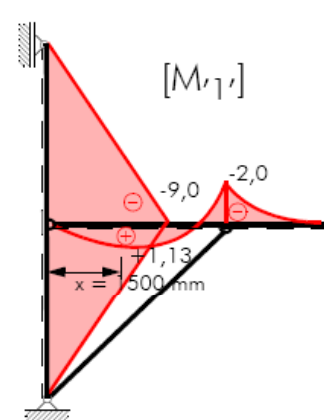
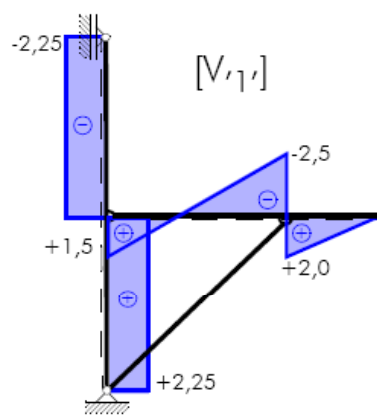
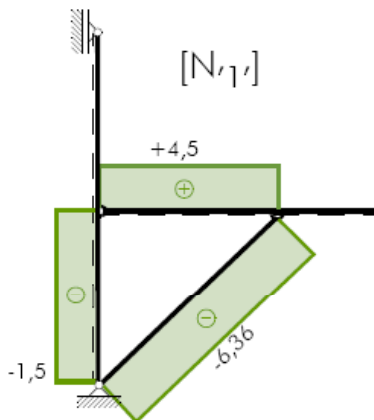
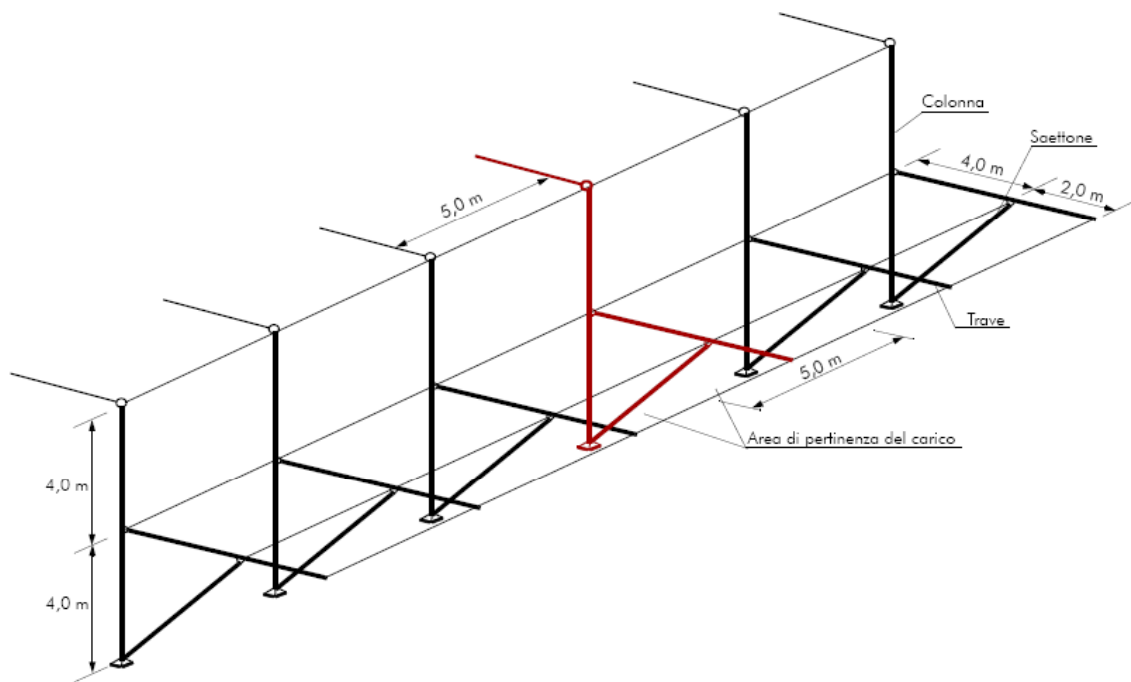


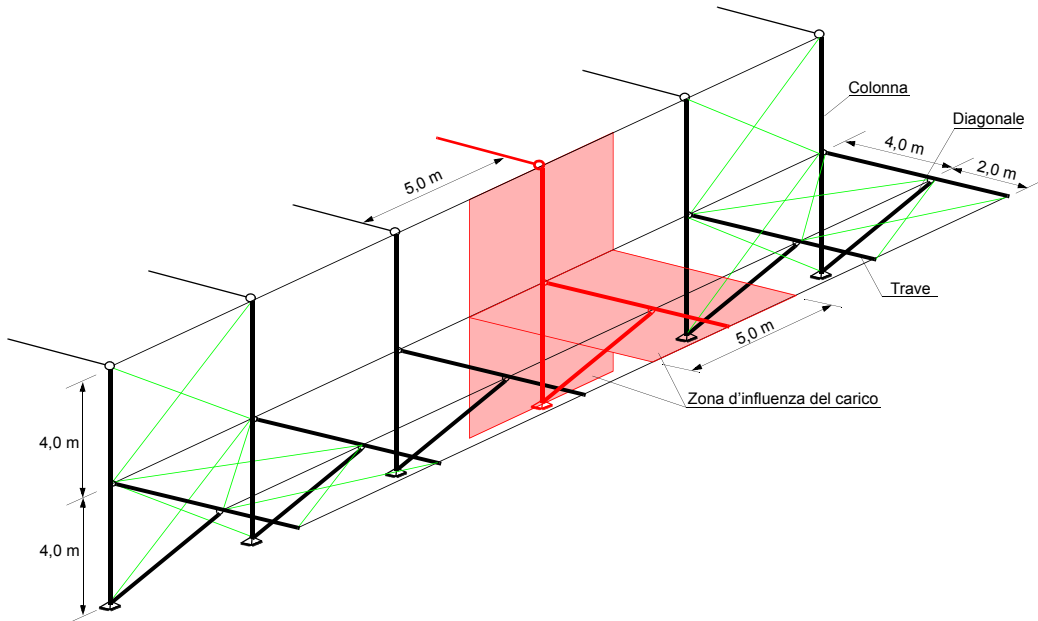
Esempi di calcolo

Andrea Bernasconi, Gerhard Schickhofer, Gianluigi Traetta

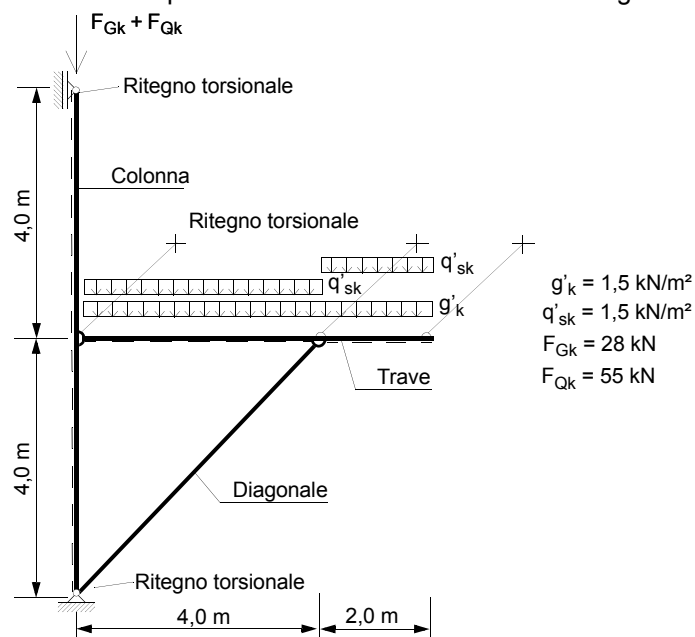


Tettoia dell'atrio di un impianto di produzione

La struttura di legno oggetto di questo esempio di calcolo è la tettoia dell'atrio di un impianto di produzione di seguito rappresentata. La vista assonometrica fornisce uno sguardo d'insieme, gli interassi del sistema portante principale e gli elementi di controventamento.



Nella seguente figura è riportato il sistema statico della struttura portante principale giacente nel piano verticale comprensivo delle azioni agenti su di esso (peso proprio g'_k , neve q'_{sk} per $h < 1000$ m s.l.m., forze concentrate provenienti dalla copertura dovute ai carichi permanenti F_{Gk} e variabili F_{Qk}), di tutte le dimensioni determinanti per il calcolo e delle denominazioni degli elementi costruttivi.



Ulteriori informazioni:

Materiale:

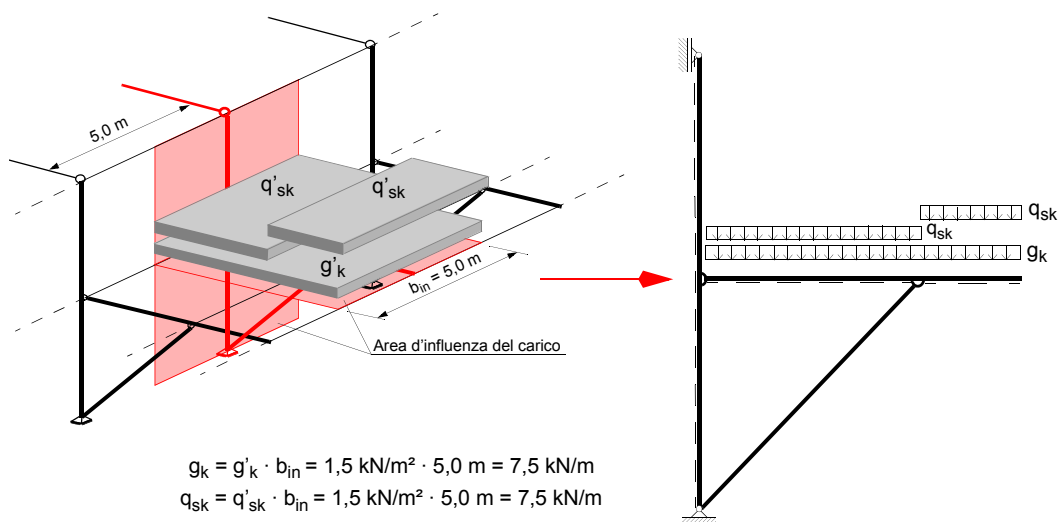
Colonna, diagonale, trave: legno lamellare incollato GL 24h $\rightarrow \gamma_M = 1,25$
Classe di servizio 2, classe di durata del carico "breve" (neve $h < 1000$ m s.l.m.) $\rightarrow k_{mod} = 0,90$

Dimensioni:

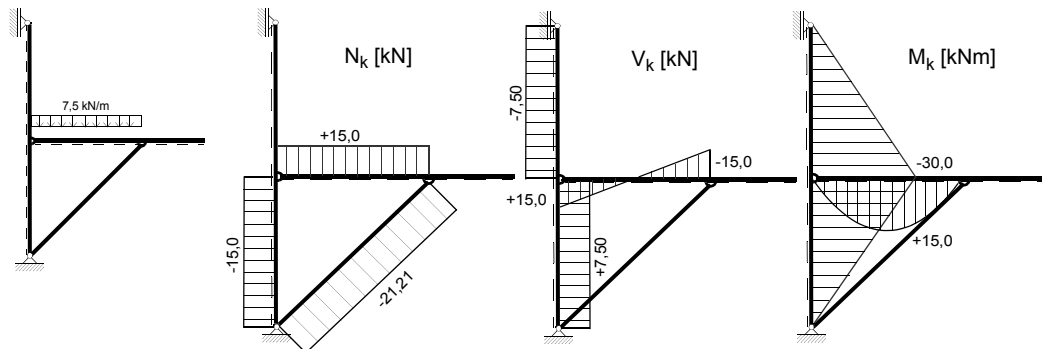
Colonna: $b/h = 180/660$ mm, costituita da un singolo elemento
Trave: $b/h = 2 \times 100/280$ mm, costituita da due elementi distanziati
Diagonale: $b/h = 180/180$ mm, costituito da un singolo elemento

Caratteristiche della sollecitazione relative alle azioni caratteristiche uniformemente ripartite:

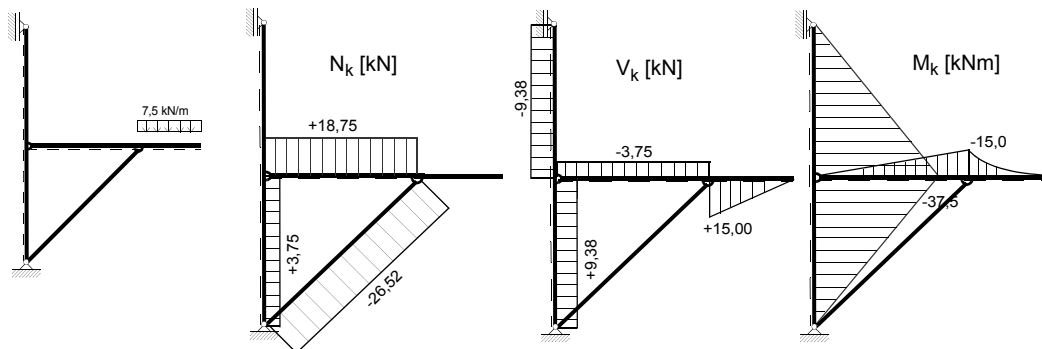
$g_k = q_{sk} = 7,5$ kN/m (conversione del carico di superficie ad un carico per metro lineare considerando una larghezza di influenza $b_{in} = 5,0$ m)



Condizione di carico 1:

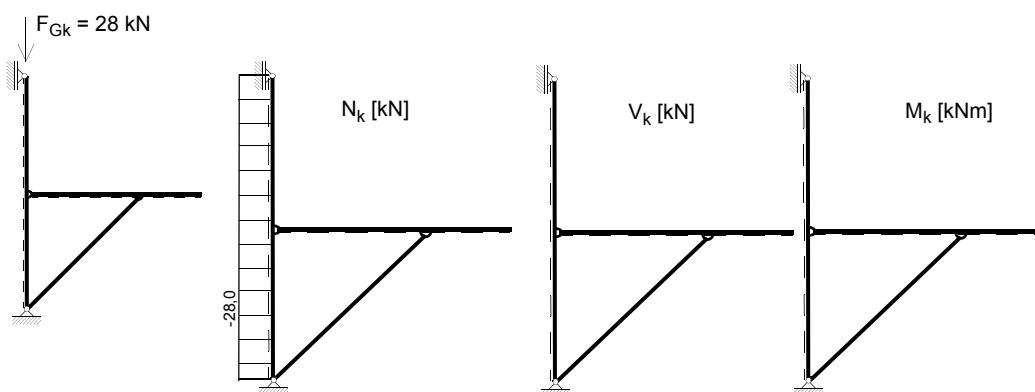


Condizione di carico 2:



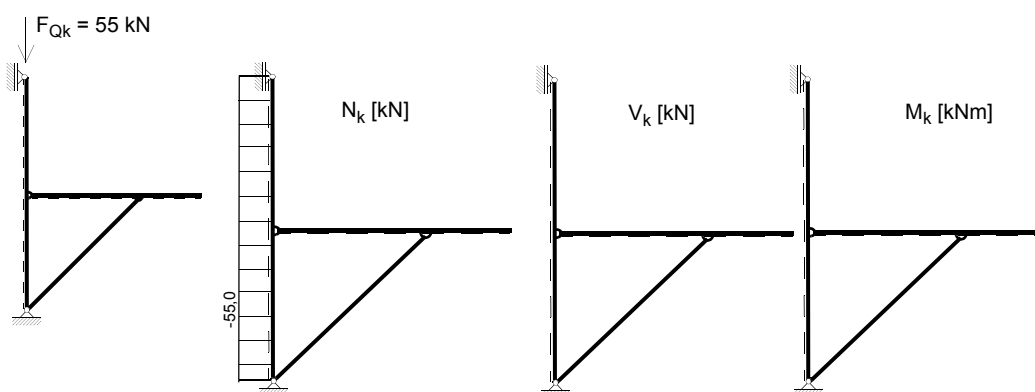
Caratteristiche della sollecitazione relative all'azione caratteristica concentrata dovuta ai carichi permanenti:

$F_{Gk} = 28 \text{ kN}$



Caratteristiche della sollecitazione relative all'azione caratteristica concentrata dovuta ai carichi variabili:

$F_{Qk} = 55 \text{ kN}$



Osservazione: le combinazioni di carico determinanti per il dimensionamento sono ricavate dalle condizioni di carico sopra definite.

