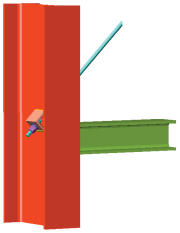


Fig. 3.108

Dimensionamento di unioni

Se durante la procedura di calcolo della struttura si rilevano nodi la cui unione è risolta dal programma, significa che quest'ultimo è stato in grado di dimensionare le unioni; esso fornirà come risultato una vista esplosa delle stesse.

Il programma dimensionerà nelle unioni gli spessori di gola delle saldature e la lunghezza delle stesse, e prevederà irrigidimenti nel caso in cui si rendano necessari per la trasmissione di tensioni nell'unione.

Gli sforzi trasmessi al cordone di saldatura si scompongono nelle componenti in direzione normale e tangenziale al piano della gola, ipotizzando che la distribuzione di tensioni sia uniforme lungo esso.

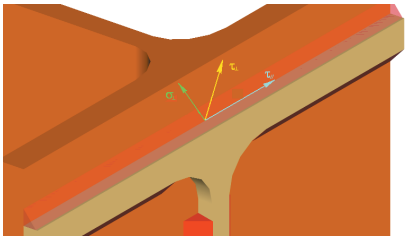


Fig. 3.109

Conformemente a quanto affermato nelle NTC, la saldatura è sufficiente se si soddisfano le seguenti relazioni:

$$\sqrt{\sigma_{\perp} + 3\left(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2\right)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

Dove:
$\sigma_{\perp}$: Tensione agente in direzione normale alla sezione di gola.
$\tau_{\perp}$: Tensione agente nella sezione di gola in direzione perpendicolare all'asse del cordone.
$\tau_{\parallel}$: Tensione agente nella sezione di gola in direzione parallela all'asse del cordone.
f_u: Resistenza a rottura del più debole degli elementi collegati.
β_w: Coefficiente di correlazione, pari a 0.85 per acciaio S275.
γ_{M2}: Coefficiente di sicurezza parziale (1.25).

Lo spessore delle saldature d'angolo sarà come minimo pari a 4 mm. e non sarà maggiore di 0.7 volte lo spessore minore degli elementi da collegare.

Il programma scomporrà le azioni interne nel nodo, determinando le tensioni in ciascun cordone di saldatura dell'unione, dovendosi soddisfare in ciascuno di essi le relazioni precedenti. Nel caso di unione incastrata si ottengono tre tipi di cordoni distinti.

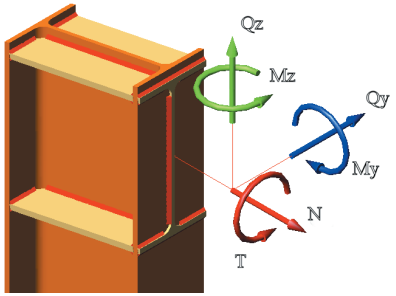


Fig. 3.110

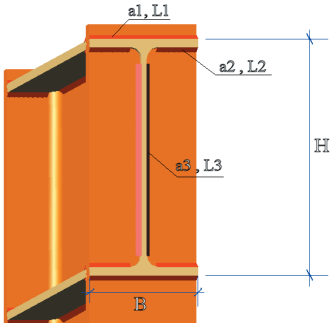


Fig. 3.111

Il programma determinerà le caratteristiche meccaniche dei cordoni di saldatura.

$$I_y = 2\times L_1\, a_1\left(\frac{H}{2}+\frac{a_1}{2}\right)^2 + 4\times L_2\, a_2\left(\frac{H}{2}-t_f-\frac{a_2}{2}\right)^2 + + 2\times\frac{1}{12}a_3\, L_3^3$$

$$I_z = 2\times\left(\frac{1}{12}a_1\, L_1^3\right)+2\times\left(\frac{1}{12}a_2\, L_2^3\right)- -2\times\left(\frac{1}{12}a_2\,(L_1-2\times L_2)^3\right)+2\times L_3\, a_3\,\left(\frac{t_w}{2}+\frac{a_3}{2}\right)^2$$

$$A = 2\times L_1\, a_1 + 4\times L_2\, a_2 + 2\times L_3\, a_3$$

Le tensioni normali agenti sui cordoni di saldatura saranno:

$$\sigma = \frac{N}{A}+\frac{M_y}{I_y}z+\frac{M_z}{I_z}y$$

$$\sigma_\perp = \tau_\perp = \frac{\sqrt{2}}{2}\sigma$$

- Nei cordoni di saldatura 1 le tensioni normali massime si otterranno per:

$$y = 0.5\times L_1 \quad e \quad z = 0.5\,(H+a_1) \rightarrow \sigma_\perp = \tau_\perp$$

- Nei cordoni di saldatura 2 per:

$$y = 0.5\times L_1 \quad e \quad z = 0.5\times(H-2\times t_f-a_2) \rightarrow \sigma_\perp = \tau_\perp$$

- Infine, nei cordoni di saldatura 3 per:

$$y = 0.5\times(t_w+a_3) \quad e \quad z = 0.5\times L_3 \rightarrow \sigma_\perp = \tau_\perp$$

Per il calcolo delle tensioni tangenziali dovute ai tagli, nel caso di taglio orizzontale, il programma distribuirà quest'ultimo tra i **cordoni 1** e **2** in modo proporzionale alla loro area resistente. Al contrario, il taglio trasversale deve essere sopportato dai **cordoni 3**.

Il momento torcente si scompone in una coppia di forze che incrementano o diminuiscono le tensioni tangenziali nei cordoni 1 e 2, in funzione del segno del momento torcente stesso.

Una volta ottenute le tensioni normali e tangenziali si dovranno verificare in ciascun cordone le seguenti relazioni:

$$\sqrt{\sigma_\perp^2+3\cdot\left(\tau_\perp^2+\tau_\parallel^2\right)} \le \frac{f_u}{\beta_w\cdot\gamma_{M2}}$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

Consultazione di unioni

Dopo aver eseguito il calcolo, è possibile dimensionare le unioni utilizzando l'opzione **Calcolare** del menu **Unioni**. Attivando tale opzione, si contrassegneranno con un cerchio verde le unioni che il programma è stato in grado di dimensionare e con un cerchio rosso quelle che il programma non ha potuto risolvere.

