



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E MECCANICA
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

RELAZIONE COSTRUZIONI IN LEGNO

*Rete di drenaggio acque meteoriche
Quartiere "Le Albere" – Ex Parco Michelin (Trento)*

DOCENTI

Alberto Bellin
Maria Grazia Zanoni

STUDENTI

Nicola Meoli 225077
Luca Zorzi 227085

Anno accademico 2020/21

Indice

Elenco delle tabelle	3
Elenco delle figure	4
1 Introduzione	5
1.1 Premessa	5
2 Verifica degli elementi	6
2.1 Arcarecci	6
2.1.1 Flessione	7
2.1.2 Taglio	7
2.1.3 Freccia	8
2.2 Trave a doppia rastremazione	8
2.2.1 Flessione – Sezione D	9
2.2.2 Trazione perpendicolare – Sezione D	9
2.2.3 Trazione perpendicolare combinata a taglio – Sezione C	10
2.2.4 Flessione – Sezione B	11
2.2.5 Taglio – Sezione A	11
2.2.6 Compressione perpendicolare – Sezione A	11
2.2.7 Freccia	12
2.3 Trave Solaio	13
2.3.1 Flessione	13
2.3.2 Taglio	14
2.3.3 Compressione perpendicolare appoggio	14
2.3.4 Freccia	15
3 Verifica dei collegamenti	16
3.1 Viti inclinate trave a doppia rastremazione e arcarecci	16
3.1.1 Resistenze caratteristiche R_k del singolo connettore	16
3.1.2 Resistenze di progetto R_d del singolo connettore	18
3.1.3 Resistenza di progetto della connessione e verifica	18
3.1.4 Distanze minime e distanze effettive	18

Elenco delle tabelle

2.1	Azioni di progetto SLU nei punti di sezione indicati in figura per gli arcarecci	6
2.2	Valori di progetto SLU la verifica della trave a doppia rastremazione	6
2.3	Azioni di progetto SLU nei punti di sezione indicati in figura per la trave a doppia rastremazione	9
2.4	Valori di progetto per la verifica della trave a doppia rastremazione	9
2.5	Azioni di progetto SLU nei punti di sezione indicati in figura per la trave del solaio	13
2.6	Valori di progetto per la verifica della trave a doppia rastremazione	13
3.1	Valori di progetto della connessione tramite vite inclinate	16

Elenco delle figure

2.1	Indicazione della nomenclatura e dello schema statico adottato per gli arcarecci	6
2.2	Indicazione della nomenclatura adottata per le zone di verifica lungo lo sviluppo della trave e delle condizioni di carico assunte per la trave a doppia rastremazione	8
2.3	Indicazione della nomenclatura e dello schema statico adottato per la trave del solaio . . .	13
3.1	Schematizzazione della connessione tramite viti incrociate tra la trave rastremata e gli arcarecci	16

Introduzione

1.1 Premessa

Verifica degli elementi

2.1 Arcarecci

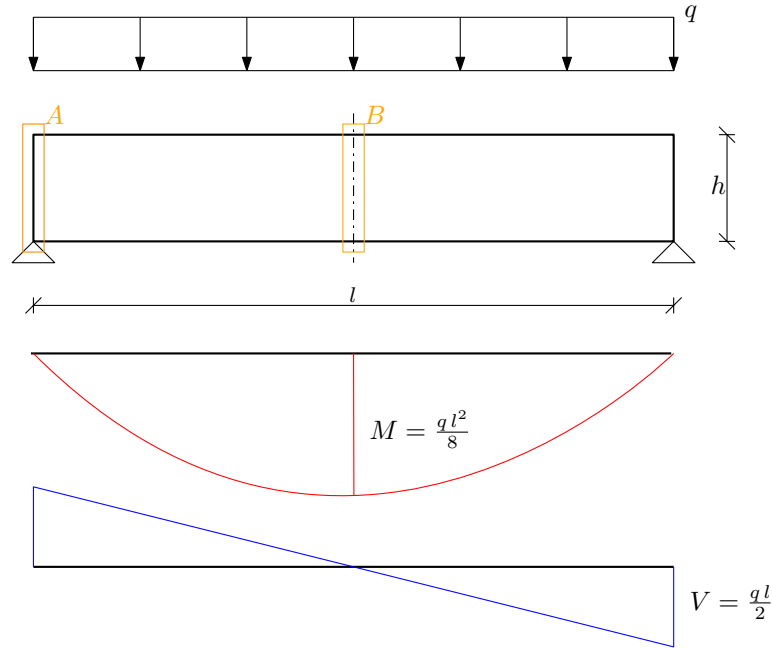


Figura 2.1: Indicazione della nomenclatura e dello schema statico adottato per gli arcarecci