Saranno svolti i seguenti punti:

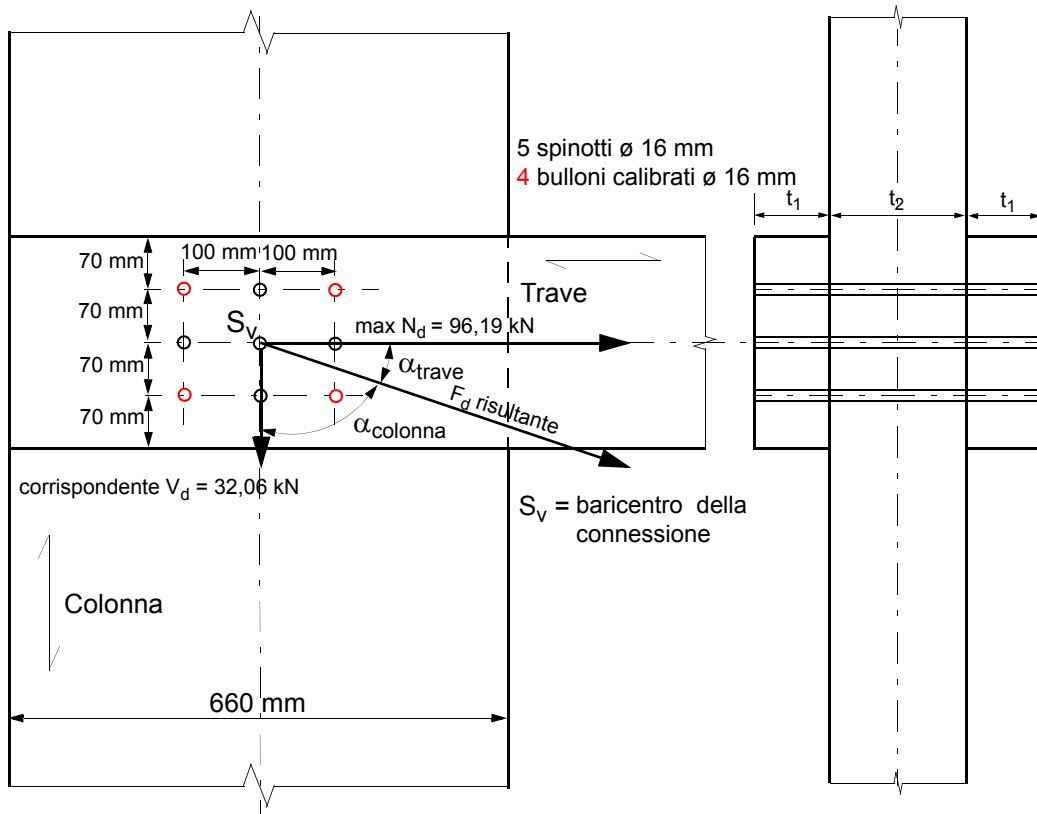
Verifiche agli stati limite ultimi:

- colonna:
 - compressione semplice;
 - flessione semplice;
 - pressoflessione;
 - taglio;
- diagonale:
 - pressoflessione;
 - incastro (nodo D);
 - variante della connessione nel nodo D con elementi meccanici di collegamento
- trave:
 - tensoflessione;
 - connessione trave-colonna (nodo B).

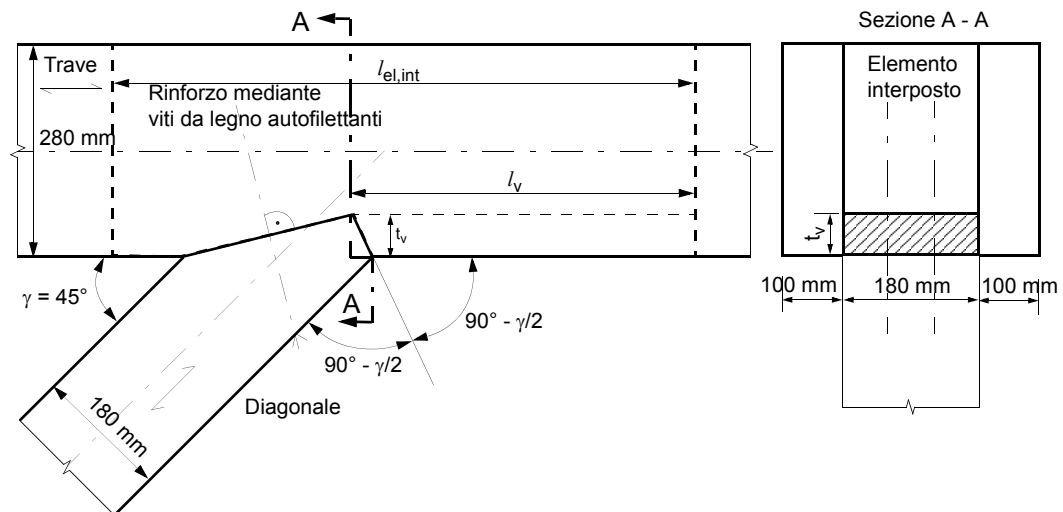
Verifiche agli stati limite di esercizio:

- colonna:
 - deformazione orizzontale in corrispondenza della connessione colonna-trave;
- trave:
 - freccia massima in campata.

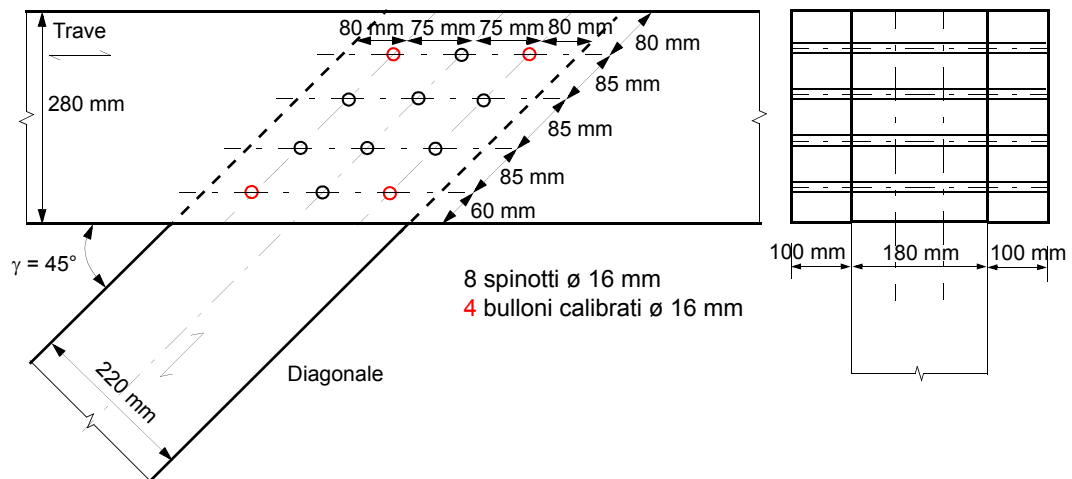
- Nodo B



- Nodo D – Variante 1 con connessione di carpenteria

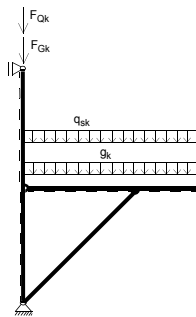


- Nodo D – Variante 2 con elementi meccanici di collegamento



1 Combinazioni di carico e caratteristiche della sollecitazione

1.1 Combinazione 1: carichi permanenti OVUNQUE – neve OVUNQUE



Colonna:

$$N_d(I) = 1,35 \cdot (-28,0) + 1,50 \cdot (-55,0) = -120,30 \text{ kN}$$

$$N_d(II) = 1,35 \cdot (-28,0 - 15,0 + 3,75) + 1,50 \cdot (-55,0 - 15,0 + 3,75) = -152,36 \text{ kN}$$

$$V_d = 1,35 \cdot (7,5 + 9,38) + 1,50 \cdot (7,5 + 9,38) = 48,11 \text{ kN}$$

$$M_d = 1,35 \cdot (-30,0 - 37,5) + 1,50 \cdot (-30,0 - 37,5) = -192,38 \text{ kNm}$$

Diagonale:

$$N_d = 1,35 \cdot (-21,21 - 26,52) + 1,50 \cdot (-21,21 - 26,52) = -136,03 \text{ kN}$$

Trave:

$$N_d = 1,35 \cdot (15,0 + 18,75) + 1,50 \cdot (15,0 + 18,75) = 96,19 \text{ kN}$$

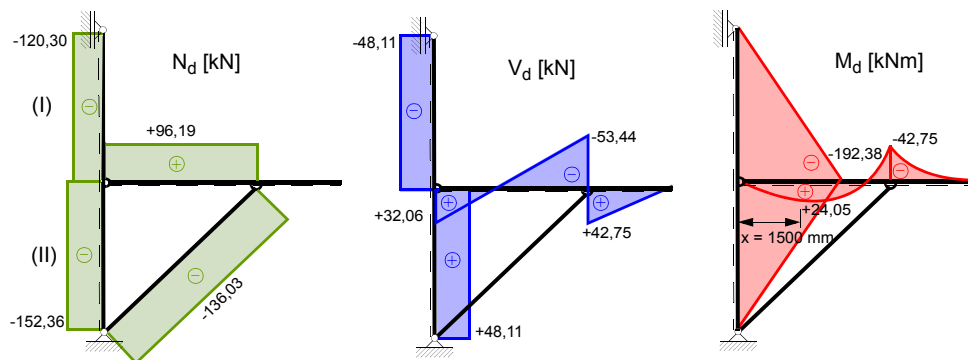
$$V_{d,B} = 1,35 \cdot (15,0 - 3,75) + 1,50 \cdot (15,0 - 3,75) = 32,06 \text{ kN}$$

$$V_{d,Dsi} = 1,35 \cdot (-15,0 - 3,75) + 1,50 \cdot (-15,0 - 3,75) = -53,44 \text{ kN}$$

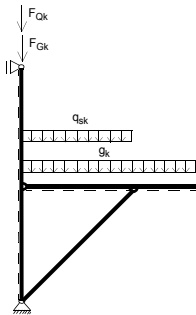
$$V_{d,Dde} = 1,35 \cdot (15,0) + 1,50 \cdot (15,0) = 42,75 \text{ kN}$$

$$M_{d,col} = 1,35 \cdot (-15,0) + 1,50 \cdot (-15,0) = -42,75 \text{ kNm}$$

$$\max M_{d,F} = 1,35 \cdot \left(\frac{(15,0 - 3,75)^2}{2 \cdot 7,5} \right) + 1,50 \cdot \left(\frac{(15,0 - 3,75)^2}{2 \cdot 7,5} \right) = 24,05 \text{ kNm}$$



1.2 Combinazione 2: carichi permanenti OVUNQUE – neve IN CAMPATA



Colonna:

$$N_d(I) = 1,35 \cdot (-28,0) + 1,50 \cdot (-55,0) = -120,30 \text{ kN}$$

$$N_d(II) = 1,35 \cdot (-28,0 - 15,0 + 3,75) + 1,50 \cdot (-55,0 - 15,0) = -157,99 \text{ kN}$$

$$V_d = 1,35 \cdot (7,5 + 9,38) + 1,50 \cdot (7,5) = 34,04 \text{ kN}$$

$$M_d = 1,35 \cdot (-30,0 - 37,5) + 1,50 \cdot (-30,0) = -136,13 \text{ kNm}$$

Diagonale:

$$N_d = 1,35 \cdot (-21,21 - 26,52) + 1,50 \cdot (-21,21) = -96,25 \text{ kN}$$

Trave:

$$N_d = 1,35 \cdot (15,0 + 18,75) + 1,50 \cdot (15,0) = 68,06 \text{ kN}$$

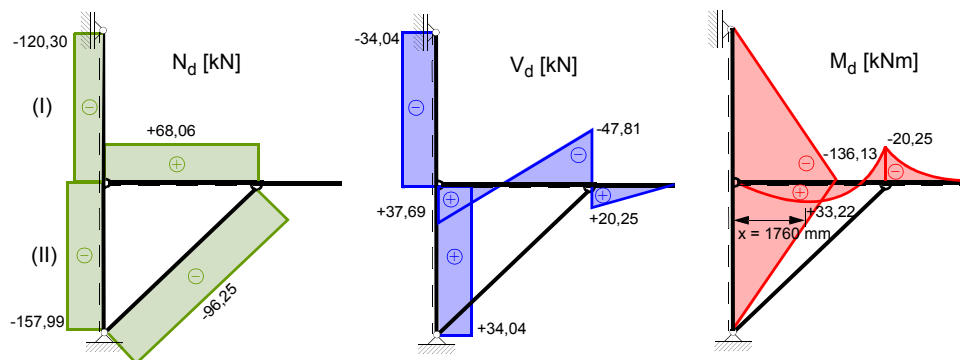
$$V_{d,B} = 1,35 \cdot (15,0 - 3,75) + 1,50 \cdot (15,0) = 37,69 \text{ kN}$$

$$V_{d,Dsi} = 1,35 \cdot (-15,0 - 3,75) + 1,50 \cdot (-15,0) = -47,81 \text{ kN}$$

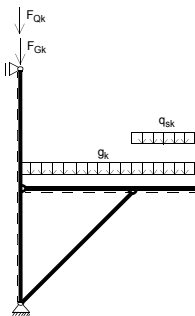
$$V_{d,Dde} = 1,35 \cdot (15,0) + 1,50 \cdot (0) = 20,25 \text{ kN}$$

$$M_{d,col} = 1,35 \cdot (-15,0) + 1,50 \cdot (0) = -20,25 \text{ kNm}$$

$$\max M_{d,F} = 37,69 \cdot 1,76 - (1,35 + 1,5) \cdot 7,5 \cdot \left(\frac{1,76^2}{2}\right) = 33,22 \text{ kNm}$$