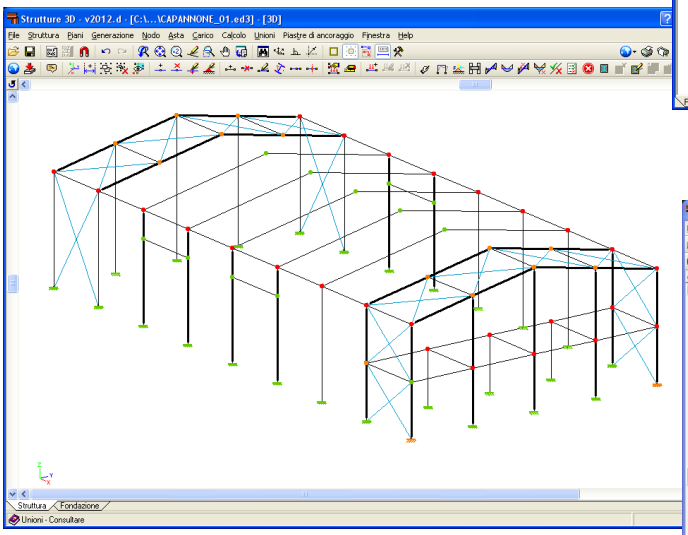


Fig. 3.112

Se si avvicina con il cursore del mouse a un nodo in cui sono presenti unioni dimensionate, si mostrerà un riquadro informativo in cui si indicano i tipi di unioni dimensionate associate a tale nodo; cliccando sulle unioni si mostreranno i dettagli delle unioni associate al nodo selezionato.

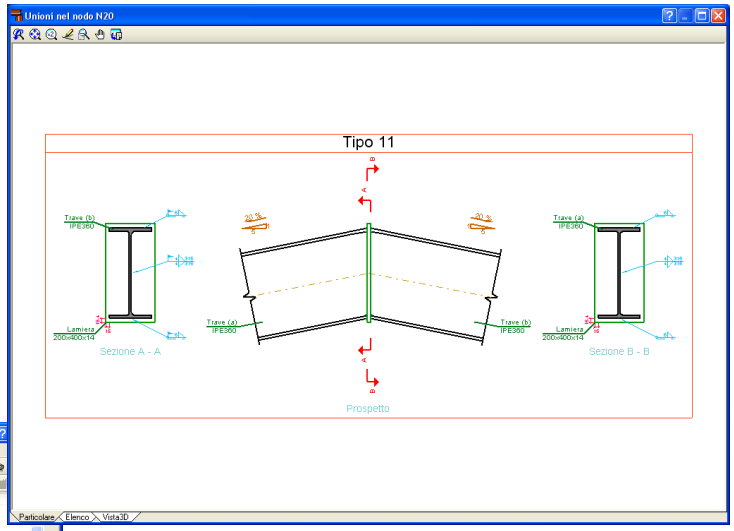


Fig. 3.113

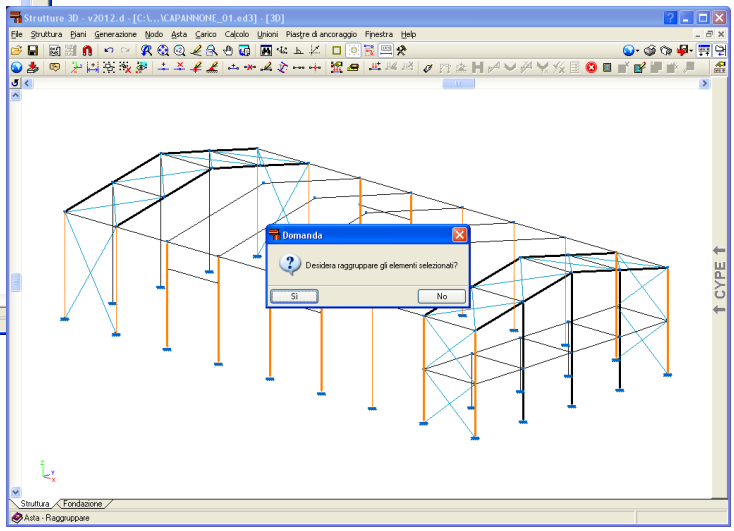


Fig. 3.114

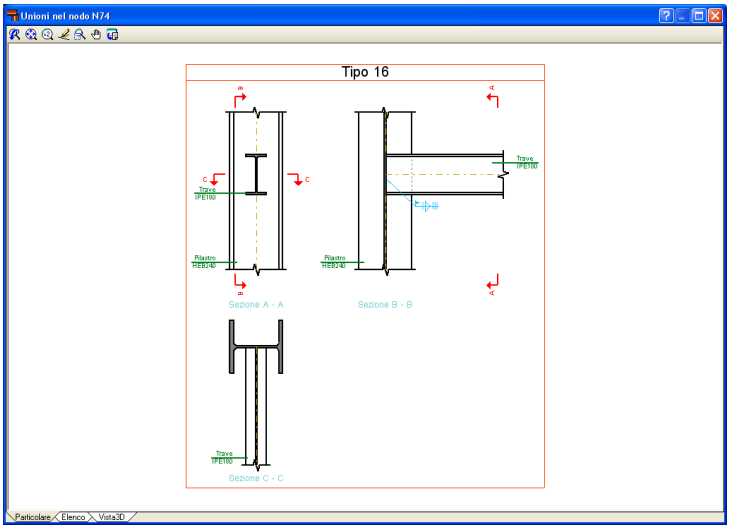


Fig. 3.115

Se si avvicina con il cursore a un nodo in cui sono presenti unioni non dimensionate, ma che appartengono a un tipo di unione riconosciuta dal programma, si mostra un riquadro informativo contenente un'informazione circa le cause che hanno impedito il dimensionamento dell'unione.