Tabella 2.1: Azioni di progetto SLU nei punti di sezione indicati in figura per gli arcarecci

Sezione	x [mm]	M_d [kN m]	V_d [kN]
A	0,0	0,0	7,704
B	2500,0	9,63	0,0

Tabella 2.2: Valori di progetto SLU la verifica della trave a doppia rastremazione

Valori geometrici e coefficienti di esposizione o durata del carico					
b	160 mm	h	200 mm	l	5000 mm
γ_M	1,45	k_{mod}	0,9	k_{def}	0,6
Valori di resistenza GL28h [MPa]					
$f_{m,k}$	28,0	$f_{m,d}$	17,379	$E_{0,mean}$	12 600,0
$f_{v,k}$	3,5	$f_{v,d}$	2,172	$E_{0,05}$	10 500,0
$f_{c,90,k}$	2,5	$f_{c,90,d}$	1,552	G_{mean}	650,0
$f_{t,90,k}$	0,5	$f_{t,90,d}$	0,31	G_{05}	540,0

Sezione di verifica: 160×200 mm

Classe di servizio 2: $k_{mod} = 0.9$

disegno, momento, taglio, sezione, ecc

2.1.1 Flessione

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d} = 17,379 \text{ MPa} \quad (2.1)$$

La sollecitazione massima la si ha in mezzeria, pertanto è pari, avendo sezione rettangolare, a:

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W} = \frac{M_d}{\frac{b \cdot h^2}{6}} = \frac{9,63 \times 10^6 \text{ N mm}}{\frac{160 \cdot 200^2}{6} \text{ mm}^3} = 9,028 \text{ MPa}$$

Sebbene lo sbandamento sia impedito, pur tenendone conto si ha:

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d} \quad (2.2)$$

dove

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{se } \lambda_{rel,m} \leq 0.75 \\ 1.56 - 0.75 \cdot \lambda_{rel,m} & \text{se } 0.75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1.4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{se } \lambda_{rel,m} \geq 0.75 \end{cases} = 1 \quad (2.3)$$

in cui

$$\begin{aligned} \lambda_{rel,m} &= \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{28.0}{366.6}} = 0.276 \\ \sigma_{m,crit} &= \frac{\pi}{l_{eff}} \frac{b^2}{h} E_{0.05} \sqrt{\frac{G_{mean}}{E_{mean}}} = \frac{\pi}{2615.9} \frac{160^2}{200} 10500.0 \sqrt{\frac{650.0}{12600.0}} = 366,6 \text{ MPa} \\ l_{eff} &= \frac{l_t}{a_1 \left(1 - a_2 \frac{a_z}{l_t} \sqrt{\frac{B}{T}} \right)} = \frac{2500}{1.13 \left(1 - 1.44 \frac{100.0}{2500} \sqrt{\frac{860160000000.0}{119927927927.9}} \right)} = 2615,9 \text{ mm} \end{aligned}$$

avendo preso $l_t = \frac{l}{2}$, $a_z = \frac{h}{2}$, i coefficienti di ribaltamento a_1, a_2 in base alla condizione di vincolo (tabella E.2 DIN 1052:2004) ed essendo B e T rispettivamente la rigidezza flessionale attorno all'asse z e torsionale di un rettangolo.

Quindi la resistenza di progetto vale

$$k_{crit} \cdot f_{m,d} = k_{crit} \cdot f_{m,d} = 1 \cdot 17,379 \text{ MPa} = 17,379 \text{ MPa}$$

2.1.2 Taglio

Si deve avere

$$\tau_d \leq f_{v,d} \quad (2.4)$$

La sollecitazione massima che si ha agli appoggi vale

$$\tau_d = 1.5 \frac{V_d}{b_{eff} \cdot h} = \frac{7,704 \times 10^3 \text{ N}}{114.3 \cdot 200 \text{ mm}^2} = 0,506 \text{ MPa}$$

in cui da normativa (C.4.4.8.1.9) per il legno lamellare

$$b_{eff} = k_{cr} \cdot b = \frac{2.5}{f_{v,k}} \cdot b = \frac{2.5}{3.5} \cdot 160 = 114,3 \text{ mm}$$

Essendo $0,506 \text{ MPa} < 2,172 \text{ MPa}$ la verifica è soddisfatta.