1.3 Combinazione 3: carichi permanenti OVUNQUE – neve SULLO SBALZO



Colonna:

$$N_d(I) = 1,35 \cdot (-28,0) + 1,50 \cdot (-55,0) = -120,30 \text{ kN}$$

$$N_d(II) = 1,35 \cdot (-28,0 - 15,0 + 3,75) + 1,50 \cdot (-55,0 + 3,75) = -129,86 \text{ kN}$$

$$V_d = 1,35 \cdot (7,5 + 9,38) + 1,50 \cdot (9,38) = 36,86 \text{ kN}$$

$$M_d = 1,35 \cdot (-30,0 - 37,5) + 1,50 \cdot (-37,5) = -147,38 \text{ kNm}$$

Diagonale:

$$N_d = 1,35 \cdot (-21,21 - 26,52) + 1,50 \cdot (-26,52) = -104,22 \text{ kN}$$

Trave:

$$N_d = 1,35 \cdot (15,0 + 18,75) + 1,50 \cdot (18,75) = 73,69 \text{ kN}$$

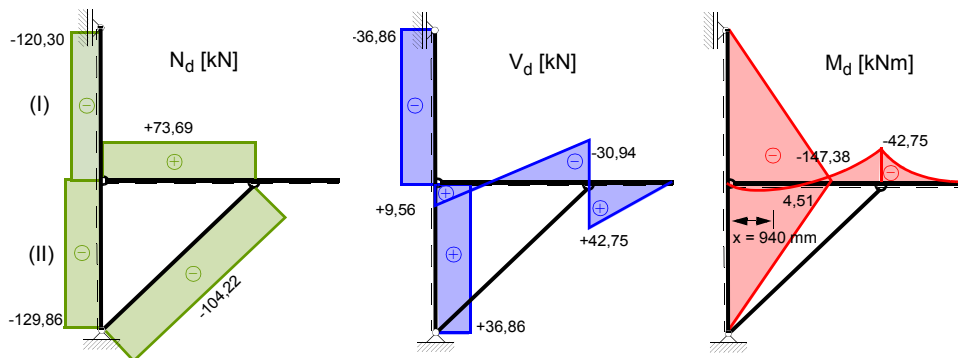
$$V_{d,B} = 1,35 \cdot (15,0 - 3,75) + 1,50 \cdot (-3,75) = 9,56 \text{ kN}$$

$$V_{d,Dsi} = 1,35 \cdot (-15,0 - 3,75) + 1,50 \cdot (-3,75) = -30,94 \text{ kN}$$

$$V_{d,Dde} = 1,35 \cdot (15,0) + 1,50 \cdot (15,0) = 42,75 \text{ kN}$$

$$M_{d,col} = 1,35 \cdot (-15,0) + 1,50 \cdot (-15,0) = -42,75 \text{ kNm}$$

$$M_d = 9,56 \cdot 0,94 - 1,35 \cdot 7,5 \cdot \frac{0,94^2}{2} = 4,51 \text{ kNm}$$



2 Proprietà del materiale

Classe di servizio 2

Classe di durate del carico "breve" (neve < 1000 m s.l.m.)

Materiale: legno lamellare incollato GL 24h

$$\left. \begin{array}{l} \gamma_M = 1,25 \\ k_{mod} = 0,90 \end{array} \right\}$$

Valori di calcolo:

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,90 \cdot 24,0}{1,25} = 17,3 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{t,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,90 \cdot 16,5}{1,25} = 11,9 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,90 \cdot 24,0}{1,25} = 17,3 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,90,k}}{\gamma_M} = \frac{0,90 \cdot 2,7}{1,25} = 1,9 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,90 \cdot 2,7}{1,25} = 1,94 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,mean} = 11600 \text{ N/mm}^2 \quad E_{0,05} = \frac{5}{6} \cdot E_{mean} = \frac{5}{6} \cdot 11600 = 9667 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{mean} = 720 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$$

3 Verifiche agli stati limite ultimi

3.1 Verifica della colonna

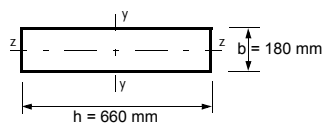
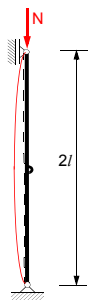
3.1.1 Caratteristiche geometriche della sezione

$$A = b \cdot h = 180 \cdot 660 = 1,19 \cdot 10^5 \text{ mm}^2$$

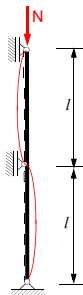
$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{180 \cdot 660^2}{6} = 1,31 \cdot 10^7 \text{ mm}^3 \quad W_z = \frac{h \cdot b^2}{6} = \frac{660 \cdot 180^2}{6} = 3,56 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{180 \cdot 660^3}{12} = 4,31 \cdot 10^9 \text{ mm}^4 \quad I_z = \frac{h \cdot b^3}{12} = \frac{660 \cdot 180^3}{12} = 3,21 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{4,31 \cdot 10^9}{1,19 \cdot 10^5}} = 190 \text{ mm} \quad i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{3,21 \cdot 10^8}{1,19 \cdot 10^5}} = 52 \text{ mm}$$

3. 1. 2 Verifica a compressione semplice – Carico di puntaLunghezza libera di inflessione $l_{k,y}$:

$$l_{k,y} = 2l = 2 \cdot 4000 = 8000 \text{ mm}$$

Lunghezza libera di inflessione $l_{k,z}$:

$$l_{k,z} = l = 4000 \text{ mm}$$

Sbandamento secondo l'asse y-y:

$$\lambda_y = \frac{l_{k,y}}{i_y} = \frac{8000}{190} = 42$$

Sbandamento secondo l'asse z-z:

$$\lambda_z = \frac{l_{k,z}}{i_z} = \frac{4000}{52} = 77 \text{ ... determinante}$$

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{77}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24,0}{9667}} = 1,22$$

$$k = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (1,22 - 0,3) + 1,22^2] = 1,29$$

$\beta_c = 0,1$ per legno lamellare

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{1,29 + \sqrt{1,29^2 - 1,22^2}} = 0,59$$

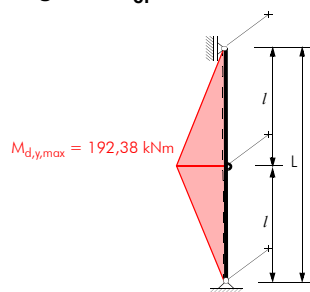
Verifica: $N_d = |N_{d,max}| = 157,99 \text{ kN}$

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_c \cdot f_{c,0,d}$$

$$\frac{N_d}{A} = \frac{157,99 \cdot 10^3}{1,19 \cdot 10^5} = 1,33 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < k_c \cdot f_{c,0,d} = 0,59 \cdot 17,3 = 10,21 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

3. 1. 3 Verifica a flessione semplice – Svergolamento

Lunghezza l_{ef} :



Distanza dei ritegni torsionali: $a = a_{max} = 4000 \text{ mm}$
Introduzione del carico nel baricentro

→ Lunghezza l_{ef} :

$$l_{ef} = 4000 \text{ mm}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi}{l_{ef}} \cdot \frac{b^2}{h} \cdot E_{0,05} \cdot \sqrt{\frac{G_{mean}}{E_{0,mean}}} = \frac{\pi}{4000} \cdot \frac{180^2}{660} \cdot 9667 \cdot \sqrt{\frac{720}{11600}} = 93,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24,0}{93,0}} = 0,50$$

$$\lambda_{rel,m} \leq 0,75 \rightarrow k_{crit} = 1,0$$

Osservazione: $b/h = 180 : 660 = 1 : 3,67 \rightarrow$ nessun rischio di svergolamento

Verifica: $M_d = |M_{d,max}| = 192,38 \text{ kNm}$

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d}$$

$$\frac{M_d}{W_y} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d} \quad \frac{192,38 \cdot 10^6}{1,31 \cdot 10^7} = 14,69 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 1,0 \cdot 17,3 = 17,3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

3. 1. 4 Verifica a pressoflessione – Carico di punta e svergolamento

Verifica: $M_d = |M_{d,max}| = 192,38 \text{ kNm}$
 $N_d = |N_d \text{ corrispondente}| = 152,06 \text{ kN}$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \leq 1$$

$$\frac{\frac{N_d}{A}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\frac{M_d}{W_y}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \leq 1 \quad \frac{152,06 \cdot 10^3}{1,19 \cdot 10^5} + \frac{192,38 \cdot 10^6}{1,0 \cdot 17,3} = 0,12 + 0,85 = 0,97 < 1$$

3. 1. 5 Verifica a taglio

Verifica: $V_d = |V_{d,max}| = 48,11 \text{ kN}$

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$1,5 \cdot \frac{V_d}{A} \leq f_{v,d} \quad 1,5 \cdot \frac{48,11 \cdot 10^3}{1,19 \cdot 10^5} = 0,61 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 1,94 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

3. 2 Verifica del diagonale – Variante 1

3. 2. 1 Caratteristiche geometriche della sezione

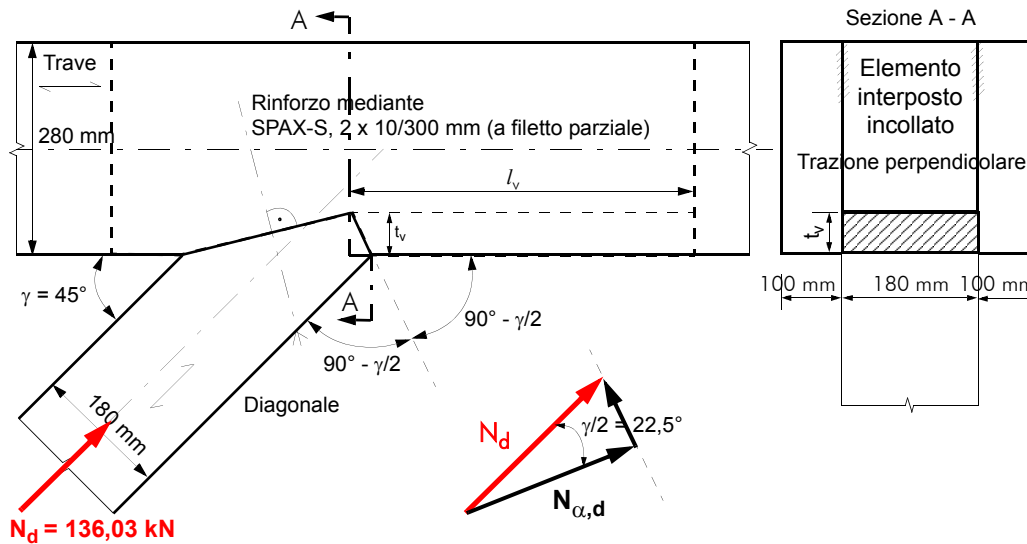
$$A = b \cdot h = 180 \cdot 180 = 3,24 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$W_y = W_z = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{180 \cdot 180^2}{6} = 9,72 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$I_y = I_z = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{180 \cdot 180^3}{12} = 8,75 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$i_y = i_z = \sqrt{\frac{I_{y(z)}}{A}} = \sqrt{\frac{8,75 \cdot 10^7}{3,24 \cdot 10^4}} = 52 \text{ mm}$$

3. 2. 2 Verifica tensionale della testa dell'incastro



$$N_d = 136,03 \text{ kN}$$

$$N_{\alpha,d} = N_d \cdot \cos\left(\frac{\gamma}{2}\right) = 136,03 \cdot \cos\left(\frac{45^\circ}{2}\right) = 125,68 \text{ kN}$$

Profondità del dente:

$$t_v \leq \frac{h}{4} = \frac{280}{4} \leq 70 \text{ mm}$$

$$\text{scelto: } t_v = 70 \text{ mm}$$

Area di testa:

$$A_1 = b \cdot \frac{t_v}{\cos\frac{\gamma}{2}} = 180 \cdot \frac{70}{\cos\left(\frac{45^\circ}{2}\right)} = 1,36 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

Verifica:

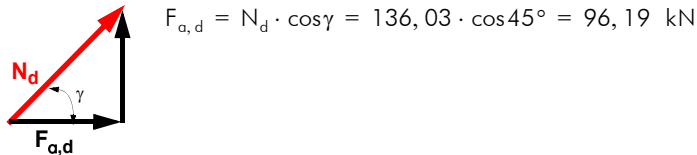
$$f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{\left(\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} \cdot \left(\sin\frac{\gamma}{2}\right)^2 + \left(\cos\frac{\gamma}{2}\right)^2\right)} \quad k_{c,90} = 1,50 \longrightarrow \text{Sono ammesse deformazioni maggiori ortogonali alla fibrazione}$$

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{17,3}{\left(\frac{17,3}{1,50 \cdot 1,94} \cdot \left(\sin\frac{45^\circ}{2}\right)^2 + \left(\cos\frac{45^\circ}{2}\right)^2\right)} = 10,03 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq f_{c,\alpha,d}$$

$$\frac{N_{\alpha,d}}{A_1} = \frac{125,68 \cdot 10^3}{1,36 \cdot 10^4} = 9,24 \text{ N/mm}^2 < f_{c,\alpha,d} = 10,03 \text{ N/mm}^2$$

3. 2. 3 Verifica a taglio del tacco



Caratteristiche geometriche del tacco:

$$l_{v,\min} = 200 \text{ mm}$$

$$l_{v,\max} \leq 8 \cdot t_v = 8 \cdot 70 = 560 \text{ mm}$$

$$\frac{F_{a,d}}{b \cdot l_v} \leq 0,7 \cdot f_{v,d} \rightarrow l_{v,\text{erf}} = \frac{F_{a,d}}{0,7 \cdot f_{v,d} \cdot b} = \frac{96,19 \cdot 10^3}{0,7 \cdot 1,94 \cdot 180} = 393 \text{ mm}$$

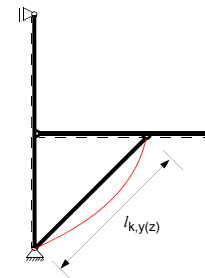
scelto: $l_v = 400 \text{ mm}$

Verifica:

$$\frac{96,19 \cdot 10^3}{180 \cdot 400} = 1,34 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < 0,7 \cdot 1,94 = 1,36 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

3. 2. 4 Verifica a pressoflessione del diagonale

Lunghezza libera d'inflessione $l_{k,y(z)}$: $l_{k,y} = l_{k,z} = 4000 \cdot \sqrt{2} = 5657 \text{ mm}$



Sbandamento secondo l'asse y-y (z-z): $\lambda_{y(z)} = \frac{l_{k,y(z)}}{i_{y(z)}} = \frac{5657}{52} = 109$

$$\sigma_{c,\text{crit},z} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05}}{\lambda_{y(z)}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 9667}{109^2} = 8,03 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\lambda_{\text{rel}} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,\text{crit},z}}} = \sqrt{\frac{24,0}{8,03}} = 1,73$$

$$k = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{\text{rel}} - 0,5) + \lambda_{\text{rel}}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (1,73 - 0,5) + 1,73^2] = 2,06$$

