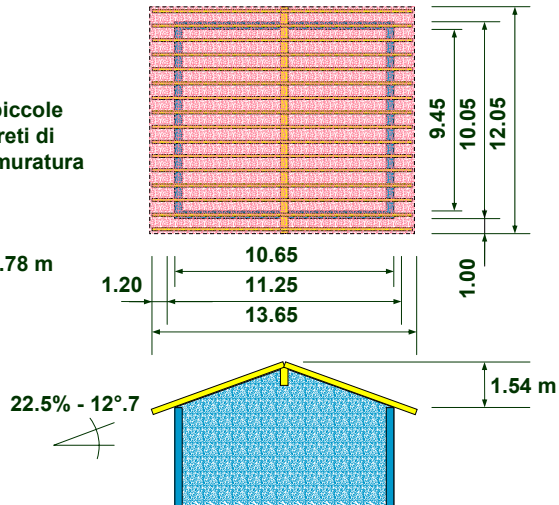


La costruzione

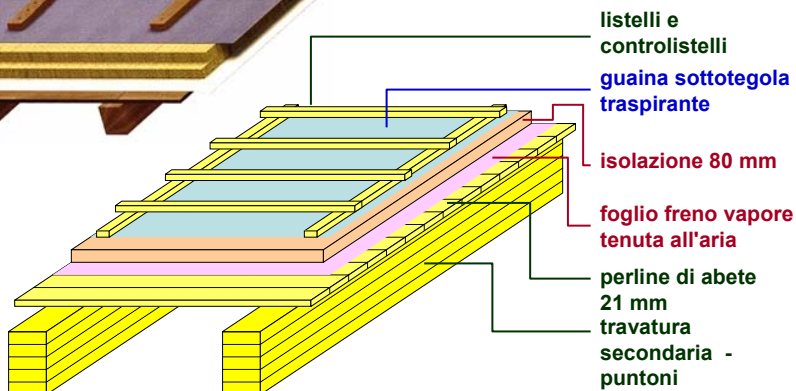
• Informazioni

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

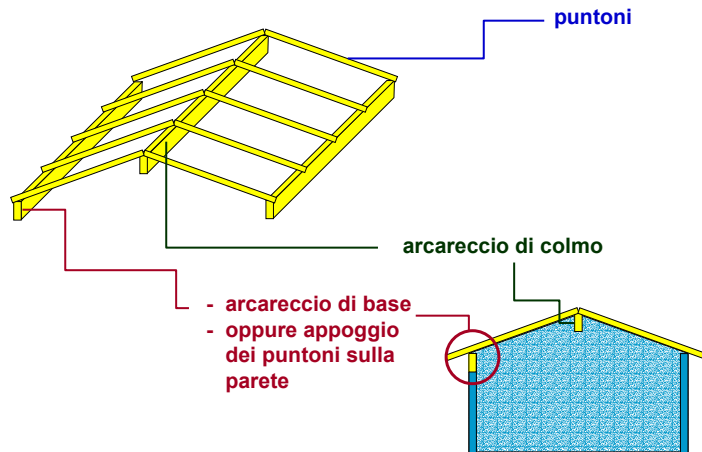
- interasse puntoni: 0.78 m



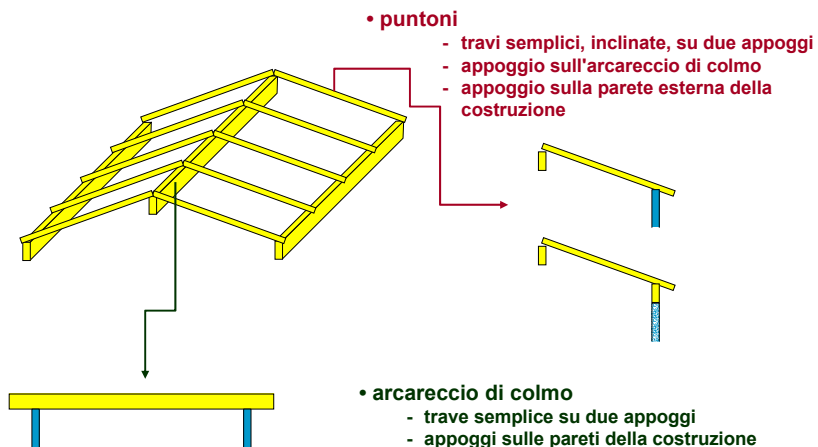
Il pacchetto di copertura



La struttura portante della copertura

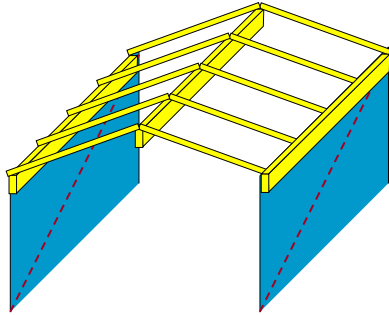


La struttura portante della copertura



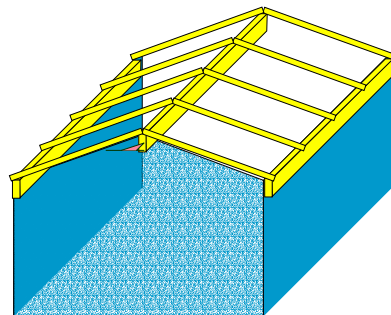
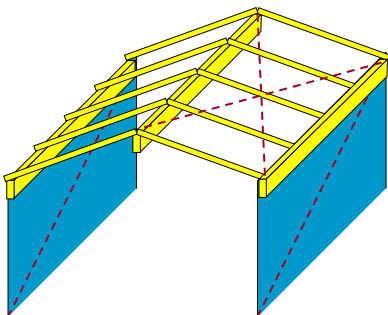
La stabilizzazione longitudinale

- 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

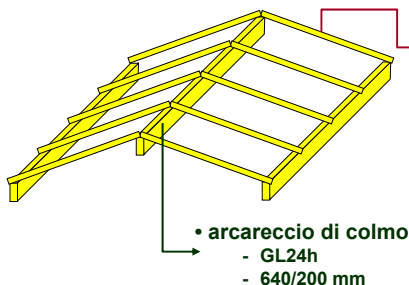


Normativa di riferimento

- 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 N/mm²
- $f_{c,0,k}$ = 21.0 N/mm²
- $f_{c,90,k}$ = 2.5 N/mm²
- $f_{v,k}$ = 2.7 N/mm²
- $E_{0,mean}$ = 11000 N/mm²
- $E_{0,05}$ = 7400 N/mm²
- G_{mean} = 690 N/mm²
- $\rho_{m,k}$ = 350 kg/m³

- GL24h

- $f_{m,k}$ = 24.0 N/mm²
- $f_{c,90,k}$ = 2.7 N/mm²
- $f_{v,k}$ = 2.7 N/mm²
- $E_{0,mean}$ = 11600 N/mm²
- $E_{0,05}$ = 9400 N/mm²
- G_{mean} = 720 N/mm²
- $\rho_{m,k}$ = 380 kg/m³

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/m²
 - listelli e controlistelli 3.0 kg/m²
 - guaina traspirante 0.5 kg/m²
 - isolamento 80 mm 2.5 kg/m²
 - rivestimento interno: perline 21 mm 15 kg/m²
- peso totale del pacchetto g_{pacch} 91 kg/m² = 0.91 kN/m²

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) $\rho = 6.0 \text{ kN/m}^3$