Cause per cui non è stata dimensionata un'unione

Se il programma non dimensiona un'unione, ciò può essere dovuto al fatto che si verifica una delle seguenti circostanze:

a. Incastro di un profilato nell'anima di un altro

Nel caso in cui si provi a incastrare un profilato nell'anima di un altro, non si potrà risolvere l'unione. Si devono sempre incernierare gli estremi di aste che sono uniti all'anima di un'altra asta.

b. Interferenza tra profilati

Se le ali del profilato che si uniscono all'anima di un altro profilato interferiscono con quelle di quest'ultimo, il programma non potrà risolvere l'unione.

c. Interferenza tra profilati e irrigidimenti

Nel caso in cui il profilato che si unisce all'anima di un altro interferisca con gli irrigidimenti che il programma ha disposto per garantire l'incastro di aste che concorrono nel piano ortogonale.

d. Spessore dell'elemento

Nel caso in cui lo spessore di gola del cordone di saldatura necessario sia maggiore di 0.7 volte lo spessore dell'elemento che collega.

e. Ortogonalità

Nel caso in cui i piani contenenti l'anima delle aste non siano gli stessi, o non siano perpendicolari tra di loro, il programma non risolverà l'unione.

f. Angolo

Se si soddisfa il punto precedente, l'angolo che formano le facce delle aste da saldare deve essere maggiore o uguale a 60º; in caso contrario, non si dimensiona l'unione.

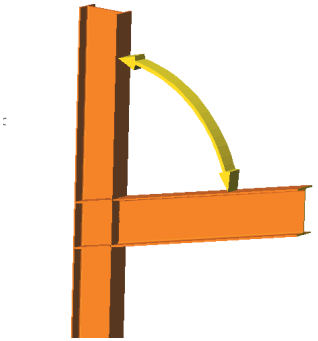


Fig. 3.116

3.3.9.3. Verifica di aste

Una volta terminato il calcolo della struttura, selezioni l'opzione **Verificare le aste** del menu **Calcolo**, per verificare se il predimensionamento iniziale sia valido o se, in caso contrario, bisogna modificare qualche asta ed eseguire quindi nuovamente il calcolo della struttura.

Selezionando questa opzione, si disegnano in rosso tutte quelle aste che non verificano per lo stato di ipotesi di carichi correnti. Cliccando su una trave IPE-300 dei telai centrali compare una finestra di dialogo in cui si indicano quali profilati, tra tutti quelli appartenenti al profilario, soddisfano le verifiche e quali no, e in cui si mostra evidenziato in azzurro il profilato disposto originariamente nella struttura. Se desidera modificare quest'ultimo, dovrà semplicemente cliccare due volte sulla fila del profilato che ha intenzione di disporre al suo posto (l'evidenziatura azzurra segnala tale fila).

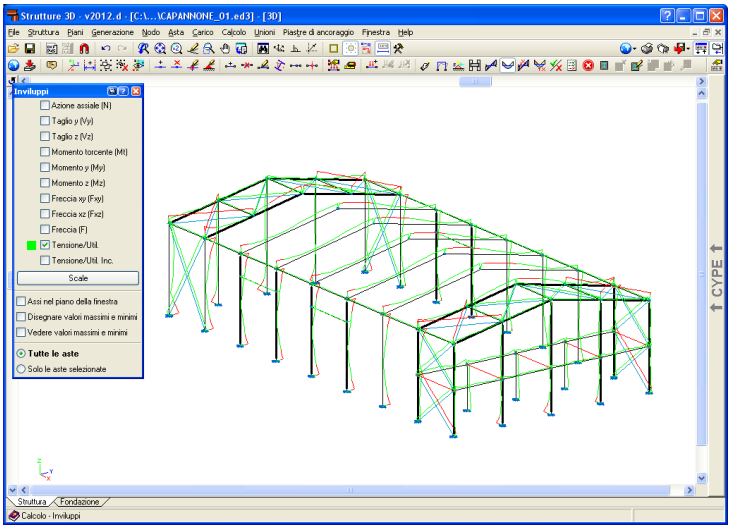


Fig. 3.118

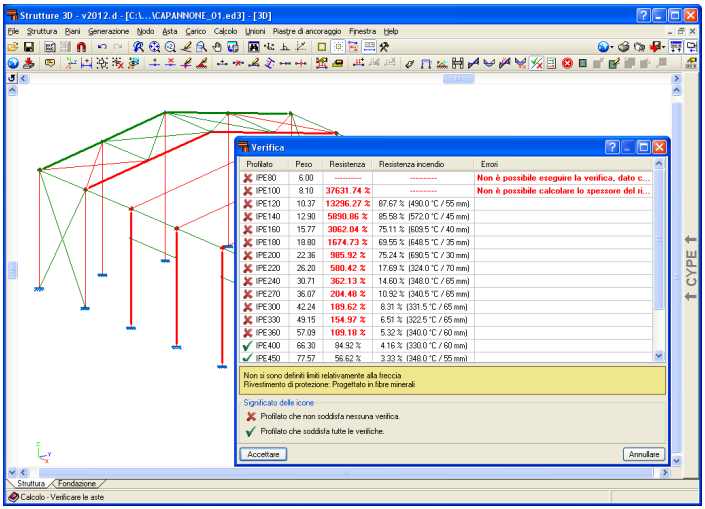


Fig. 3.117

È meglio controllare lo stato tensionale dell'asta per poter scegliere se passare a un profilato superiore o rinforzare la trave nella sua unione con il pilastro per mezzo di fazzoletti d'angolo.