$\beta_c = 0,1$ per legno lamellare

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{\text{rel}}^2}} = \frac{1}{2,06 + \sqrt{2,06^2 - 1,73^2}} = 0,31$$

Lunghezza l_{ef} :

Distanza dei ritegni torsionali: $a = a_{max} = 5657$ mm

→ Lunghezza l_{ef} :

$$l_{ef} = 5657 \text{ mm}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi}{l_{ef}} \cdot \frac{b^2}{h} \cdot E_{0,05} \cdot \sqrt{\frac{G_{mean}}{E_{0,mean}}} = \frac{\pi}{5657} \cdot \frac{180^2}{180} \cdot 9667 \cdot \sqrt{\frac{720}{11600}} = 240,7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

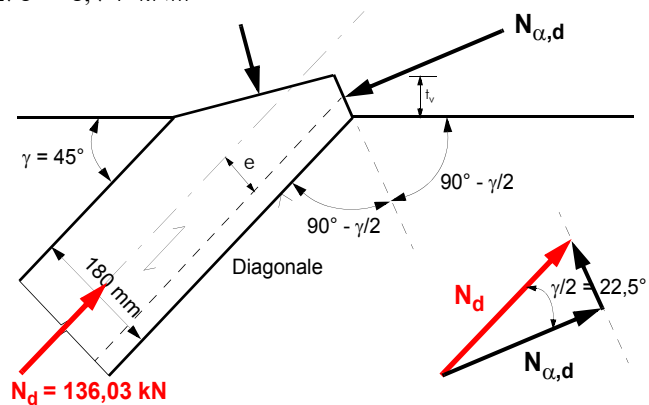
$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24,0}{240,7}} = 0,31$$

$$\lambda_{rel,m} \leq 0,75 \rightarrow k_{crit} = 1,0$$

Verifica: $N_d = |N_{d,max}| = 136,03$ kN

$$M_{e,d} = N_d \cdot e/2 = 136,03 \cdot 0,0275 = 3,74$$
 kNm

$$e/2 = \frac{\left(\frac{h}{2}\right) - \left(\frac{t_v}{2}\right)}{2} = \frac{\left(\frac{180}{2}\right) - \left(\frac{70}{2}\right)}{2} = 27,5 \text{ mm}$$



Osservazione:

Poichè la verifica combinata a pressoflessione viene effettuata nella mezzeria del diagonale, si considera un'eccentricità pari a $e/2$.

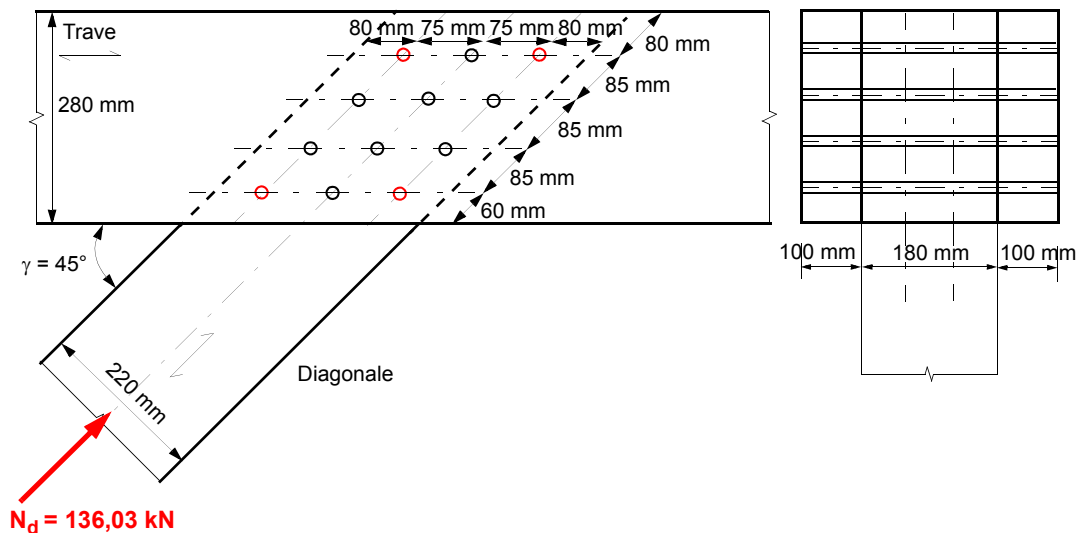
$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \leq 1$$

$$\frac{\frac{N_d}{A}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\frac{M_{e,d}}{W_y}}{k_{crit} \cdot f_{m,d} \cdot k_h} \leq 1 \quad \frac{136,03 \cdot 10^3}{3,24 \cdot 10^4} + \frac{3,74 \cdot 10^6}{9,72 \cdot 10^5} = 0,78 + 0,20 = 0,98 < 1$$

3.3 Verifica del diagonale – Variante 2

Questa variante, a differenza della precedente, presenta la realizzazione del nodo D mediante elementi meccanici (spinotti). Per poter rispettare le spazature minime previste da normativa, è stato necessario aumentare l'altezza del diagonale da 180 mm a 220 mm. Disponendo per questa variante di una sezione maggiore ed avendo contestualmente eliminato anche l'eccentricità dello sforzo di compressione, poichè rimangono invariate le altre condizioni geometriche e di vincolo, le verifiche di resistenza e stabilità risultano implicitamente soddisfatte.

3.3.1 Verifica della connessione nel nodo D



Spaziature minime dei mezzi di unione per la trave: Spinotti S 235, $d = 16$ mm:

$$f_{u,k} = 360 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} \alpha &= 45^\circ & a_1 &= 75 \text{ mm} \geq (3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d = (3 + 2 \cdot \cos 45^\circ) \cdot 16 = 70,6 \text{ mm} \\ & & a_2 &= 70 \text{ mm} \geq 3 \cdot d = 3 \cdot 16 = 48 \text{ mm} \\ & & a_{4,i} &= 57 \text{ mm} \geq \max((2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 3 \cdot d) = (2 + 2 \cdot \sin 45^\circ) \cdot 16 = 54,6 \text{ mm} \\ & & a_{4,c} &= 50 \text{ mm} \geq 3 \cdot d = 3 \cdot 16 = 48 \text{ mm} \end{aligned}$$

Spaziature minime dei mezzi di unione per il diagonale:

$$\begin{aligned} \alpha &= 0^\circ & a_1 &= 85 \text{ mm} \geq (3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d = (3 + 2 \cdot \cos 0^\circ) \cdot 16 = 80 \text{ mm} \\ & & a_2 &= 53 \text{ mm} \geq 3 \cdot d = 3 \cdot 16 = 48 \text{ mm} \\ & & a_{3,c} &= 80 \text{ mm} \geq 3 \cdot d = 3 \cdot 16 = 48 \text{ mm} \\ & & a_{4,i} &= 56 \text{ mm} \geq \max((2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 3 \cdot d) = 3 \cdot 16 = 48 \text{ mm} \\ & & a_{4,c} &= 56 \text{ mm} \geq 3 \cdot d = 3 \cdot 16 = 48 \text{ mm} \end{aligned}$$

Resistenza a rifollamento:

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 380 = 26,2 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot (\sin \alpha)^2 + (\cos \alpha)^2}$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 16 = 1,59 \quad \text{per legno di Conifere}$$

1) per la trave:

$$f_{h,1,\alpha,k} = \frac{26,2}{1,59 \cdot (\sin 45^\circ)^2 + (\cos 45^\circ)^2} = 20,2 \text{ N/mm}^2$$

2) per il diagonale:

$$f_{h,2,\alpha,k} = f_{h,2,k} = 26,2 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta = \frac{f_{h,2,\alpha,k}}{f_{h,1,\alpha,k}} = \frac{26,2}{20,2} = 1,30$$

Momento di snervamento:

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 360 \cdot 16^{2,6} = 145927 \text{ Nmm}$$

$$R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d \\ 0,5 \cdot f_{h,2,\alpha,k} \cdot t_2 \cdot d \\ 1,10 \cdot \frac{f_{h,1,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,k}}{f_{h,1,\alpha,k} \cdot t_1^2 \cdot d}} - \beta \right] + \Delta R_d \\ 1,15 \cdot \frac{\sqrt{2 \cdot \beta}}{\sqrt{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,d} \cdot f_{h,1,\alpha,k} \cdot d} + \Delta R_d \end{array} \right\}$$

$$R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} 20,2 \cdot 100 \cdot 16 \\ 0,5 \cdot 26,2 \cdot 180 \cdot 16 \\ 1,10 \cdot \frac{20,2 \cdot 100 \cdot 16}{2 + 1,30} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot 1,30 \cdot (1 + 1,30) + \frac{4 \cdot 0,69 \cdot (2 + 1,30) \cdot 145927}{20,2 \cdot 100^2 \cdot 16}} - 1,30 \right] \\ 1,15 \cdot \frac{\sqrt{2 \cdot 1,30}}{\sqrt{1 + 1,30}} \cdot \sqrt{2 \cdot 145927 \cdot 20,2 \cdot 16} \end{array} \right\}$$

$$R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} 32339 \\ 37691 \\ 20525 \\ 11869 \end{array} \right\} = 11869 \text{ N}$$

Numero efficace di mezzi di unione n_{ef} per la trave:

$$\alpha_{trave} = 45^\circ$$

$$a_1 = 75 \text{ mm}$$

$$n_{ef} = \left[n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} \right] \cdot \frac{90 - \alpha_{trave}}{90} + n \cdot \frac{\alpha_{trave}}{90}$$

$$n_{ef} = \left[3^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{75}{13 \cdot 16}} \right] \cdot \frac{90 - 45^\circ}{90} + 3 \cdot \frac{45^\circ}{90} = 2,54$$

Numero efficace di mezzi di unione n_{ef} per il diagonale:

$$\alpha_{diagonale} = 0^\circ$$

$$a_1 = 80 \text{ mm}$$

$$n_{ef} = \left[n^{0,9} \cdot 4 \sqrt{\frac{a_1}{13 \cdot d}} \right] \cdot \frac{90 - \alpha_{colonna}}{90} + n \cdot \frac{\alpha_{colonna}}{90}$$

$$n_{ef} = \left[4^{0,9} \cdot 4 \sqrt{\frac{80}{13 \cdot 16}} \right] \cdot \frac{90 - 0^\circ}{90} + 3 \cdot \frac{0^\circ}{90} = 2,78$$

Determinazione della resistenza di calcolo $R_{d,totale}$ per la trave:

$$\text{Resistenza caratteristica per singolo spinotto e sezione resistente: } R_k = 11869 \text{ N}$$

$$\text{Resistenza caratteristica per fila: } R_{k,fil a} = 2 \cdot R_k \cdot n_{ef} = 2 \cdot 11869 \cdot 2,54 = 60327 \text{ N}$$

$$\text{Resistenza caratteristica della connessione: } R_{k,trave} = 4 \cdot R_{k,fil a} = 4 \cdot 60327 = 241307 \text{ N}$$

$$R_{d,totale} = \frac{k_{mod} \cdot R_{k,trave}}{\gamma_M} = \frac{0,90 \cdot 241307}{1,3} = 166799 \text{ N/mm}^2$$

Determinazione della resistenza di calcolo $R_{d,totale}$ per il diagonale:

$$\text{Resistenza caratteristica per singolo spinotto e sezione resistente: } R_k = 11869 \text{ N}$$

$$\text{Resistenza caratteristica per fila: } R_{k,fil a} = 2 \cdot R_k \cdot n_{ef} = 4 \cdot 11161 \cdot 2,78 = 66088 \text{ N}$$

$$\text{Resistenza caratteristica della connessione: } R_{k,diagonale} = 3 \cdot R_{k,fil a} = 3 \cdot 66088 = 198265 \text{ N}$$

$$R_{d,totale} = \frac{k_{mod} \cdot R_{k,diagonale}}{\gamma_M} = \frac{0,90 \cdot 198265}{1,3} = 137261 \text{ N/mm}^2$$

Verifica della connessione: $F_d = \max N_d = 101,40 \text{ kN}$

$$R_{d,totale} = \min \left\{ \begin{array}{l} R_{d,trave} \\ R_{d,diagonale} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 166799 \text{ N} \\ 137261 \text{ N} \end{array} \right\} = 137261 \text{ N}$$

$$\frac{F_d}{R_{d,totale}} \leq 1 \quad \frac{136,03 \cdot 10^3}{137261} = 0,99 < 1$$

3.4 Verifica della trave**3.4.1 Caratteristiche geometriche della sezione**

$$A = 2 \cdot b \cdot h = 2 \cdot 100 \cdot 280 = 5,60 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$W_y = 2 \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} = 2 \cdot \frac{100 \cdot 280^2}{6} = 2,61 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$I_y = 2 \cdot \frac{b \cdot h^3}{12} = 2 \cdot \frac{100 \cdot 280^3}{12} = 3,66 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

3. 4. 2 Verifica a tensoflessione

1) $N_d = |N_{d,max}| = 96,19 \text{ kN}$

corrispondente $M_d = 24,05 \text{ kNm}$

$$e = \frac{x}{l} \cdot \left[\left(\frac{h}{2} \right) - \left(\frac{t_v}{2} \right) \right] = \frac{1500}{4000} \cdot \left[\left(\frac{280}{2} \right) - \left(\frac{70}{2} \right) \right] = 39,4 \text{ mm}$$

(Eccentricità in corrispondenza del momento massimo in campata)

$$M_{e,d} = N_d \cdot e = 96,19 \cdot 0,0394 = 3,79 \text{ kNm}$$

Verifica:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\frac{N_d}{A} + \frac{M_{totale,d}}{W_y} = \frac{96,19 \cdot 10^3}{5,60 \cdot 10^4} + \frac{(24,05 + 3,79) \cdot 10^6}{2,61 \cdot 10^6} = 0,14 + 0,56 = 0,70 < 1$$

2) $M_d = |M_{d,max}| = 33,89 \text{ kNm}$

corrispondente $N_d = 68,06 \text{ kN}$

$$e = \frac{x}{l} \cdot \left[\left(\frac{h}{2} \right) - \left(\frac{t_v}{2} \right) \right] = \frac{1760}{4000} \cdot \left[\left(\frac{280}{2} \right) - \left(\frac{70}{2} \right) \right] = 46,2 \text{ mm}$$

$$M_{e,d} = N_d \cdot e = 68,06 \cdot 0,0462 = 3,14 \text{ kNm}$$

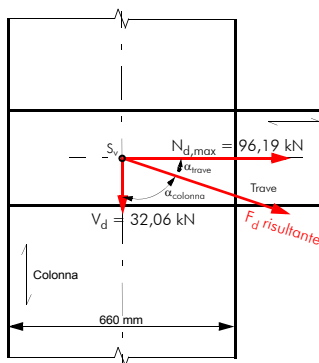
Verifica:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\frac{N_d}{A} + \frac{M_{totale,d}}{W_y} = \frac{68,06 \cdot 10^3}{5,60 \cdot 10^4} + \frac{(33,22 + 3,14) \cdot 10^6}{2,61 \cdot 10^6} = 0,10 + 0,73 = 0,83 < 1$$