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

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

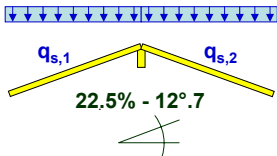
- riferito a 1 m lineare di trave

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

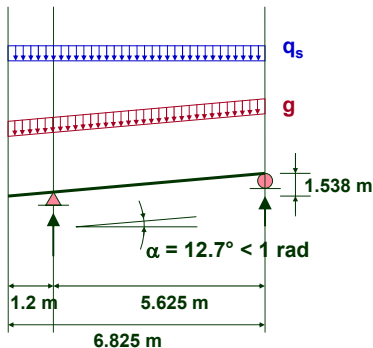


$$q_{s,1} = \mu_1 \cdot q_{sk} = 0.8 \cdot 1.60 = 1.28 \frac{kN}{m^2}$$

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

Calcolo dei puntoni - struttura secondaria

• Calcolo statico della struttura - sistema statico e carichi



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

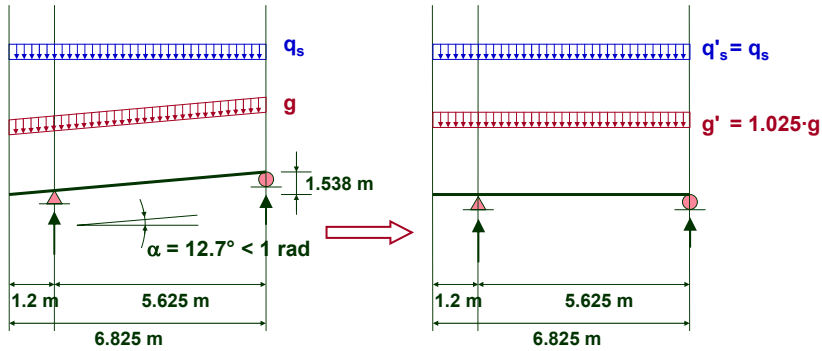
$$q_{s,k} = 1.28 \frac{kN}{m^2} \cdot 0.78 m = 1.00 \frac{kN}{m}$$

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

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

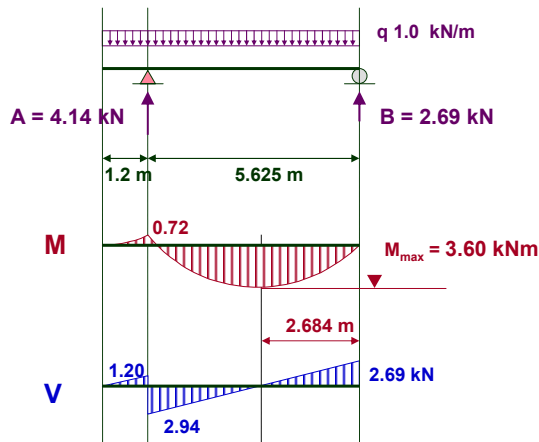
Calcolo dei puntoni - struttura secondaria

- 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

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

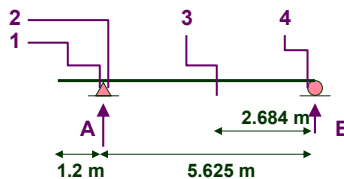
- Combinazione unica: peso proprio e neve
 - durata breve

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

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

Calcolo dei puntoni - struttura secondaria

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



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

| | A | B | V ₁ | V ₂ | V ₄ | M ₁ =M ₂ | M ₃ |
|--------------------------|------|------|----------------|----------------|----------------|--------------------------------|----------------|
| kN/m | kN | kN | kN | kN | kN | kNm | kNm |
| $g_k \cdot 1.025 = 0.89$ | 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: $V_d = 39.8 \text{ kN}$

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

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

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

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

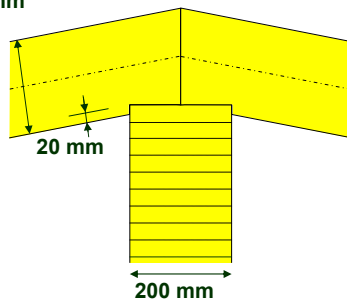
- La resistenza al taglio è verificata

Calcolo dei puntoni - struttura secondaria

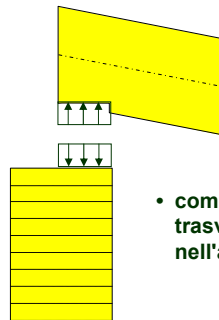
• **Alcuni dettagli essenziali: appoggio sulla trave di colmo - variante 1**

- 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

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

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

$$0.61 \leq 1.94$$

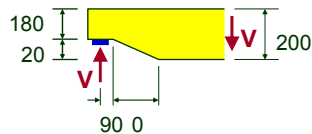
- L'introduzione della forza per compressione trasversale è verificata

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: $V_d = 7.26 \text{ kN}$



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

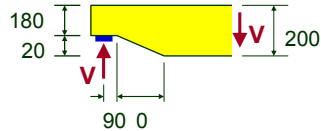
$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0.9 \cdot 2.7}{1.30} = 1.87 \text{ N/mm}^2$$

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

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: $V_d = 7.26 \text{ kN}$

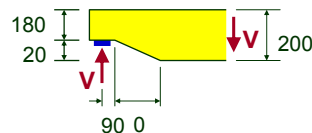
$$\tau_d = \frac{1.5 \cdot V}{b \cdot h_{ef}} \leq k_v \cdot f_{v,d}$$