In questo caso, al posto che passare direttamente al primo profilato utile della serie, si decide di assegnare direttamente profilati HEB ai pilastri e di disporre un fazzoletto d'angolo iniziale inferiore per una lunghezza pari a 2 metri in corrispondenza dell'unione tra le travi dei telai centrali e i pilastri stessi:

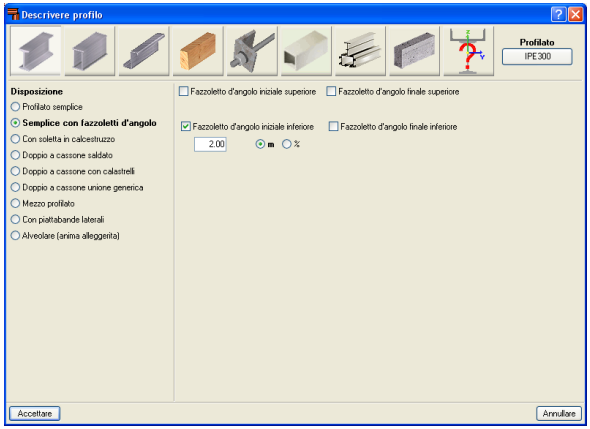


Fig. 3.119

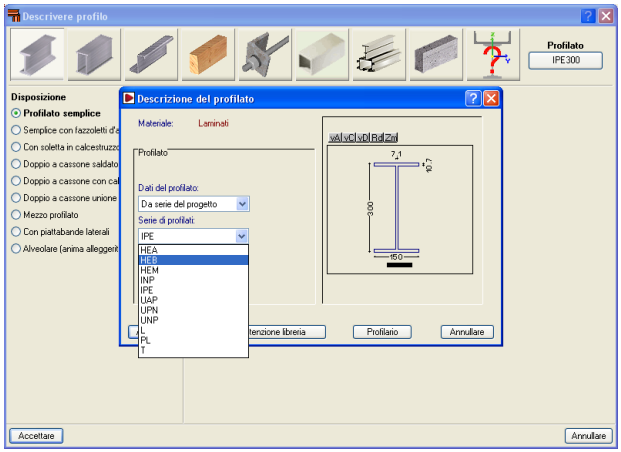


Fig. 3.120

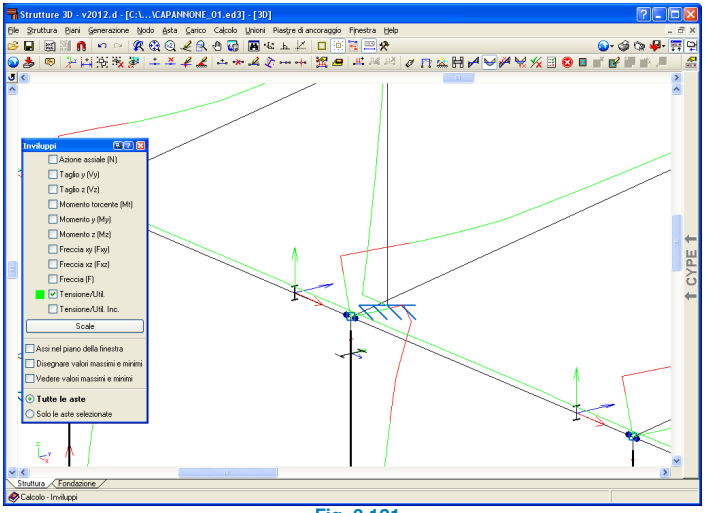


Fig. 3.121

Per quanto riguarda le travi dei telai centrali, assegni loro il primo profilato della serie di profilati IPE che verifica. Con i cambi apportati, esegua nuovamente il calcolo della struttura.

3.3.9.4. Consultazione di azioni interne e tensioni

Attivi l'opzione **Inviluppi** del menu **Calcolo** e selezioni la sezione **Tensione/Utiliz.** con spuntata la casella **Solo le aste selezionate**; in seguito, clicchi sulla trave che aveva selezionato in precedenza mediante l'opzione **Verificare le aste**. In questo modo si disegnerà il diagramma dello stato tensionale dell'asta nel piano XZ della stessa. In verde si evidenzia la zona che verifica e in rosso quella che non verifica.

Come può notare, nella zona di incastro con il pilastro compare un coefficiente di utilizzo maggiore dell'unità. Se desidera conoscere il suo valore, spunti la casella **Disegnare valori massimi e minimi**, e osservi che il valore del coefficiente di utilizzo dell'asta è pari a 1.32: si sta pertanto eccedendo di un 13% la resistenza del profilato.

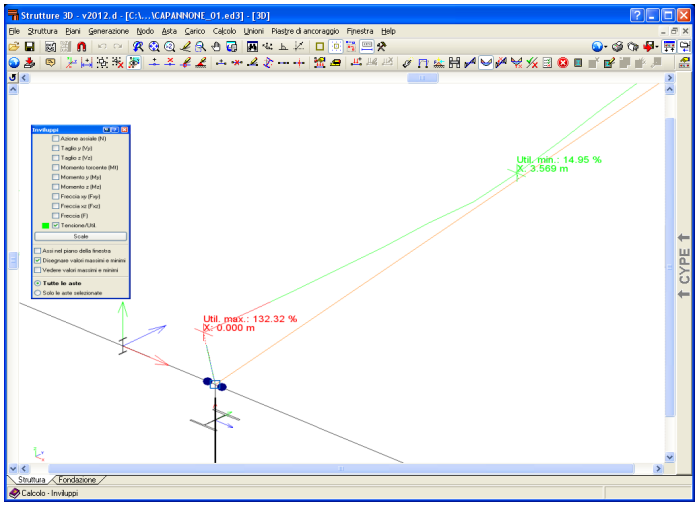


Fig. 3.122

Il problema può essere affrontato in differenti modi e, in ogni caso, dipende dalle soluzioni pratiche che ogni ingegnere reputi essere le più efficienti. In questo esempio, assegni ai pilastri profilati HEB 280 ed esegua ancora il calcolo, verificando nuovamente che tutte le aste della struttura soddisfino le verifiche.