3) $M_{d,St} = |M_{d,St,max}| = 42,75 \text{ kNm}$ senza verifica

corrispondente $N_d = 0,0 \text{ kN}$

3. 4. 3 Verifica della connessione nel nodo B

$N_d = N_{d,max} = 96,19 \text{ kN}$

$V_d = \text{corrispondente } V_d = 32,06 \text{ kN}$

$$F_d = \sqrt{N_{d,max}^2 + V_d^2} = \sqrt{96,19^2 + 32,06^2} = 101,4 \text{ kN}$$

Angolo tra la risultante F_d e la direzione della fibratura della trave:

$$\alpha_{trave} = \arctan\left(\frac{V_d}{N_{d,max}}\right) = \arctan\left(\frac{32,06}{96,19}\right) = 18,43^\circ$$

Angolo tra la risultante F_d e la dir. della fibratura della colonna:

$$\alpha_{colonna} = \arctan\left(\frac{N_{d,max}}{V_d}\right) = \arctan\left(\frac{96,19}{32,06}\right) = 71,57^\circ$$

Spaziature minime dei mezzi di unione per la trave: Spinotti S 235, $d = 16$ mm:

$$f_{u,k} = 360 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$$

$$\alpha = 18,43^\circ \quad a_1 = 100 \text{ mm} \geq (3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d = (3 + 2 \cdot \cos 18,43^\circ) \cdot 16 = 78,4 \text{ mm}$$

$$a_2 = 70 \text{ mm} \geq 3 \cdot d = 3 \cdot 16 = 48 \text{ mm}$$

$$a_{3,i} = 230 \text{ mm} \geq \max(7 \cdot d; 80 \text{ mm}) = 112 \text{ mm}$$

$$a_{4,i} = 70 \text{ mm} \geq \max((2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 3 \cdot d) = 3 \cdot 16 = 48 \text{ mm}$$

$$a_{4,c} = 70 \text{ mm} \geq 3 \cdot d = 3 \cdot 16 = 48 \text{ mm}$$

Spaziature minime dei mezzi di unione per la colonna:

$$\alpha = 71,57^\circ \quad a_1 = 70 \text{ mm} \geq (3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d = (3 + 2 \cdot \cos 71,57^\circ) \cdot 16 = 58,1 \text{ mm}$$

$$a_2 = 100 \text{ mm} \geq 3 \cdot d = 3 \cdot 16 = 48 \text{ mm}$$

$$a_{4,i} = 230 \text{ mm} \geq \max((2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d; 3 \cdot d) = 3,9 \cdot 16 = 62 \text{ mm}$$

$$a_{4,c} = 230 \text{ mm} \geq 3 \cdot d = 3 \cdot 16 = 48 \text{ mm}$$

Resistenza a rifollamento:

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 16) \cdot 380 = 26,2 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot (\sin \alpha)^2 + (\cos \alpha)^2}$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 16 = 1,59 \quad \text{per legno di Conifere}$$

1) per la trave:

$$f_{h,1,\alpha,k} = \frac{26,2}{1,59 \cdot (\sin 18,43^\circ)^2 + (\cos 18,43^\circ)^2} = 24,7 \text{ N/mm}^2$$

2) per la colonna:

$$f_{h,2,\alpha,k} = \frac{26,2}{1,59 \cdot (\sin 71,57^\circ)^2 + (\cos 71,57^\circ)^2} = 17,1 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta = \frac{f_{h,2,\alpha,k}}{f_{h,1,\alpha,k}} = \frac{17,1}{24,7} = 0,69$$

Momento di snervamento:

$$M_{y,k} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 360 \cdot 16^{2,6} = 145927 \text{ Nmm}$$

$$R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{f_{h,1,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d}{0,5 \cdot f_{h,2,\alpha,k} \cdot t_2 \cdot d} \\ 1,10 \cdot \frac{f_{h,1,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,k}}{f_{h,1,\alpha,k} \cdot t_1^2 \cdot d}} - \beta \right] + \Delta R_d \\ 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,d} \cdot f_{h,1,\alpha,k} \cdot d} + \Delta R_d \end{array} \right\}$$

$$R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{24,7 \cdot 100 \cdot 16}{0,5 \cdot 17,1 \cdot 180 \cdot 16} \\ 1,10 \cdot \frac{24,7 \cdot 100 \cdot 16}{2 + 0,69} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot 0,69 \cdot (1 + 0,69) + \frac{4 \cdot 0,69 \cdot (2 + 0,69) \cdot 145927}{24,7 \cdot 100^2 \cdot 16}} - 0,69 \right] \\ 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0,69}{1 + 0,69}} \cdot \sqrt{2 \cdot 145927 \cdot 24,7 \cdot 16} \end{array} \right\}$$

$$R_k = \min \left\{ \begin{array}{l} 39520 \\ 24624 \\ 14939 \\ 11161 \end{array} \right\} = 11160 \text{ N}$$

Numero efficace di mezzi di unione n_{ef} per la trave:

$$\alpha_{trave} = 18,43^\circ$$

$$a_1 = 100 \text{ mm}$$

$$n_{ef} = \left[n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} \right] \cdot \frac{90 - \alpha_{trave}}{90} + n \cdot \frac{\alpha_{trave}}{90}$$

$$n_{ef} = \left[3^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{100}{13 \cdot 16}} \right] \cdot \frac{90 - 18,43^\circ}{90} + 3 \cdot \frac{18,43^\circ}{90} = 2,39$$

Numero efficace di mezzi di unione n_{ef} per la colonna:

$$\alpha_{colonna} = 71,57^\circ$$

$$a_1 = 70 \text{ mm}$$

$$n_{ef} = \left[n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} \right] \cdot \frac{90 - \alpha_{colonna}}{90} + n \cdot \frac{\alpha_{colonna}}{90}$$

$$n_{ef} = \left[3^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{70}{13 \cdot 16}} \right] \cdot \frac{90 - 71,57^\circ}{90} + 3 \cdot \frac{71,57^\circ}{90} = 2,80$$

Determinazione della resistenza di calcolo $R_{d,totale}$ per la trave:

Resistenza caratteristica per singolo spinotto e sezione resistente: $R_k = 11161 \text{ N}$

Resistenza caratteristica per fila: $R_{k,filo} = 2 \cdot R_k \cdot n_{ef} = 2 \cdot 11161 \cdot 2,39 = 53348 \text{ N}$

Resistenza caratteristica della connessione: $R_{k,trave} = 3 \cdot R_{k,filo} = 3 \cdot 53348 = 160045 \text{ N}$

$$R_{d,totale} = \frac{k_{mod} \cdot R_{k,trave}}{\gamma_M} = \frac{0,90 \cdot 160045}{1,3} = 110801 \text{ N/mm}^2$$

Determinazione della resistenza di calcolo $R_{d,totale}$ per la colonna:

Resistenza caratteristica per singolo spinotto e sezione resistente: $R_k = 11161 \text{ N}$

Resistenza caratteristica per fila: $R_{k, \text{fila}} = 2 \cdot R_k \cdot n_{ef} = 2 \cdot 11161 \cdot 2,80 = 62502 \text{ N}$

Resistenza caratteristica della connessione: $R_{k, \text{colonna}} = 3 \cdot R_{k, \text{fila}} = 3 \cdot 62502 = 187505 \text{ N}$

$$R_{d, \text{totale}} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot R_{k, \text{colonna}}}{\gamma_M} = \frac{0,90 \cdot 187505}{1,3} = 129811 \text{ N/mm}^2$$

Verifica della connessione: $F_d = \max N_d = 101,40 \text{ kN}$

$$R_{d, \text{totale}} = \min \left\{ \begin{array}{l} R_{d, \text{trave}} \\ R_{d, \text{colonna}} \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 110801 \text{ N} \\ 129811 \text{ N} \end{array} \right\} = 110801 \text{ N}$$

$$\frac{F_d}{R_{d, \text{totale}}} \leq 1 \quad \frac{101,40 \cdot 10^3}{110801} = 0,92 < 1$$

Osservazione:

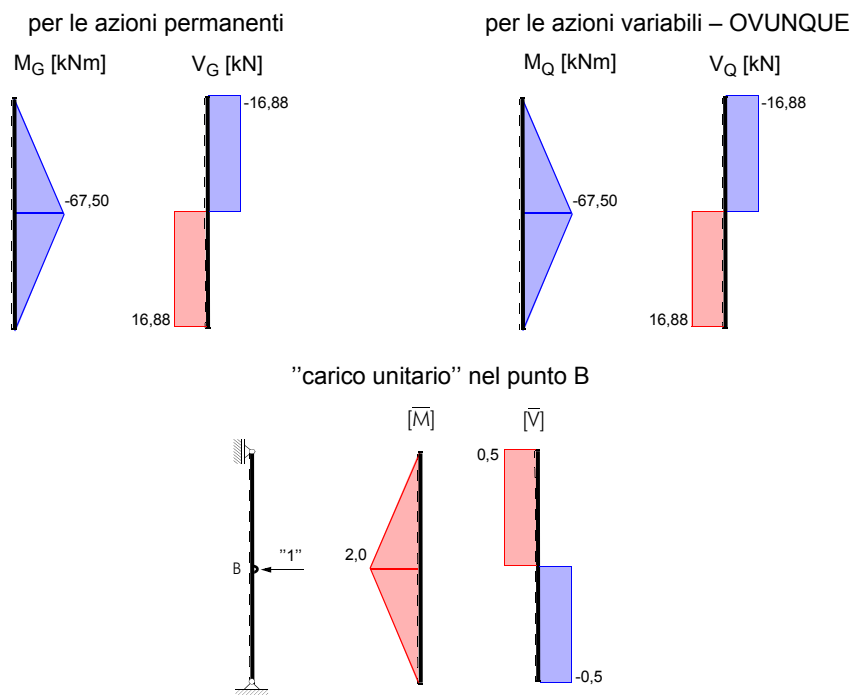
In generale le verifiche devono essere effettuate per entrambe le direzioni (trave e colonna). Nel presente esempio ci si sarebbe potuto fermare dopo la determinazione di n_{ef} e si sarebbe potuto determinare la resistenza totale a partire dal minor valore di n_{ef} , in quanto sono presenti tre file di spinotti in entrambe le direzioni.

4 Verifiche agli stati limite di esercizio

4.1 Deformazione orizzontale della colonna nel punto B

Per le verifiche agli stati limite di esercizio: $\gamma_M = 1,0$ $k_{def} = 0,80$
 $\gamma_g = \gamma_q = 1,0$

Calcolo mediante il principio dei lavori virtuali (considerando l'influenza del taglio):



Osservazione:

Poichè i diagrammi del momento e del taglio delle azioni permanenti sono uguali a quelli delle azioni variabili, è sufficiente calcolare la sovrapposizione per un solo caso. Il calcolo delle deformazioni deve essere tuttavia effettuato a parte.

$$w_G = w_Q = \frac{1}{E_d \cdot I_y} \cdot \left[2 \cdot 4,0 \cdot \frac{1}{3} \cdot (2,0 \cdot (-67,5)) \right] +$$

$$+ \frac{1}{G_d \cdot A_v} \cdot [2 \cdot 4,0 \cdot (-0,5) \cdot 16,88] =$$

$$w_G = w_Q = \frac{1 \cdot 10^{12}}{11600 \cdot 4,31 \cdot 10^9} \cdot [-360] + \frac{1 \cdot 10^6}{720 \cdot \frac{1,19 \cdot 10^5}{1,2}} \cdot [-67,52] = -8,15 \text{ mm}$$

Deformazione netta finale: $w_{\text{net,fin}} = w_{\text{ist}} + w_{\text{diff}} = w_{\text{ist}} + k_{\text{def}} \cdot w'_{\text{ist}} \leq L/200$

$$w_{\text{ist}} \text{ da } G_k + Q_{ik} + \sum_{i=2}^{i=n} (\psi_{0i} \cdot Q_{ik}) \rightarrow w_{\text{ist}} = w_G + w_Q = 8,2 + 8,2 = 16,4 \text{ mm}$$

$$w'_{\text{ist}} \text{ da } G_k + \sum_{i=1}^{i=n} (\psi_{2i} \cdot Q_{ik}) \rightarrow w'_{\text{ist}} = w_G + \psi_2 \cdot w_Q = 8,2 + 0 \cdot 8,2 = 8,2 \text{ mm}$$

per neve < 1000 m s.l.m., $\psi_2 = 0$

$$w_{\text{net,fin}} = 16,4 + 0,8 \cdot 8,2 = 23,0 \text{ mm} < 8000/200 = 40,0 \text{ mm}$$

Deformazione istantanea dovuta alle azioni variabili: $w_{2,\text{ist}} \leq L/300$

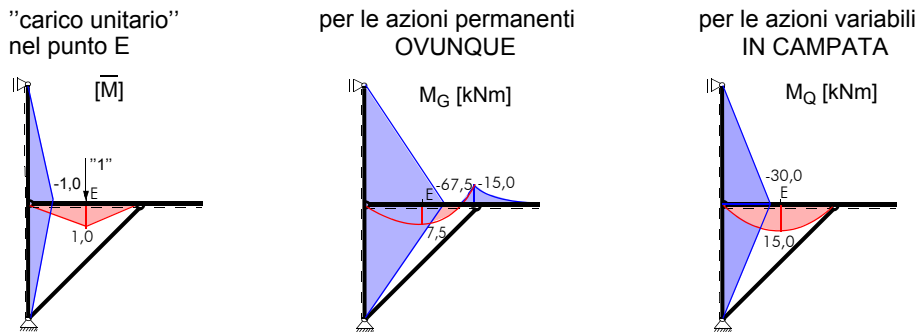
$$w_{2,\text{ist}} \text{ da } \psi_{11} \cdot Q_{1k} + \sum_{i=2}^{i=n} (\psi_{0i} \cdot Q_{ik}) \rightarrow w_{2,\text{ist}} = \psi_{11} \cdot w_Q = 0,2 \cdot 8,2 = 1,6 \text{ mm}$$

per neve < 1000 m s.l.m., $\psi_{11} = 0,2$

$$w_{2,\text{ist}} = 1,6 \text{ mm} < 8000/300 = 26,7 \text{ mm}$$

4.2 Deformazione verticale della trave nel punto E

Calcolo mediante il principio dei lavori virtuali (trascurando l'influenza del taglio):



$$w_G = \frac{1 \cdot 10^{12}}{E_d \cdot I_{y,B}} \cdot \left[\frac{1}{2,4} \cdot 15,0 \cdot 1,0 \cdot 4,0 + \frac{1}{4} \cdot (-15,0) \cdot 1,0 \cdot 4,0 \right] + \frac{1 \cdot 10^{12}}{E_d \cdot I_{y,St}} \cdot \left[2 \cdot \frac{1}{3} \cdot (-67,5) - 1,0 \cdot 4,0 \right] =$$

$$w_G = \frac{1 \cdot 10^{12}}{11600 \cdot 3,66 \cdot 10^8} \cdot [10,0] + \frac{1 \cdot 10^{12}}{11600 \cdot 4,31 \cdot 10^9} \cdot [180,0] = 6,0 \text{ mm}$$

$$w_Q = \frac{1 \cdot 10^{12}}{E_d \cdot I_{y,B}} \cdot \left[\frac{5}{12} \cdot 15,0 \cdot 1,0 \cdot 4,0 \right] + \frac{1 \cdot 10^{12}}{E_d \cdot I_{y,St}} \cdot \left[2 \cdot \frac{1}{3} \cdot (-30,0) \cdot (-1,0) \cdot 4,0 \right] =$$

$$w_Q = \frac{1 \cdot 10^{12}}{11600 \cdot 3,66 \cdot 10^8} \cdot [25,0] + \frac{1 \cdot 10^{12}}{11600 \cdot 4,31 \cdot 10^9} \cdot [80,0] = 7,8 \text{ mm}$$