2.1.3 Freccia

La freccia dovuta al contributo del momento flettente e del taglio, nel caso di semplice appoggio vale

$$w(q) = \frac{5}{384} \frac{q \cdot l^4}{E_{0,mean} \cdot J} + \chi \frac{1}{8} \frac{q \cdot l^2}{G_{mean} \cdot b \cdot h} \quad (2.5)$$

che, per un carico unitario e per una sezione rettangolare, assume il valore di riferimento

$$w(q = 1 \text{ kN m}^{-1}) = \frac{5}{384} \frac{1 \cdot 5000^4}{12600.0 \cdot 106,667 \times 10^6} + 1.2 \frac{1}{8} \frac{1 \cdot 5000^2}{650.0 \cdot 160 \cdot 200} = 6,235 \text{ mm} \quad (2.6)$$

Le deformazioni istantanee per i carichi agli SLE con combinazione rara valgono:

$$w_{inst,G} = w(q = 0,78 \text{ kN m}^{-1}) = 4,83 \text{ mm} \quad (2.7)$$

$$w_{inst,Q1} = w(q = 1,31 \text{ kN m}^{-1}) = 8,17 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad l/w_{inst,Q1} = 612,1 > 300 \quad (2.8)$$

$$w_{inst,TOT} = w_{inst,G} + w_{inst,Q1} = 13,0 \text{ mm} \quad (2.9)$$

Con $k_{def} = 0.6$, $\psi_{21} = 0.0$, in assenza di controfreccia iniziale e nelle ipotesi che gli elementi abbiano lo stesso comportamento viscoelastico, le deformazioni finali per i carichi agli SLE con combinazione rara assumono la forma semplificata:

$$w_{fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) = 7,73 \text{ mm} \quad (2.10)$$

$$w_{fin,Q1} = w_{inst,Q1} \cdot (1 + \psi_{21} k_{def}) = 8,17 \text{ mm} \quad (2.11)$$

$$w_{fin,TOT} = w_{fin,G} + w_{fin,Q1} = 15,9 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad l/w_{fin,TOT} = 314,5 > 200 \quad (2.12)$$

2.2 Trave a doppia rastremazione

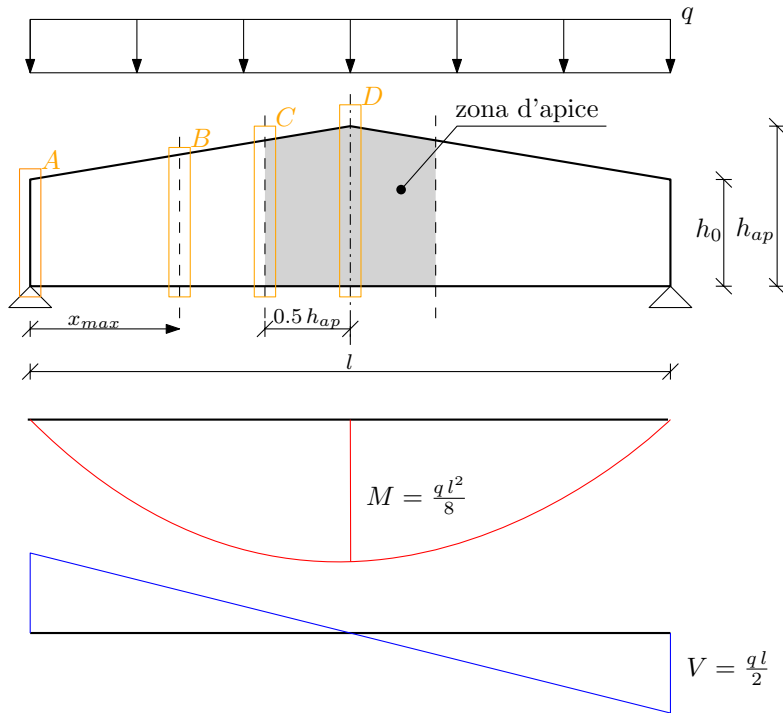


Figura 2.2: Indicazione della nomenclatura adottata per le zone di verifica lungo lo sviluppo della trave e delle condizioni di carico assunte per la trave a doppia rastremazione

Tabella 2.3: Azioni di progetto SLU nei punti di sezione indicati in figura per la trave a doppia rastremazione

Sezione	x [mm]	M_d [kN m]	V_d [kN]
A	0,0	0,0	156,48
B	5015,4	538,8	
C	7350,0	621,788	12,714
D	8000,0	625,92	0,0

Tabella 2.4: Valori di progetto per la verifica della trave a doppia rastremazione

Valori geometrici e coefficienti di esposizione o durata del carico					
b	240 mm	h_{ap}	1300 mm	α	$3,5^\circ$
h_0	815 mm	l	16 000 mm	α_{ap}	$3,5^\circ$
γ_M	1,45	k_{mod}	0,9	k_{def}	0,6
Valori di resistenza GL28h [MPa]					
$f_{m,k}$	28,0	$f_{m,d}$	17,379	$E_{0,mean}$	12 600,0
$f_{v,k}$	3,5	$f_{v,d}$	2,172	$E_{0,05}$	10 500,0
$f_{c,90,k}$	2,5	$f_{c,90,d}$	1,552	G_{mean}	650,0
$f_{t,90,k}$	0,5	$f_{t,90,d}$	0,31	G_{05}	540,0

In riferimento alla nomenclatura delle sezioni mostrata in figura 2.2 si riportano ora le verifiche svolte.