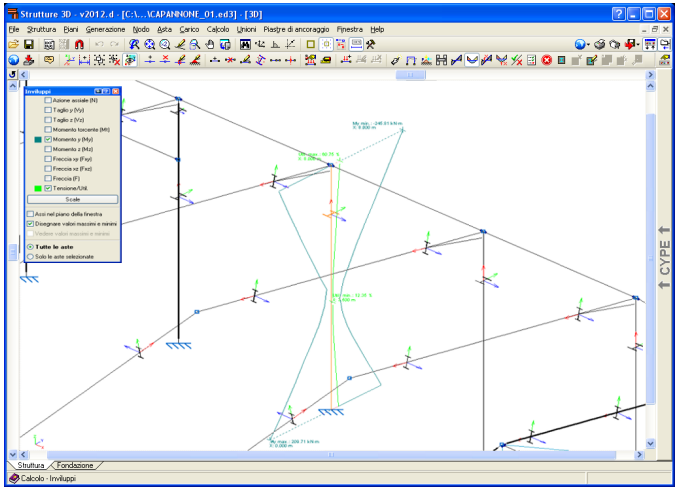


Fig. 3.123

3.3.10. Piastre di ancoraggio

Una volta assegnati i profilati a tutte le aste del capannone, è possibile definire le piastre di ancoraggio per poi proseguire con il loro successivo dimensionamento. Selezioni dal menu **Piastre di ancoraggio** l'opzione **Generare** e, una volta generate, utilizzi l'opzione **Dimensionare** dello stesso menu.

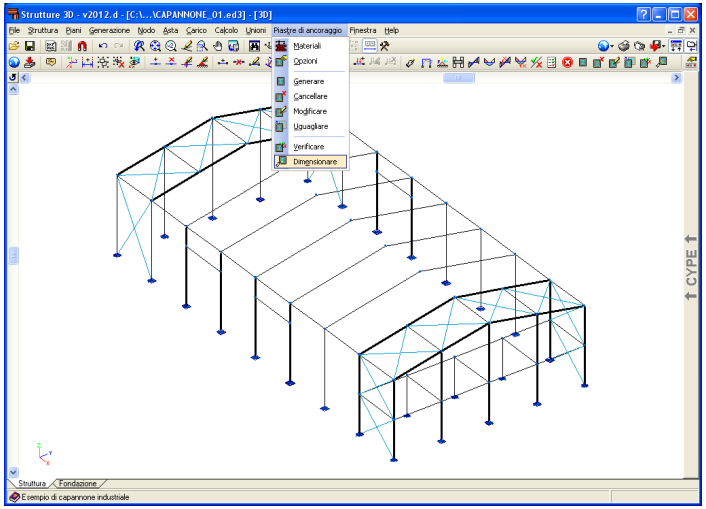


Fig. 3.124

Dimensionate le piastre, mediante l'opzione **Modificare** è possibile consultare e modificare i risultati derivanti dal dimensionamento.

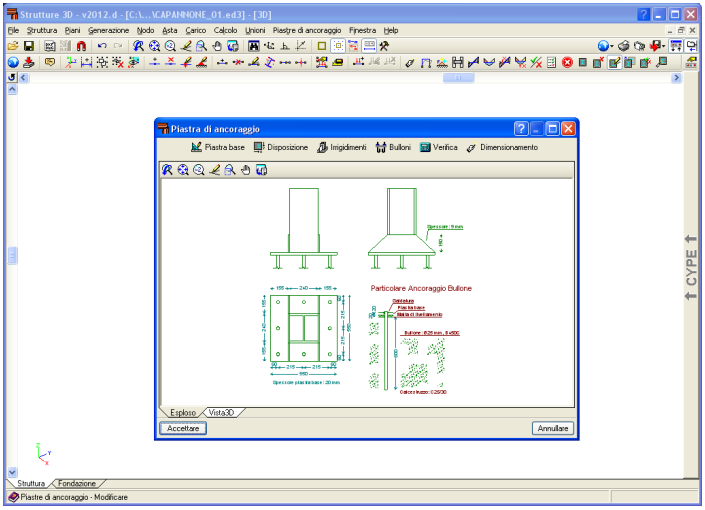


Fig. 3.125

Usando l'opzione **Uguagliare**, è possibile raggruppare tutte le piastre di ancoraggio dei pilastri dei telai principali in uno stesso tipo, quelle dei pilastri delle pareti di facciata in un altro tipo e quelle dei pilastri del telaio del solaio in un altro ancora. Per utilizzare questa opzione, selezioni in precedenza la piastra che desidera che sia la piastra modello dell'uguagliamento; una volta selezionata, si disegneranno in marrone tutte le piastre uguali a quella tipo, e in giallo quelle diverse da essa. Clicchi su queste ultime per uguagliarle, e, una volta terminato l'uguagliamento, clicchi il tasto destro del mouse per convalidare l'azione. Si disegneranno in rosso quelle che non verificano.

3.3.11. Fondazione

3.3.11.1. Inserimento di plinti

A questo punto, clicchi sulla linguetta **Fondazione** nell'angolo inferiore sinistro dello schermo per dimensionare le fondazioni. La nuova schermata mostra la pianta di tutti i profilati i cui nodi sono stati definiti come vincolo esterno. Le piastre di ancoraggio si disegneranno nel caso in cui siano state definite in precedenza.

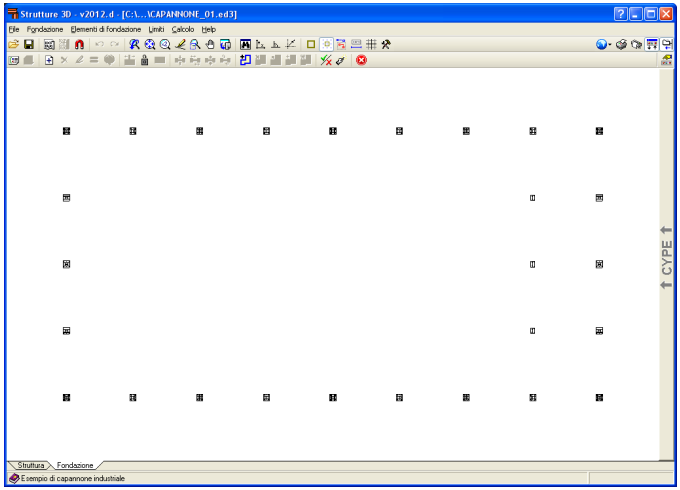


Fig. 3.126

Per inserire i plinti e i cordoli di collegamento tra di essi, utilizzi l'opzione **Nuovo** del menu **Elementi di fondazione**.