Deformazione netta finale: $w_{net,fin} = w_{ist} + w_{diff} = w_{ist} + k_{def} \cdot w'_{ist} \leq L/200$

$$w_{ist} \text{ da } G_k + Q_{ik} + \sum_{i=2}^{i=n} (\psi_{0i} \cdot Q_{ik}) \rightarrow w_{ist} = w_G + w_Q = 6,0 + 7,8 = 13,8 \text{ mm}$$

$$w'_{ist} \text{ da } G_k + \sum_{i=1}^{i=n} (\psi_{2i} \cdot Q_{ik}) \rightarrow w'_{ist} = w_G + \psi_2 \cdot w_Q = 6,0 + 0 \cdot 7,8 = 6,0 \text{ mm}$$

per neve < 1000 m s.l.m., $\psi_2 = 0$

$$w_{net,fin} = 13,8 + 0,8 \cdot 6,0 = 18,6 \text{ mm} < 4000/200 = 20,0 \text{ mm}$$

Deformazione istantanea dovuta alle azioni variabili: $w_{2,ist} \leq L/300$

$$w_{2,ist} \text{ da } \psi_{11} \cdot Q_{1k} + \sum_{i=2}^{i=n} (\psi_{0i} \cdot Q_{ik}) \rightarrow w_{2,ist} = \psi_{11} \cdot w_Q = 0,2 \cdot 7,8 = 1,6 \text{ mm}$$

per neve < 1000 m s.l.m., $\psi_{11} = 0,2$

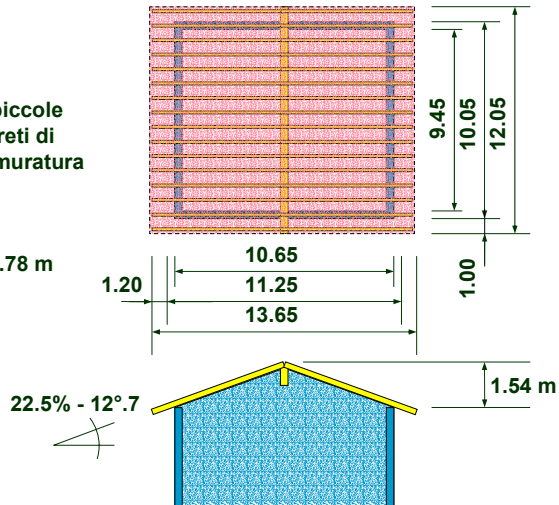
$$w_{2,ist} = 1,6 \text{ mm} < 4000/300 = 13,3 \text{ mm}$$

La costruzione

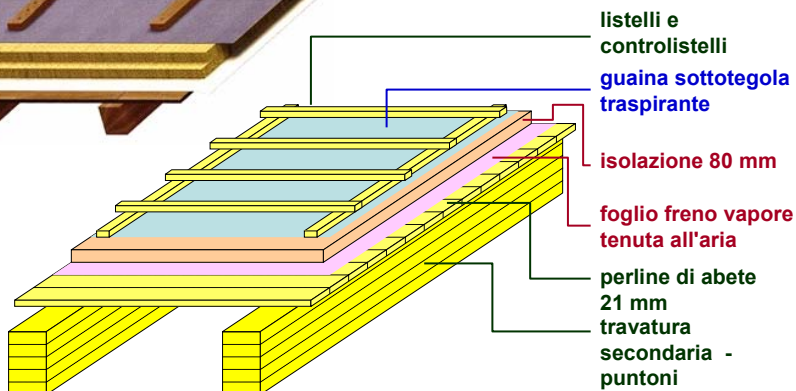
• Informazioni

- edificio abitativo di dimensioni medio/piccole
- costruzione con pareti di cemento armato o muratura
- località: Lombardia
- altezza < 200 m

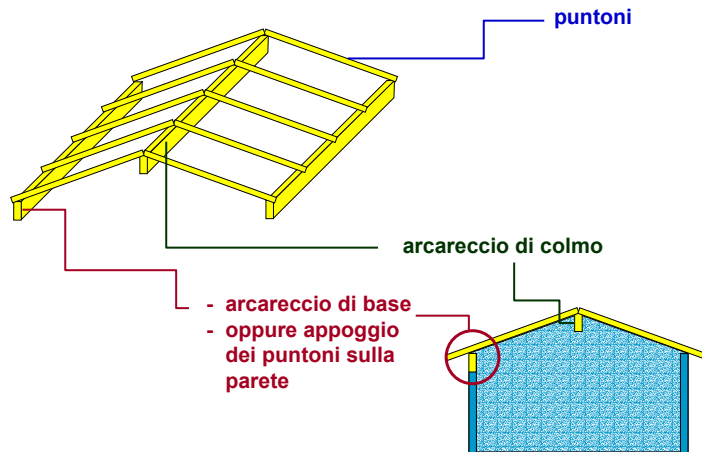
- interasse puntoni: 0.78 m



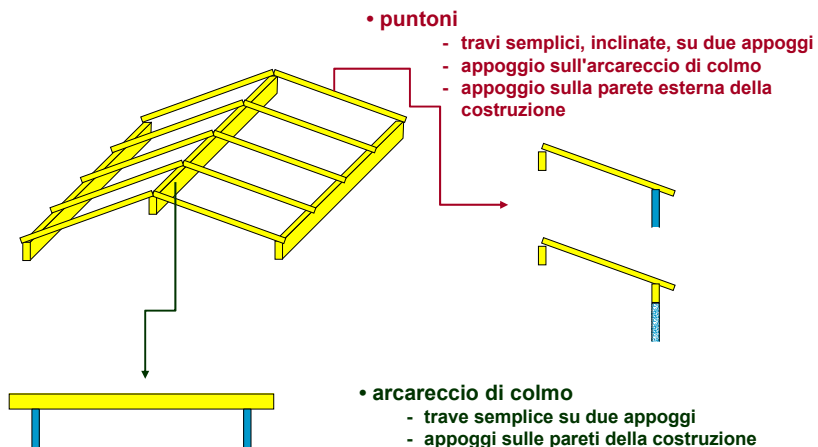
Il pacchetto di copertura



La struttura portante della copertura

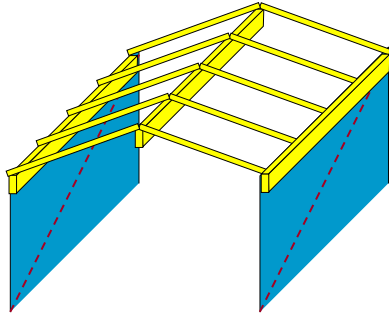


La struttura portante della copertura



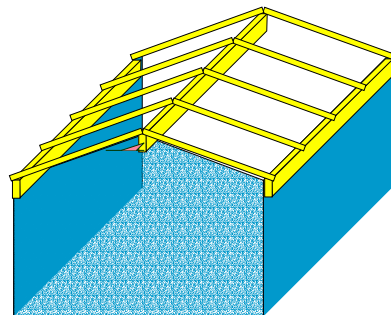
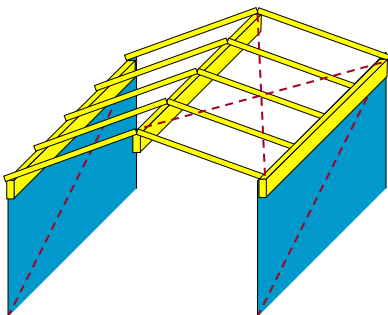
La stabilizzazione longitudinale

- arcareccio di base o pareti laterali (effetto lastra verticale)
 - trasmissione delle forze orizzontali assicurata



La stabilizzazione longitudinale

- stabilizzazione longitudinale dell'arcareccio di colmo
 - tramite la parete di testa della costruzione
 - tramite controventatura della superficie di almeno una falda del tetto

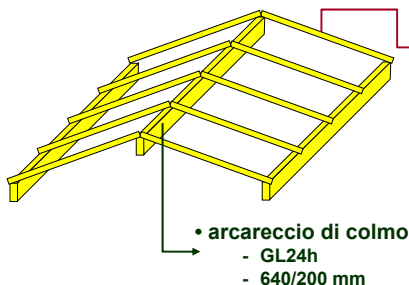


Normativa di riferimento

- La normativa per la struttura portante di legno, "attuale" in Italia
 - UNI-ENV 1995-1-1: Eurocodice 5 - proposta finale 12.2003
 - normativa italiana "nicole" - nuova, non ancora in vigore
 - DIN 1052 08-2004: nuova, disponibile in tedesco
- Ipotesi di carico e valori di riferimento per il carico dovuto alla neve
 - Decreto 16 gennaio 1996 del Ministro dei Lavori Pubblici riguardo alle Norme tecniche relative ai "Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi".

Materiali

- Scelta di materiali e delle sezioni
 - a cura del progettista
 - prima approssimativa scelta delle sezioni:
 - calcolo preliminare
 - esperienza del progettista
 - progetti simili



- punti
 - KVH S10 / C24
 - 200/120 mm

Materiali

- Valori delle caratteristiche del materiale
- DIN1052 - EN1194 + 338 - prontuario 1

- C24

- $f_{m,k} = 24.0 \text{ N/mm}^2$
- $f_{c,0,k} = 21.0 \text{ N/mm}^2$
- $f_{c,90,k} = 2.5 \text{ N/mm}^2$
- $f_{v,k} = 2.7 \text{ N/mm}^2$
- $E_{0,mean} = 11000 \text{ N/mm}^2$
- $E_{0,05} = 7400 \text{ N/mm}^2$
- $G_{mean} = 690 \text{ N/mm}^2$
- $\rho_{m,k} = 350 \text{ kg/m}^3$

- GL24h

- $f_{m,k} = 24.0 \text{ N/mm}^2$
- $f_{c,90,k} = 2.7 \text{ N/mm}^2$
- $f_{v,k} = 2.7 \text{ N/mm}^2$
- $E_{0,mean} = 11600 \text{ N/mm}^2$
- $E_{0,05} = 9400 \text{ N/mm}^2$
- $G_{mean} = 720 \text{ N/mm}^2$
- $\rho_{m,k} = 380 \text{ kg/m}^3$

Carichi - Azioni sulla struttura della copertura

- Azioni sulla struttura:

- peso proprio
- neve
- vento
 - trascurato in questo caso

- Peso proprio della copertura

- per il pacchetto del tetto si ammettono i seguenti valori:
 - copertura di tegole (inclusa la guaina) 70 kg/m^2
 - listelli e controlistelli 3.0 kg/m^2
 - guaina traspirante 0.5 kg/m^2
 - isolamento 80 mm 2.5 kg/m^2
 - rivestimento interno: perline 21 mm 15 kg/m^2
- peso totale del pacchetto $g_{pacch} = 91 \text{ kg/m}^2 = 0.91 \text{ kN/m}^2$

Carichi - Azioni sulla struttura della copertura

• **Peso proprio della travatura secondaria (punti)**

- distanza fra le travi 0.78 m
- sezione travi 200/120 mm
- peso specifico (decreto 16.1.96) $\rho = 6.0 \text{ kN/m}^3$

$$g_{\text{sec}} = \frac{V \cdot \rho}{\text{distanza}}$$

$$g_{\text{sec}} = \left(0.12 \text{ m} \cdot 0.20 \text{ m} \cdot 6.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \right) \cdot \frac{1}{0.78} = 0.18 \approx 0.20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- riferito a 1 m² di superficie della copertura

Carichi - Azioni sulla struttura della copertura

• **Peso proprio dell'arcareccio di colmo**

- sezione trave 640/200 mm
- peso specifico (decreto 16.1.96) $\rho = 6.0 \text{ kN/m}^3$

$$g_{\text{sec}} = V \cdot \rho$$

$$g_{\text{sec}} = \left(0.64 \text{ m} \cdot 0.20 \text{ m} \cdot 6.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \right) = 0.77 \approx 0.80 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

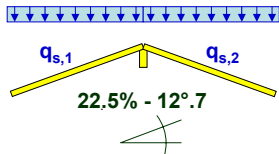
- riferito a 1 m lineare di trave

Carichi - Azioni sulla struttura della copertura

• Azione del carico neve

$q_s = \mu_i \cdot q_{sk}$ dove q_s = carico neve sulla copertura
 μ_{ik} = coefficiente di forma della copertura
 q_{sk} = valore di riferimento del carico neve al suolo

$q_{sk} = 1.60 \frac{kN}{m^2}$ per la zona I, comprendente anche la Lombardia, per un'altezza inferiore ai 200 metri

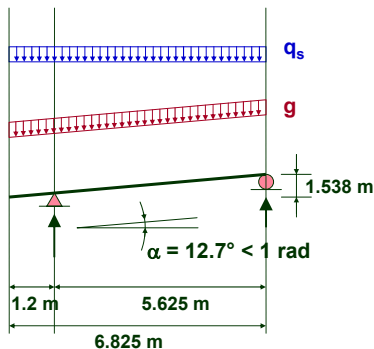


$$q_{s,1} = \mu_1 \cdot q_{sk} = 0.8 \cdot 1.60 = 1.28 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{s,2} = \mu_2 \cdot q_{sk} = 0.8 \cdot 1.60 = 1.28 \frac{kN}{m^2}$$

Calcolo dei puntoni - struttura secondaria

• Calcolo statico della struttura - sistema statico e carichi



$$q_{s,k} = q_{s,2} = 1.28 \frac{kN}{m^2}$$

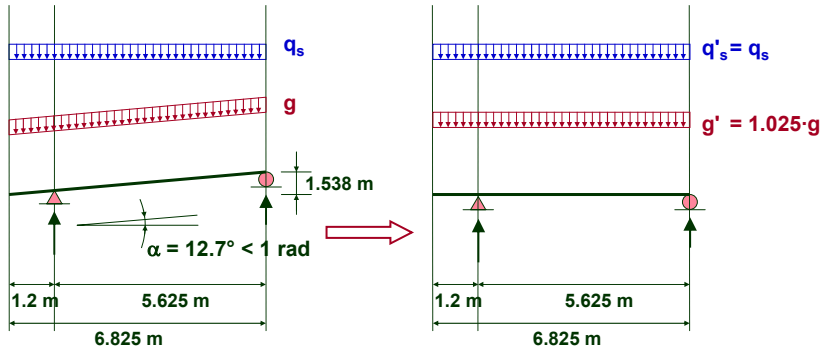
$$q_{s,k} = 1.28 \frac{kN}{m^2} \cdot 0.78 m = 1.00 \frac{kN}{m}$$

$$g_k = g_{pacch} + g_{sec} = 0.91 + 0.20 = 1.11 \frac{kN}{m^2}$$

$$g_k = 1.11 \frac{kN}{m^2} \cdot 0.78 m = 0.87 \frac{kN}{m}$$

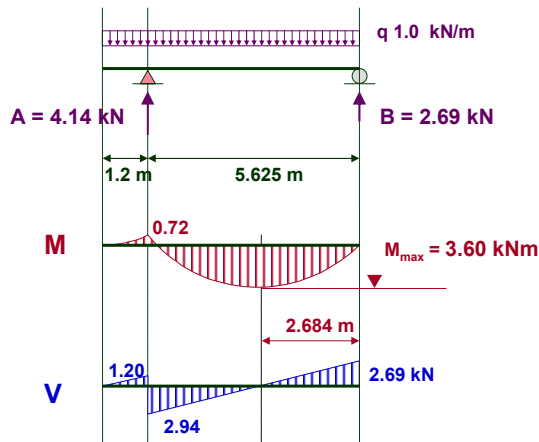
Calcolo dei puntoni - struttura secondaria