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

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

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

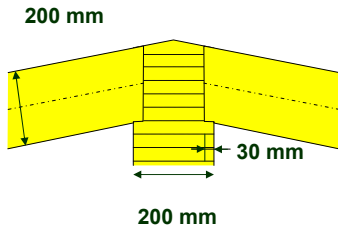
$$0.50 \text{ N/mm}^2 \leq 0.86 \cdot 1.87 = 1.61 \text{ N/mm}^2$$



- 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: $B_d = 7.26 \text{ kN}$

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

$$\sigma_{c,90,d} \leq 1.5 \cdot f_{c,90,d} \quad \bullet \text{ aumento di } f_{c,90,d} \text{ ammesso: - deformazioni accettate}$$

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

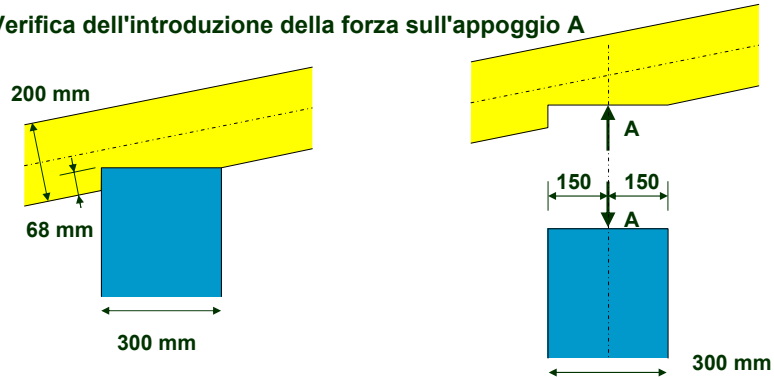
$$\sigma_{c,90,d} \leq 1.5 \cdot f_{c,90,d}$$

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

- La resistenza dell'introduzione della forza è verificata

Calcolo dei puntoni - struttura secondaria

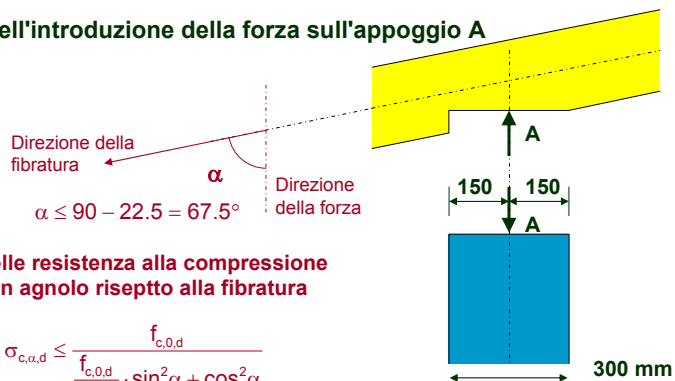
- Verifica dell'introduzione della forza sull'appoggio A



- 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 fibratura

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

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: $A_d = 11.2 \text{ kN}$

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

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

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

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

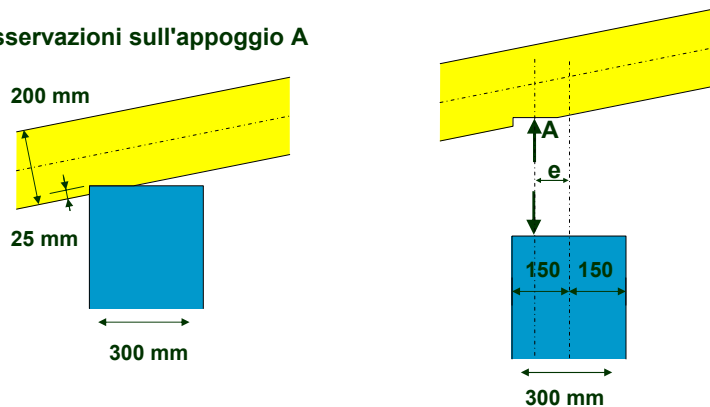
$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{F_{c,\alpha,d}}{A_\alpha} = \frac{A_d}{A_\alpha} = \frac{11.2 \cdot 10^3}{300 \cdot 120} = 0.31 \text{ N/mm}^2$$