Fig 3.127

Nel menu fluttuante, selezioni l'opzione **Plinto in calcestruzzo armato** e, nella finestra che compare, clicchi su **Plinto rettangolare eccentrico** (terza opzione a partire da sinistra).

Fig 3.128

Accettando questa finestra di dialogo, il cursore si converte in un plinto. A seconda della zona del pilastro su cui si posiziona, il cursore si convertirà in un plinto d'angolo, zoppo o centrato. Continui a cliccare il tasto sinistro del mouse su ciascun elemento di appoggio della struttura fino a inserire tutti i plinti.

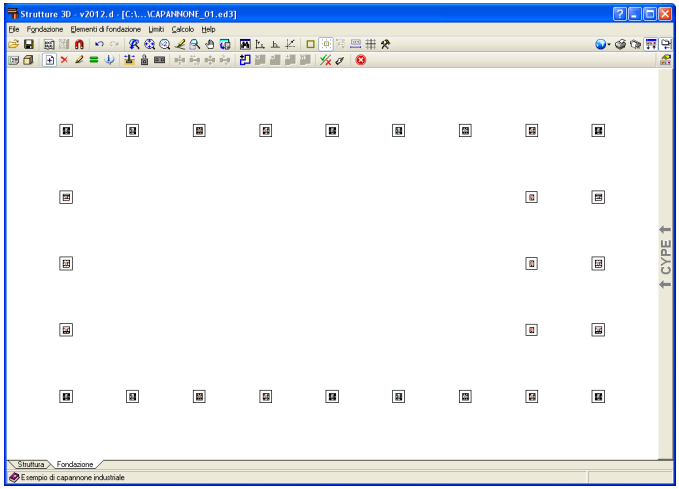


Fig. 3.129

3.3.11.2. Inserimento di travi e cordoli di collegamento

Prosegua ora con l'inserimento dei cordoli di collegamento. A tale scopo, utilizzi l'opzione **Trave con centraggio automatico alle estremità**, e, cliccando da un plinto all'altro, si inseriranno le travi con i loro estremi automaticamente centrati (in questo caso non si inseriranno travi di collegamento in quanto tutti i plinti risultano già essere centrati).

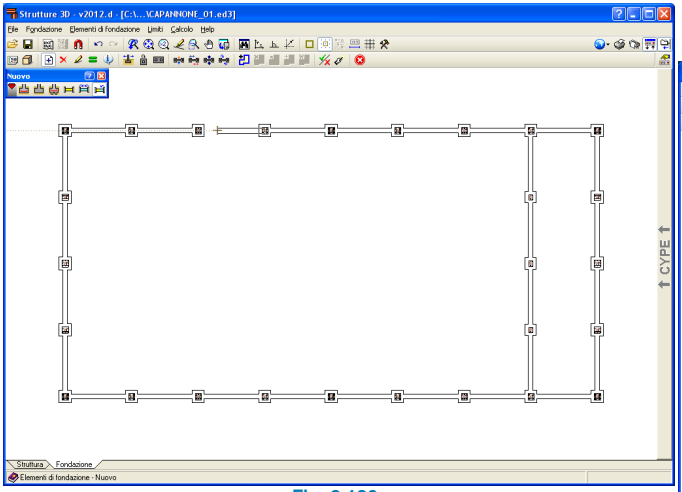


Fig. 3.130

3.3.11.3. Definizione di dati prima del dimensionamento

Una volta definita la geometria della fondazione del capannone, bisogna inserire la tensione ammissibile del terreno e i tipi di calcestruzzo e di acciaio della fondazione mediante l'opzione **Dati generali** del menu **Fondazione**.

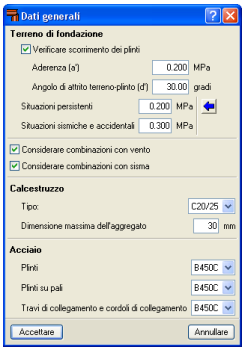


Fig. 3.131

Prima di eseguire il calcolo, è necessario definire alla voce **Opzioni > Cordoli di collegamento** del menu **Fondazione** il sovraccarico di compattazione dovuto alla chiusura verticale che appoggia su di esse.

In questo esempio, il peso della piastra in calcestruzzo è pari a 2.7 kN/m2, pertanto è necessario inserire un sovraccarico di compattazione maggiorato di:

$$q_{sc} = 2.7 \times 8 \times 1.6 = 34.6 \text{ kN/m}^2$$

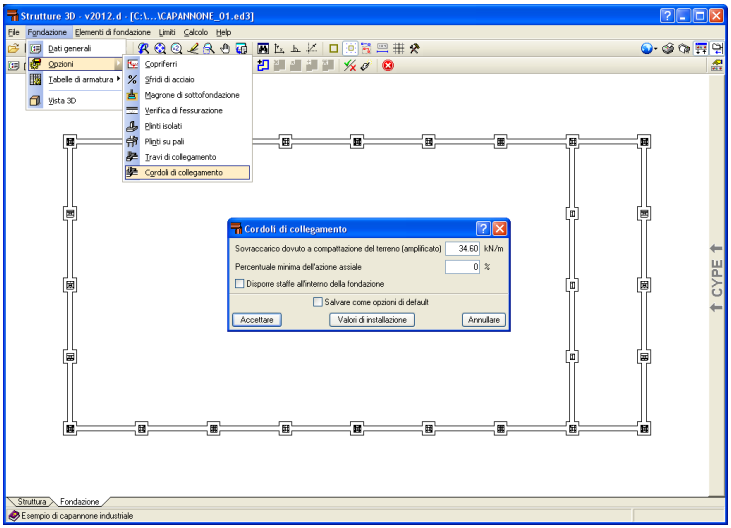


Fig. 3.132

Infine, quando si dimensiona una fondazione per un capannone industriale, il principale problema non è rappresentato dalle tensioni trasmesse al terreno, bensì dal peso dell'elemento in sé: infatti, a causa della depressione cui sono sottoposti i capannoni durante l'azione del vento e posto che i carichi provenienti dai pilastri siano di scarsa entità, può verificarsi il sollevamento del plinto. Ciò comporta un plinto di dimensioni elevate in seguito al dimensionamento.