- Calcolo statico della struttura - sistema statico e calcolo
 - semplificazione del sistema statico
 - errore di calcolo minimo e sicuramente accettabile



Calcolo dei puntoni - struttura secondaria

- Calcolo statico della struttura - sistema statico e calcolo
 - calcolo per un carico immaginario unitario $q = 1.0 \text{ kN/m}$



Calcolo dei puntoni - struttura secondaria

- **Combinazioni di carichi**
- carico neve = azione di base

$$F_d = \gamma_g \cdot G_k + \gamma_q \cdot \left[Q_{1k} + \sum_{i=2}^{i=n} (\psi_{0i} \cdot Q_{ik}) \right]$$

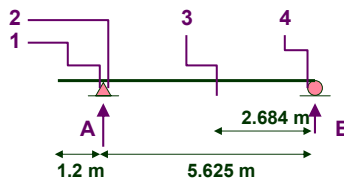
- **Combinazione unica: peso proprio e neve**
- durata breve

$$q_d = \gamma_g \cdot g_k \cdot 1.025 + \gamma_q \cdot q_{s,k}$$

$$q_d = 1.35 \cdot 0.87 \cdot 1.025 + 1.5 \cdot 1.00 = 2.70 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Calcolo dei puntoni - struttura secondaria

- **Combinazioni di carichi**
- valori di calcolo degli sforzi interni per le sezioni determinanti



$$q_d = \gamma_g \cdot g_k \cdot 1.025 + \gamma_q \cdot q_{s,k}$$

| kN/m | A kN | B kN | V ₁ kN | V ₂ kN | V ₄ kN | M ₁ =M ₂ kNm | M ₃ kNm |
|-------------------------------------|-------------|-------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| g_k · 1.025 = 0.89 | 3.68 | 2.39 | 1.07 | 2.62 | 2.39 | 0.64 | 3.20 |
| q_{s,k} = 1.00 | 4.14 | 2.69 | 1.20 | 2.94 | 2.69 | 0.72 | 3.60 |
| q_d = 2.70 | 11.2 | 7.26 | 3.24 | 7.94 | 7.26 | 1.94 | 9.72 |

Calcolo dei puntoni - struttura secondaria

- Valori di calcolo della resistenza

$$X_d = \frac{k_{mod} \cdot X_k}{\gamma_M}$$

- Coefficiente parziale γ_M

- secondo "nicole"

- legno massiccio: $\gamma_M = 1.30$
- legno lamellare: $\gamma_M = 1.25$

- Classe di durata del carico

- classe di servizio 2 (esterno, coperto)
 - classe di servizio 1 (interno, riscaldato)

- classe breve durata (neve): $k_{mod} = 0.9$

Calcolo dei puntoni - struttura secondaria

- Verifica della sicurezza alla flessione

- sollecitazione massima nella sezione 3 con $M_d = 9.72$ kNm

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d} \quad f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0.9 \cdot 24}{1.30} = 16.6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W} \quad W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{120 \cdot 200^2}{6} = 8.00 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{9.72 \cdot 10^6}{8.00 \cdot 10^5} = 12.2 \text{ N/mm}^2$$

$k_{crit} = 1$ svergolamento delle travi impedito dal pacchetto di copertura

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d}$$

$$12.2 \text{ N/mm}^2 \leq 1.0 \cdot 16.6 \text{ N/mm}^2$$

- La resistenza alla flessione è verificata

Calcolo dei puntoni - struttura secondaria

• **Verifica del taglio della trave principale - sezione 2**

- sollecitazione massima nella sezione 2: $V_d = 39.8 \text{ kN}$

$$\tau_d \leq f_{v,d} \qquad f_{v,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0.9 \cdot 2.7}{1.30} = 1.87 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_d = \frac{V_d \cdot 1.5}{b \cdot h} = \frac{7.94 \cdot 10^3 \cdot 1.5}{120 \cdot 200} = 0.50 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$0.50 \text{ N/mm}^2 \leq 1.87 \text{ N/mm}^2$$

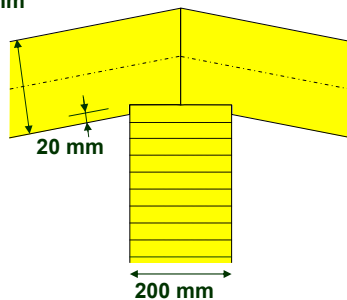
- La resistenza al taglio è verificata

Calcolo dei puntoni - struttura secondaria

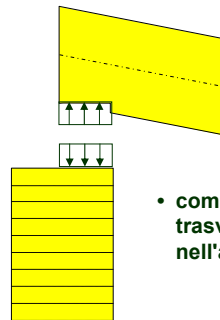
• **Alcuni dettagli essenziali: appoggio sulla trave di colmo - variante 1**

- forza d'appoggio massima: $B_d = 7.26 \text{ kN}$

200 mm



- **compressione inclinata rispetto alla fibratura nel puntone**



- **compressione trasversale nell'arcareccio**

- Verifica determinante nell'arcareccio (angolo più sfavorevole)

Calcolo dei puntoni - struttura secondaria

• **Alcuni dettagli essenziali: appoggio sulla trave di colmo - variante 1**

- forza d'appoggio massima: $B_d = 7.26 \text{ kN}$
- verifica nella trave di colmo

$$\sigma_{c,90,d} \leq f_{c,90,d} \quad f_{c,90,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,90,k}}{\gamma_M} = \frac{0.9 \cdot 2.70}{1.25} = 1.94 \text{ N/mm}^2$$

$f_{c,90,d}$ e γ_M si riferiscono al legno lamellare GL24

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{90}} = \frac{B_d}{A_{90}} = \frac{7.26 \cdot 10^3}{100 \cdot 120} = 0.61 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{c,90,d} \leq f_{c,90,d}$$

$$0.61 \leq 1.94$$

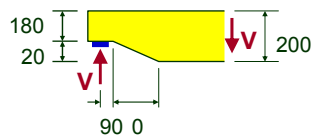
- L'introduzione della forza per compressione trasversale è verificata

Calcolo dei puntoni - struttura secondaria

• **Alcuni dettagli essenziali: appoggio sulla trave di colmo - variante 1**

• **Verifica dell'intaglio - sezione 4**

- sollecitazione massima nella sezione 4: $V_d = 7.26 \text{ kN}$



$$\tau_d = \frac{1.5 \cdot V}{b \cdot h_{ef}} \leq k_v \cdot f_{v,d}$$

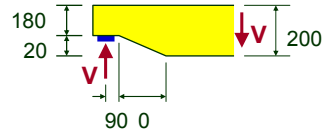
$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0.9 \cdot 2.7}{1.30} = 1.87 \text{ N/mm}^2$$

$$k_v = \frac{k_h \left(1 + \frac{1.1 \cdot i^{1.5}}{\sqrt{h}} \right)}{\sqrt{h} \left(\sqrt{\alpha(1-\alpha)} + 0.8 \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right)} \leq 1.0$$

Calcolo dei puntoni - struttura secondaria

- Verifica dell'intaglio - sezione 4

$$k_v = \frac{k_h \left(1 + \frac{1.1 \cdot i^{1.5}}{\sqrt{h}} \right)}{\sqrt{h} \left(\sqrt{\alpha(1-\alpha)} + 0.8 \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right)} \leq 1.0$$



$$x = \frac{100}{2} = 50 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{h_{ef}}{h} = \frac{180}{200} = 0.90$$

$$k_v = \frac{5 \left(1 + \frac{1.1 \cdot 0^{1.5}}{\sqrt{200}} \right)}{\sqrt{200} \left(\sqrt{0.90(1-0.90)} + 0.8 \frac{50}{200} \sqrt{\frac{1}{0.90} - 0.90^2} \right)} = 0.86$$

Calcolo dei puntoni - struttura secondaria

- Alcuni dettagli essenziali: appoggio sulla trave di colmo - variante 1
- Verifica dell'intaglio - sezione 4

• sollecitazione massima nella sezione 4: $V_d = 7.26 \text{ kN}$

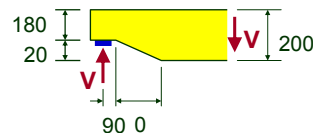
$$\tau_d = \frac{1.5 \cdot V}{b \cdot h_{ef}} \leq k_v \cdot f_{v,d}$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0.9 \cdot 2.7}{1.30} = 1.87 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_d = \frac{1.5 \cdot 7.26 \cdot 10^3}{120 \cdot 180} = 0.50 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_d = \frac{1.5 \cdot V}{b \cdot h_{ef}} \leq k_v \cdot f_{v,d}$$

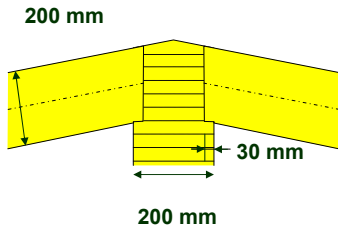
$$0.50 \text{ N/mm}^2 \leq 0.86 \cdot 1.87 = 1.61 \text{ N/mm}^2$$



• La resistenza dell'intaglio è verificata

Calcolo dei puntoni - struttura secondaria

- Alcuni dettagli essenziali: appoggio sulla trave di colmo - variante 2
- forza d'appoggio massima: $B_d = 7.26 \text{ kN}$



- superficie di appoggio ridotta a $30 \times 120 \text{ mm}$
- aumento del valore di calcolo della resistenza del 50%, a condizione di ammettere le deformazioni locali

Calcolo dei puntoni - struttura secondaria

- Verifica dell'introduzione della forza sull'appoggio B
- forza massima all'appoggio B: $B_d = 7.26 \text{ kN}$

$$\sigma_{c,90,d} \leq f_{c,90,d} \qquad f_{c,90,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,90,k}}{\gamma_M} = \frac{0.9 \cdot 2.70}{1.25} = 1.94 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{c,90,d} \leq 1.5 \cdot f_{c,90,d} \qquad \bullet \text{ aumento di } f_{c,90,d} \text{ ammesso:}$$

- deformazioni accettate

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{90}} = \frac{B_d}{A_{90}} = \frac{7.26 \cdot 10^3}{120 \cdot 30} = 2.02 \text{ N/mm}^2$$

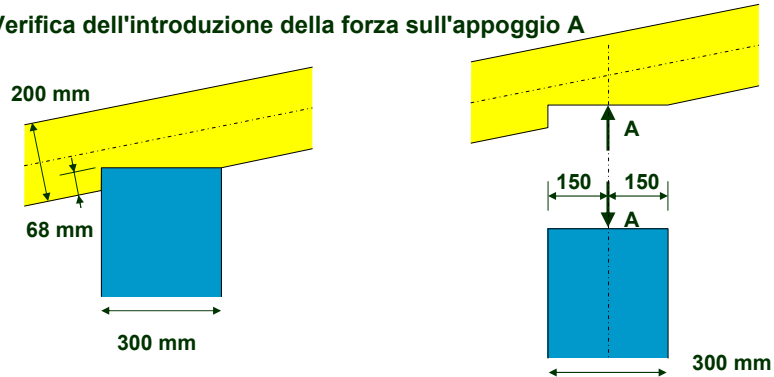
$$\sigma_{c,90,d} \leq 1.5 \cdot f_{c,90,d}$$

$$2.02 \leq 1.5 \cdot 1.94 = 2.91 \text{ N/mm}^2$$

- La resistenza dell'introduzione della forza è verificata

Calcolo dei puntoni - struttura secondaria

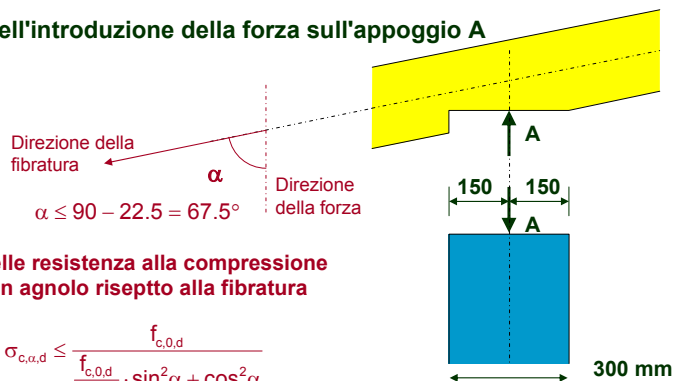
- Verifica dell'introduzione della forza sull'appoggio A



- Intaglio senza problemi perché senza rischio di fessurazione
- Trasmissione della forza nell'asse della parete
- Verifica simile alle precedenti

Calcolo dei puntoni - struttura secondaria

- Verifica dell'introduzione della forza sull'appoggio A



- Verifica delle resistenze alla compressione secondo un angolo rispetto alla fibrazione

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{f_{c,90,d}} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

dove $\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{F_{c,\alpha,d}}{A_\alpha}$

Calcolo dei puntoni - struttura secondaria

• Verifica dell'introduzione della forza sull'appoggio A

- forza massima all'appoggio A: $A_d = 11.2 \text{ kN}$

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{f_{c,90,d}} \cdot \sin^2\alpha + \cos^2\alpha}$$

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,90,k}}{\gamma_M} = \frac{0.9 \cdot 2.70}{1.30} = 1.73 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0.9 \cdot 21.0}{1.30} = 14.5 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{f_{c,90,d}} \cdot \sin^2\alpha + \cos^2\alpha} = \frac{14.5}{\frac{14.5}{1.73} \cdot \sin^2 67.5 + \cos^2 67.5} = 1.99 \text{ N/mm}^2$$

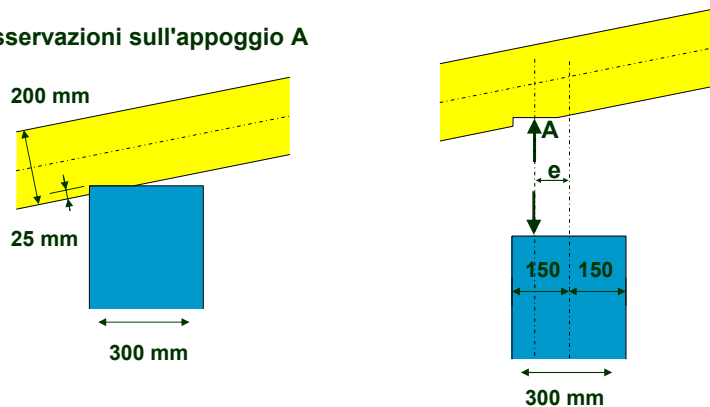
$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{F_{c,\alpha,d}}{A_\alpha} = \frac{A_d}{A_\alpha} = \frac{11.2 \cdot 10^3}{300 \cdot 120} = 0.31 \text{ N/mm}^2$$