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

- La resistenza dell'introduzione della forza è verificata

Calcolo dei puntoni - struttura secondaria

• Osservazioni sull'appoggio A

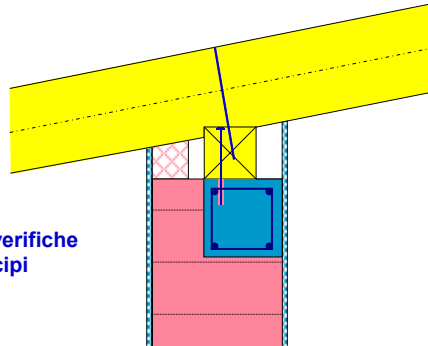


- Intaglio senza problemi perché senza rischio di fessurazione
- Trasmissione della forza eccentrica rispetto alla parete
- Superficie di contatto ridotta

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

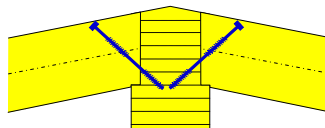
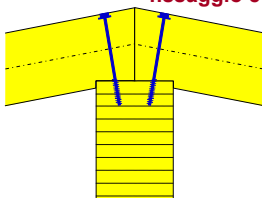


- Trasmissione delle forze e verifiche
 - secondo gli stessi principi

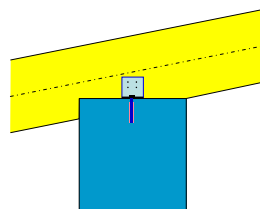
Calcolo dei puntoni - struttura secondaria

- Giunti e collegamenti

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

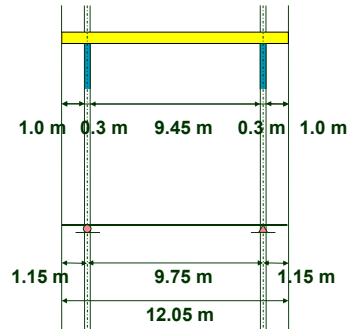


- Appoggio sulla parete esterna
 - trasmissione delle forze per contatto
 - fissaggio e stabilizzazione con profilo angolare e viti



Calcolo della trave di colmo

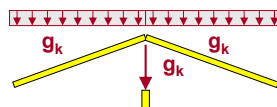
• Geometria del sistema



Calcolo della trave di colmo

• Azioni permanenti sulla trave di colmo

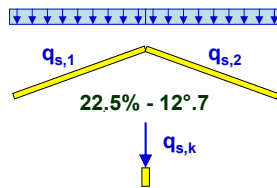
- pacchetto e travi secondarie $g_k = 1.11 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 0.78 \text{ m} = 0.87 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
- forza di contatto fra puntoni e arcareccio di colmo $B(g_k) = 1.025 \cdot 0.87 \cdot 2.69 = 2.39 \text{ kN}$
- medesima forza riferita alla lunghezza dell'arcareccio di colmo $g_k(B) = 1.025 \cdot (0.87 \cdot 2.69) \frac{1}{0.78 \text{ m}} = 3.07 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
- 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

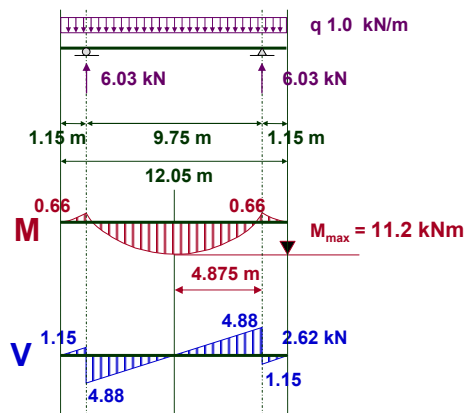
• Azioni variabili sulla trave di colmo

- 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

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

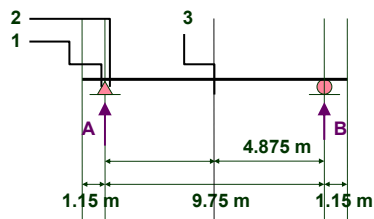
- Combinazione di carichi
 - durata breve