A causa di questo problema, in questo tipo di fondazioni, è preferibile partire con dimensioni iniziali dell'altezza elevate. A tale scopo, nell'opzione **Plinti isolati** inserisca come valore 50 cm per quanto riguarda l'altezza minima. Inoltre, per evitare il fenomeno del sollevamento, è conveniente tornare alla struttura e inserire il carico che i cordoli di collegamento trasmettono ai plinti; pertanto, su ogni appoggio di ciascun pilastro di facciata si inserirà un carico puntuale nelle ipotesi relative al carico permanente, con verso contrario all'asse Z e di valore uguale al peso sostenuto dai cordoli di collegamento. Si esegue nuovamente il calcolo della struttura.

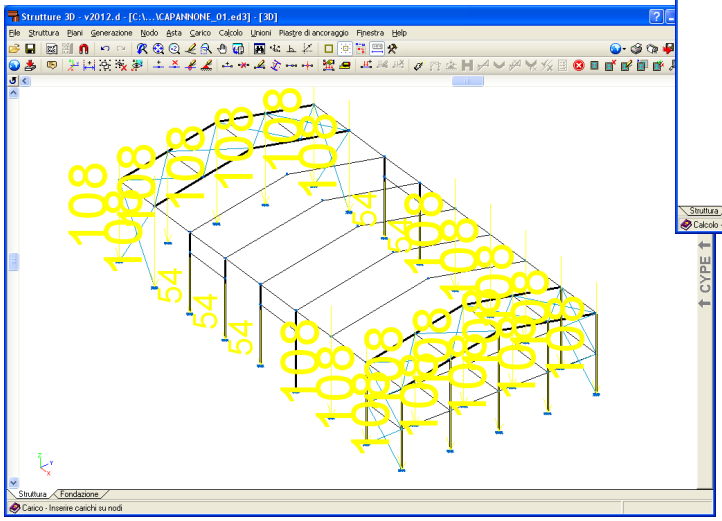


Fig. 3.133

3.3.11.4. Dimensionamento e verifica della fondazione

Una volta eseguiti i passi precedenti, è possibile dimensionare la fondazione. A tale scopo, ritorni alla linguetta **Fondazione** e clicchi sull'opzione **Dimensionare** del menu **Calcolo**. Dopo aver eseguito il calcolo, si disegneranno in rosso quegli elementi che presentano errori nel dimensionamento. Spostando il cursore al di sopra di un plinto o di un cordolo di collegamento, si mostra un riquadro informativo in cui si indicano i dati di calcolo del plinto o della trave (dimensioni, armatura, tensioni e azioni interne).

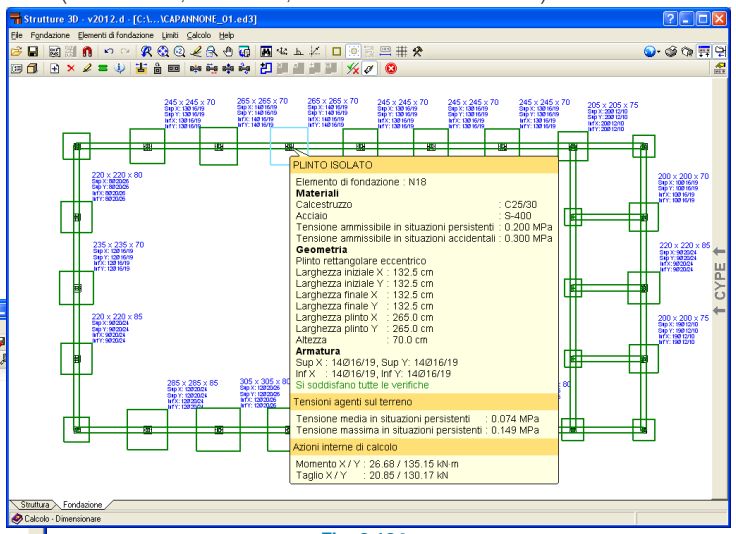


Fig. 3.134

Il programma consente di modificare, di verificare e di dimensionare ciascun elemento, usando l'opzione **Modificare** del menu **Elementi di fondazione**.

3.3.11.5. Uguagliamento

Analogamente a come si è proceduto per le piastre di ancoraggio, è necessario uguagliare i plinti per ottenere risultati più omogenei. A tale scopo, utilizzi l'opzione **Uguagliare** del menu **Elementi di fondazione**.

Una volta attivata l'opzione, selezioni il plinto modello (appoggio N18); si disegneranno in arancione il plinto selezionato e tutti quelli uguali ad esso, e in giallo quelli diversi. Bisogna proseguire cliccando sui plinti da uguagliare (N6, N8, N11, N13, N16, N21, N23, N26, N28, N31 e N33); una volta terminato l'uguagliamento, clicchi il tasto destro per convalidarlo.

Ripeta la stessa procedura uguagliando i plinti degli elementi di appoggio (N3, N1) e (N36, N38, N41, N43) che corrispondono rispettivamente a quelli esterni della parete di facciata posteriore e ai quattro esterni dei telai che contengono il pilastro.