$0.31 \leq 1.99 \text{ N/mm}^2$

- La resistenza dell'introduzione della forza è verificata

Calcolo dei puntoni - struttura secondaria

• Osservazioni sull'appoggio A

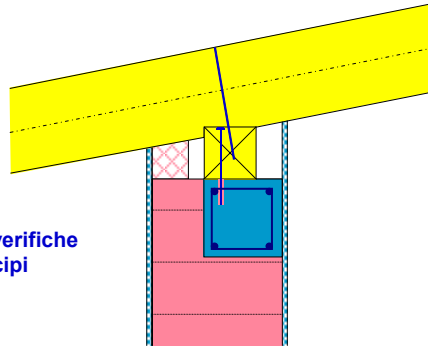


- Intaglio senza problemi perché senza rischio di fessurazione
- Trasmissione della forza eccentrica rispetto alla parete
- Superficie di contatto ridotta

Calcolo dei puntoni - struttura secondaria

- Giunti e collegamenti

- Soluzione con la trave di banchina
 - corodolo in calcestruzzo armato nella muratura
 - trave di banchina quale appoggio per la copertura

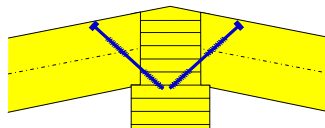
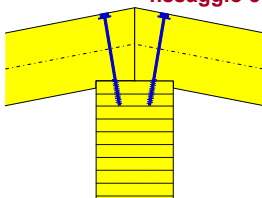


- Trasmissione delle forze e verifiche
 - secondo gli stessi principi

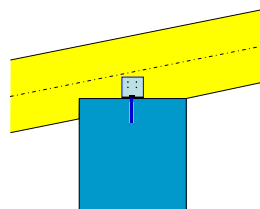
Calcolo dei puntoni - struttura secondaria

- Giunti e collegamenti

- Appoggio sulla trave di colmo
 - trasmissione delle forze per contatto
 - fissaggio e stabilizzazione tramite viti

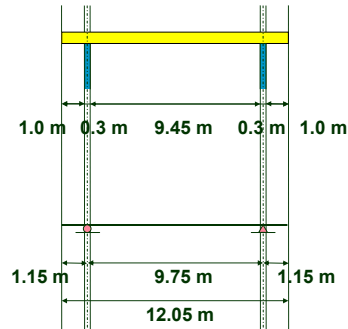


- Appoggio sulla parete esterna
 - trasmissione delle forze per contatto
 - fissaggio e stabilizzazione con profilo angolare e viti



Calcolo della trave di colmo

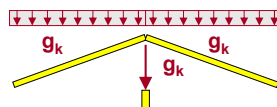
• Geometria del sistema



Calcolo della trave di colmo

• Azioni permanenti sulla trave di colmo

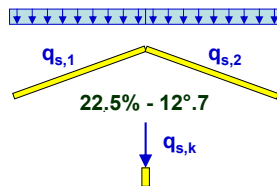
- pacchetto e travi secondarie $g_k = 1.11 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 0.78 \text{ m} = 0.87 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
- forza di contatto fra puntoni e arcareccio di colmo $B(g_k) = 1.025 \cdot 0.87 \cdot 2.69 = 2.39 \text{ kN}$
- medesima forza riferita alla lunghezza dell'arcareccio di colmo $g_k(B) = 1.025 \cdot (0.87 \cdot 2.69) \frac{1}{0.78 \text{ m}} = 3.07 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
- peso proprio della trave di colmo $g_{k, \text{col}} = 0.80 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
- valore caratteristico delle azioni permanenti $g_k = 0.80 + 3.07 + 3.07 = 6.94 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$



Calcolo della trave di colmo

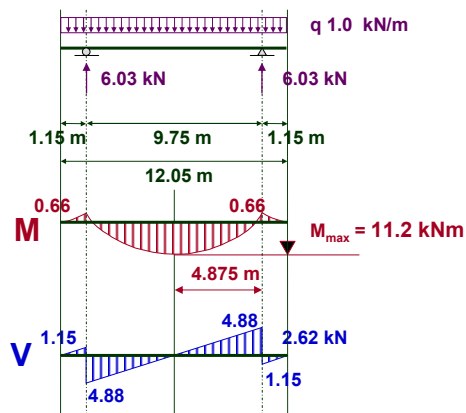
• Azioni variabili sulla trave di colmo

- neve sulle due falde $q_{s,1} = 1.28 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ $q_{s,2} = 1.28 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
- medesima forza riferita alla lunghezza dell'arcareccio di colmo $q_{s,1} = q_{s,2} = 2.69 \cdot 1.28 = 3.44 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
- valore caratteristico dell'azione del carico neve sulla trave di colmo $q_{s,k} = q_{s,1} + q_{s,2} = 3.44 + 3.44 = 6.87 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$



Calcolo della trave di colmo

• Statica del sistema



Calcolo della trave di colmo

- Combinazione di carico determinante:
 - azione base: carico neve

$$F_d = \gamma_g \cdot G_k + \gamma_q \cdot \left[Q_{1k} + \sum_{i=2}^{i=n} (\psi_{0i} \cdot Q_{ik}) \right]$$

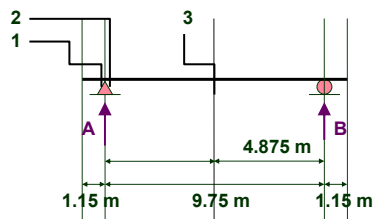
- Combinazione di carichi
 - durata breve

$$q_d = \gamma_g \cdot g_k + \gamma_q \cdot [q_s + \psi_0 \cdot q_v] = \gamma_g \cdot g_k + \gamma_q \cdot q_s$$

$$q_d = 1.35 \cdot 6.94 + 1.5 \cdot 6.87 = 19.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Calcolo della trave di colmo

- Combinazioni di carichi
 - valori di calcolo degli sforzi interni per le sezioni determinanti



| kN/m | A kN | B kN | V ₁ kN | V ₂ kN | M ₁ =M ₂ kNm | M ₃ kNm |
|-------------------------------|--------------|--------------|----------------------|----------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| g_k = 3.88 | 41.8 | 41.8 | 8.0 | 33.8 | 4.6 | 77.9 |
| q_{s,k} = 6.88 | 41.4 | 41.4 | 7.9 | 33.5 | 4.5 | 77.1 |
| q_d = 15.6 | 118.5 | 118.5 | 22.6 | 95.9 | 13.0 | 220.6 |

Calcolo della trave di colmo

- Valori di calcolo della resistenza

$$X_d = \frac{k_{mod} \cdot X_k}{\gamma_M}$$

- Coefficiente parziale γ_M

- secondo "nicole"

- legno massiccio: $\gamma_M = 1.30$
- legno lamellare: $\gamma_M = 1.25$

- Classe di durata del carico

- classe di servizio 2 (esterno, coperto)
 - classe di servizio 1 (interno, riscaldato)

- classe breve durata (neve): $k_{mod} = 0.90$

Calcolo della trave di colmo

- Verifica della flessione - sezione 3

• sollecitazione massima nella sezione 3: $M_d = 220.8 \text{ kNm}$

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d} \qquad f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0.9 \cdot 24}{1.25} = 17.3 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{d2}}{W}$$

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{200 \cdot 640^2}{6} = 1.37 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{220.8 \cdot 10^6}{1.37 \cdot 10^7} = 16.2 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{per } \lambda_{rel,m} \leq 0.75 \\ 1.56 - 0.75 \cdot \lambda_{rel,m} & \text{per } 0.75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1.4 \\ 1/\lambda_{rel,m}^2 & \text{per } \lambda_{rel,m} > 1.4 \end{cases}$$

Calcolo della trave di colmo

• **Verifica della flessione - sezione 3**

- sollecitazione massima nella sezione 3: $M_d = 220.8 \text{ kNm}$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi}{\ell_{eff}} \cdot \frac{b^2}{h} \cdot E_{0,05} \sqrt{\frac{G_{mean}}{E_{mean}}} \quad \lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi}{780} \cdot \frac{200^2}{640} \cdot 9400 \sqrt{\frac{720}{11600}} = 589.5 \text{ N/mm}^2 \quad \lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{24.0}{589.5}} = 0.20 \leq 0.75$$

$$k_{crit} = 1$$

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d}$$

$$16.2 \text{ N/mm}^2 \leq 1.0 \cdot 17.3 \text{ N/mm}^2$$

- La resistenza alla flessione è verificata

Calcolo della trave di colmo

• **Verifica del taglio - sezione 2**

- sollecitazione massima nella sezione 2: $V_d = 95.9 \text{ kN}$

$$\tau_d \leq f_{v,d} \quad f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0.9 \cdot 2.7}{1.25} = 1.94 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_d = \frac{V_d \cdot 1.5}{b \cdot h} = \frac{95.9 \cdot 10^3 \cdot 1.5}{200 \cdot 640} = 1.12 \text{ N/mm}^2$$

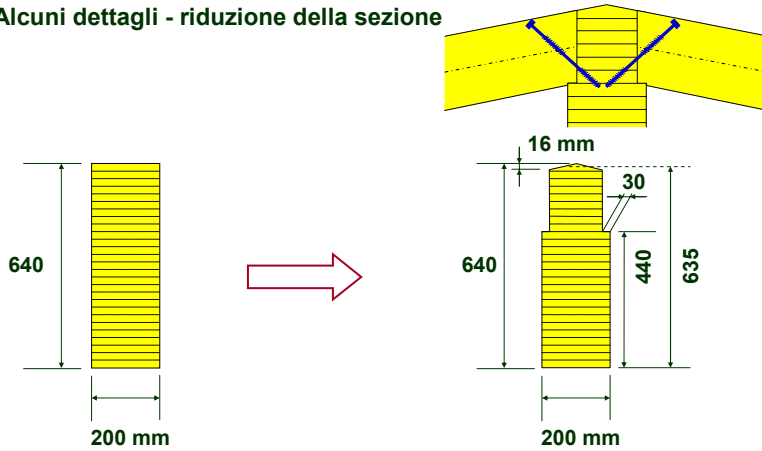
$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$1.12 \text{ N/mm}^2 \leq 1.94 \text{ N/mm}^2$$

- La resistenza al taglio è verificata

Calcolo della trave di colmo

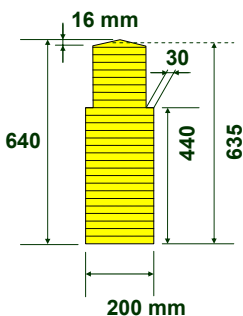
- Alcuni dettagli - riduzione della sezione



- L'effetto della riduzione sulle verifiche deve essere analizzato

Calcolo della trave di colmo

- Alcuni dettagli - riduzione della sezione



$$I' = 3.60 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

$$W' = 1.06 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$$

- Verifica alla flessione

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d}$$

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0.9 \cdot 24}{1.25} = 17.3 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W}$$

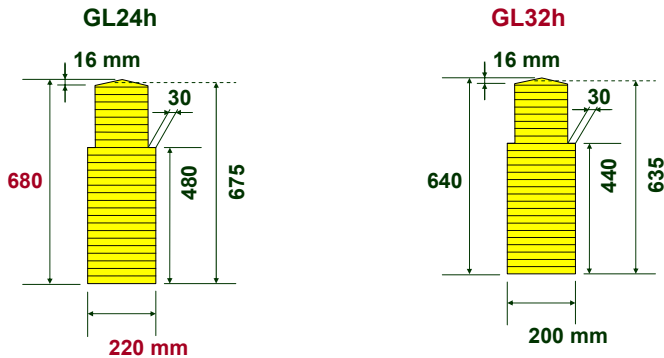
$$\sigma_{m,d} = \frac{220.8 \cdot 10^6}{1.06 \cdot 10^7} = 20.9 \text{ N/mm}^2$$

$$20.9 \text{ N/mm}^2 > 1.0 \cdot 17.3 \text{ N/mm}^2 !!$$

- Verifica non riuscita !!

Calcolo della trave di colmo

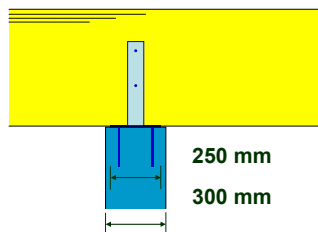
- Alcuni dettagli - riduzione della sezione



- In entrambi i casi la sicurezza è verificata

Calcolo della trave di colmo

- Alcuni dettagli - Appoggio sulla parete esterna



- appoggio fisso per trasmissione forze orizzontali
- ancoraggio forze negative

Calcolo della trave di colmo

• Alcuni dettagli - Appoggio sulla parete esterna

- forza massima all'appoggio B: $B_d = 118.5 \text{ kN}$

$$\sigma_{c,90,d} \leq f_{c,90,d} \quad \sigma_{c,90,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{c,90,k}}{\gamma_M} = \frac{0.9 \cdot 2.70}{1.25} = 1.94 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{90}} = \frac{B_d}{A_{90}} = \frac{118.5 \cdot 10^3}{200 \cdot 250} = 1.94 \text{ N/mm}^2$$

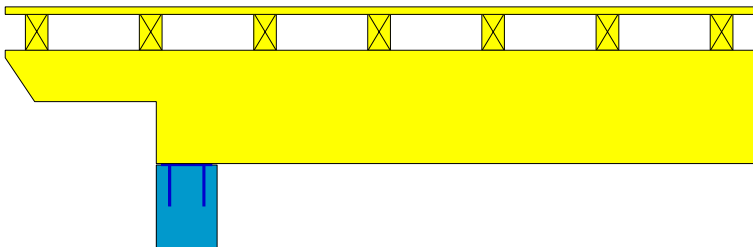
$$\sigma_{c,90,d} \leq 1.5 \cdot f_{c,90,d}$$

$$2.37 \leq 1.5 \cdot 1.94 = 2.91 \text{ N/mm}^2$$

- La resistenza dell'introduzione della forza è verificata

Calcolo della trave di colmo

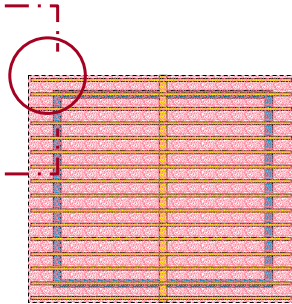
• Alcuni dettagli - Parte esterna della trave di colmo



- parte esterna: sezione ridotta possibile
- interessante per protezione testa della trave di colmo

Calcolo della trave di colmo

- Alcuni dettagli - Parte esterna della "copertura"



- soluzione costruttivamente e staticamente valida necessaria
- soluzione economicamente e praticamente fattibile necessaria

Calcolo della trave di colmo