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

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

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: $V_d = 95.9 \text{ kN}$

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

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

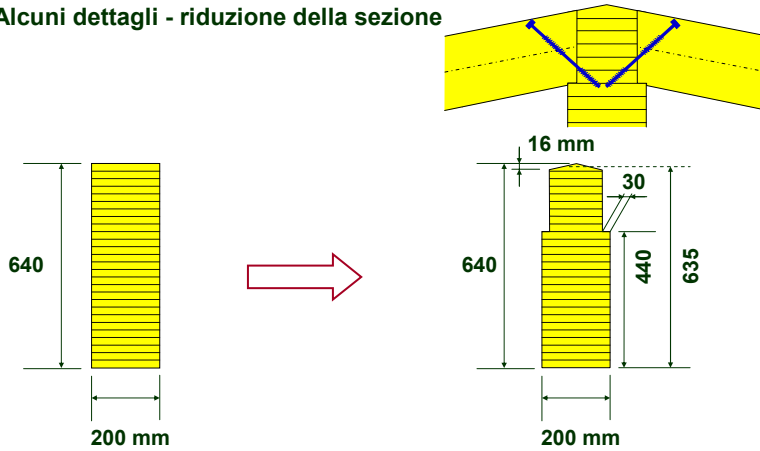
$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

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

- La resistenza al taglio è verificata

Calcolo della trave di colmo

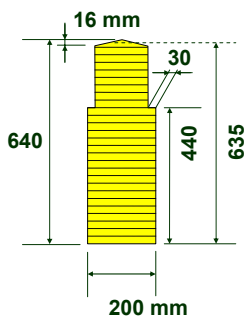
- Alcuni dettagli - riduzione della sezione



- L'effetto della riduzione sulle verifiche deve essere analizzato

Calcolo della trave di colmo

- Alcuni dettagli - riduzione della sezione



- Verifica alla flessione

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

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

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

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

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

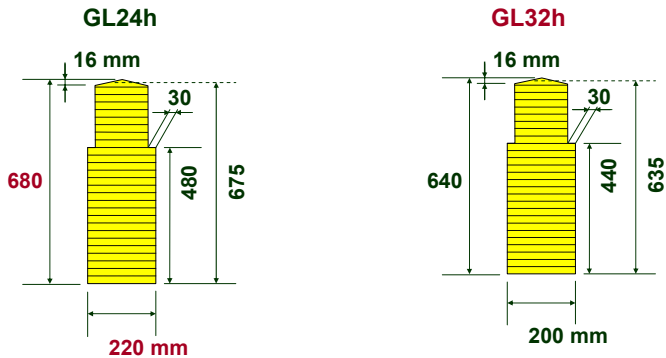
$$I' = 3.60 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

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

- Verifica non riuscita !!

Calcolo della trave di colmo

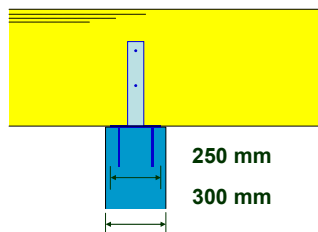
- Alcuni dettagli - riduzione della sezione



- 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: $B_d = 118.5 \text{ kN}$

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

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

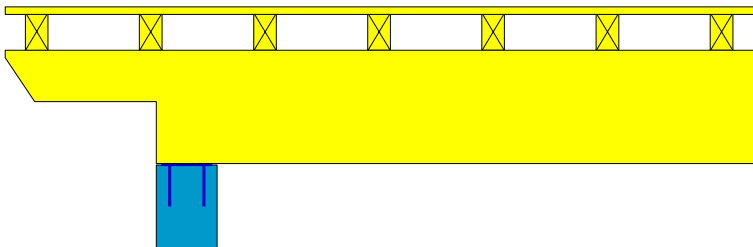
$$\sigma_{c,90,d} \leq 1.5 \cdot f_{c,90,d}$$

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

- La resistenza dell'introduzione della forza è verificata

Calcolo della trave di colmo

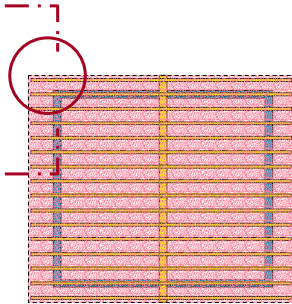
• Alcuni dettagli - Parte esterna della trave di colmo



- 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