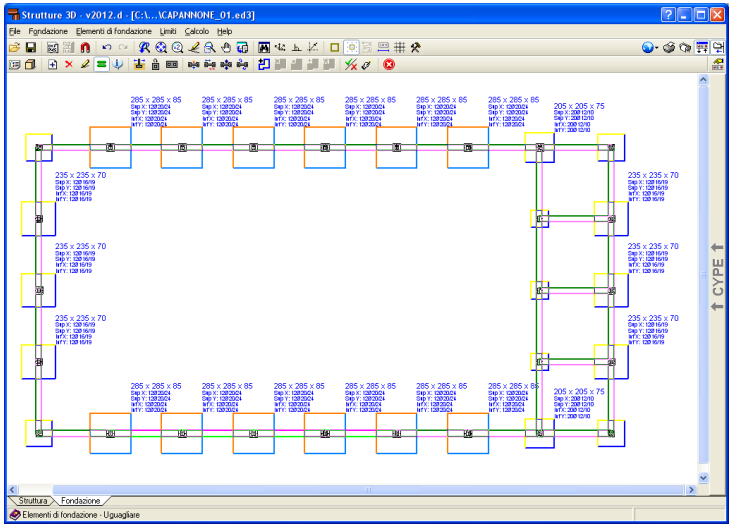


Fig. 3.135

3.3.12. Output dei risultati

3.3.12.1. Disegni esecutivi

Una volta dimensionate la struttura e la sua fondazione, è possibile ottenere i disegni esecutivi del progetto. A tale scopo, clicchi sul bottone che è possibile incontrare sia nella linguetta **Fondazione** sia nella linguetta **Struttura**. Dopo aver cliccato su di esso, compare la finestra **Selezione di disegni esecutivi**.

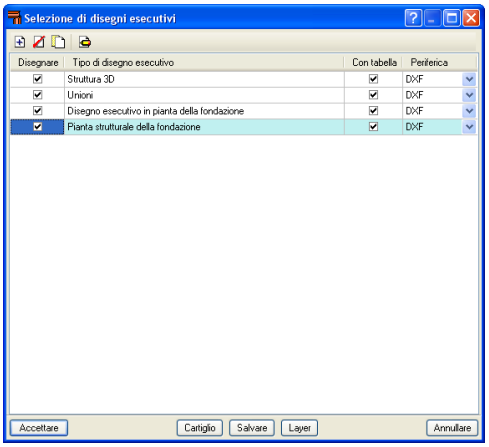


Fig. 3.136

In essa aggiunga i disegni esecutivi del progetto che desidera originare; a tale scopo, clicchi sul bottone e selezioni il tipo di dialogo **Modifica del disegno esecutivo**.

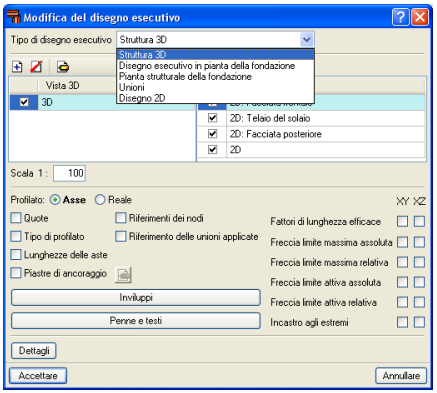


Fig 3.137

In questo caso selezioni **Struttura 3D** e spunti le caselle corrispondenti per visualizzare l'asse del profilato, le quote, il tipo di profilato e il riferimento delle unioni applicate.

Torni ad aggiungere tre nuovi disegni esecutivi. In uno selezioni le **Unioni**; in un altro, il disegno esecutivo in pianta della **Fondazione** e, infine, la **Pianta strutturale della fondazione**.

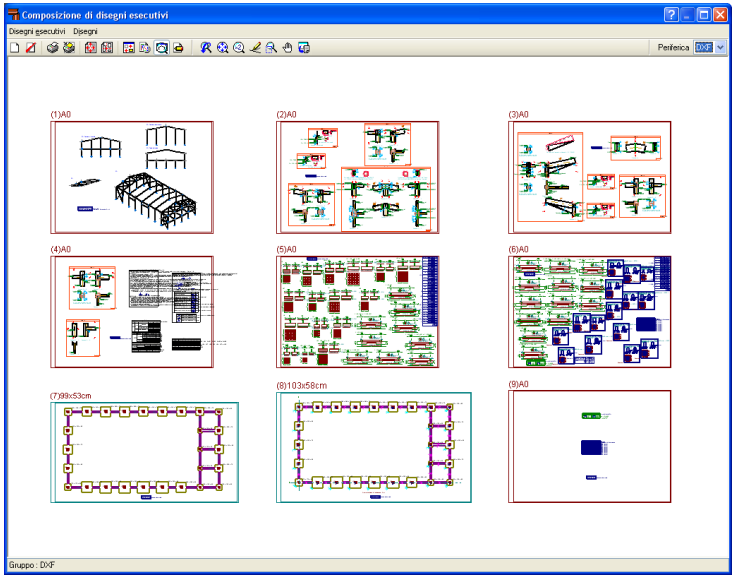


Fig. 3.138

Specifichi la periferica in cui desidera lanciare i disegni esecutivi e clicchi su **Stampare**.

3.3.12.2. Elenchi

Elenchi della struttura

Il programma dispone di due opzioni per quanto concerne gli elenchi della struttura: la prima fornisce un elenco di tutta la struttura, mentre la seconda origina gli elenchi dei soli elementi selezionati in precedenza.

- **Elenco di tutta la struttura**

  L'opzione per ottenere l'elenco di tutta la struttura si trova a sinistra di quella relativa ai disegni esecutivi. Cliccando su questo bottone, si apre una finestra in cui compare uno schema ad albero con una o più caselle in ciascun ramo, che, se spuntate, indicano quali elementi compariranno nell'elenco.

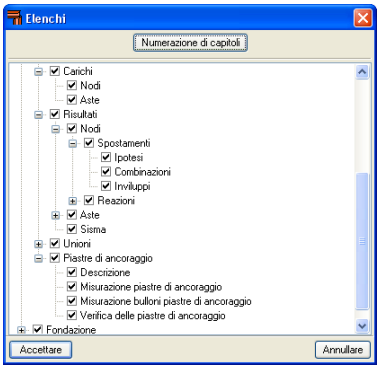


Fig. 3.139

- **Elenco di una selezione di elementi**

  Questa opzione è disponibile all'interno del menu **Struttura**; dopo averla attivata deve selezionare le aste o i nodi di cui desidera visualizzare l'elenco. In seguito, clicchi il tasto destro del mouse per convalidare la selezione, e comparirà la finestra in cui deve indicare i capitoli e i paragrafi che desidera visualizzare.

Elenco della fondazione

Per ottenere l'elenco della fondazione deve trovarsi all'interno della linguetta **Fondazione** e cliccare sul bottone .