2.2.1 Flessione – Sezione D

$$\sigma_{m,d} \leq k_r \cdot f_{m,d} \quad (2.13)$$

Avendo la trave a doppia rastremazione un raggio $r_{in} = \infty$ si ha

$$k_r = \begin{cases} 1 & \text{se } \frac{r_{in}}{t} \geq 240 \\ 0.76 + 0.001 \frac{r_{in}}{t} & \text{se } \frac{r_{in}}{t} < 240 \end{cases} = 1 \quad (2.14)$$

La sollecitazione in mezzzeria vale

$$\sigma_{m,d} = k_l \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = 1.106 \frac{6 \cdot 625,92 \times 10^6 \text{ N mm}}{240 \text{ mm} \cdot (1300 \text{ mm})^2} = 10,239 \text{ MPa} \quad (2.15)$$

dove

$$k_l = k_1 + k_2 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_3 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 + k_4 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^3 = 1.106 \quad (2.16)$$

in cui $k_l = k_1$ in quanto: il raggio medio $r = \infty$, per le travi a doppia rastremazione, fa sì che si annullino gli altri termini. Avendo $\alpha_{ap} = 3,5^\circ$ si ha

$$k_1 = 1 + 1.4 \tan \alpha_{ap} + 5.4 \tan^2 \alpha_{ap} = 1.106$$

Essendo $10,239 \text{ MPa} < 1 \cdot 17,379 \text{ MPa} = 17,379 \text{ MPa}$ la verifica a flessione è soddisfatta.

2.2.2 Trazione perpendicolare – Sezione D

Si deve avere

$$\sigma_{t,90,d}^{ap} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d} \quad (2.17)$$

con

$$k_{dis} = \begin{cases} 1.4 & \text{se travi a doppia rastremazione o curve} \\ 1.7 & \text{se travi centinate} \end{cases} = 1.4 \quad (2.18)$$

e

$$k_{vol} = \begin{cases} 1.0 & \text{se legno massiccio} \\ \left(\frac{V_0}{V}\right)^2 & \text{se legno lamellare incollato LVL a strati paralleli} \end{cases} = 0.478 \quad (2.19)$$

in cui $V_0 = 0,01 \text{ m}^3$, mentre V è il volume della zona sollecitata in riferimento alla figura sopra citata ed è limitato a

$$V = \min \left(\frac{2}{3} V_d; V_{colmo} \right) = 0,399 \text{ m}^3$$

con V_b volume totale della trave pari a $4,061 \text{ m}^3$ e V_{colmo} volume reale della zona di colmo pari a $0,399 \text{ m}^3$. La sollecitazione vale

$$\sigma_{t,90,d}^{ap} = k_p \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = 0.012 \frac{6 \cdot 625,92 \times 10^6 \text{ N mm}}{240 \text{ mm} \cdot (1300 \text{ mm})^2} = 0,113 \text{ MPa} \quad (2.20)$$

dove

$$k_p = k_5 + k_6 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_7 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 = 0.012 \quad (2.21)$$

in cui $k_p = k_5$ in quanto: il raggio medio $r = \infty$, per le travi a doppia rastremazione, fa sì che si annullino gli altri termini. Avendo $\alpha_{ap} = 3,5^\circ$ si ha

$$k_5 = 0.2 \tan \alpha_{ap} = 0.012$$

Essendo $0,113 \text{ MPa} < 1.4 \cdot 0.478 \cdot 0,31 \text{ MPa} = 0,208 \text{ MPa}$ la verifica a trazione è soddisfatta.

2.2.3 Trazione perpendicolare combinata a taglio – Sezione C

Si deve avere

$$\frac{\tau_d^{0.5 ap}}{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}^{0.5 ap}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}} \leq 1 \quad (2.22)$$

Occorre dapprima calcolare le azioni di progetto nella sezione C partendo dalla quota della sezione $x^C = \frac{l}{2} - 0.5 \cdot h_{ap} = 7350,0 \text{ mm}$, in quanto il carico e la trave sono simmetriche rispetto la mezzerie. Le azioni a tale x valgono:

$$V_{0.5 ap} = 12,714 \text{ kN} \quad M_{0.5 ap} = 621,788 \text{ kN mm} \quad (2.23)$$

Il secondo termine della disequazione di verifica si calcola nello stesso modo di quanto visto nel paragrafo precedente con $M = M_{0.5 ap}$ e $h = h_{0.5 ap} = 1260,0 \text{ mm}$ variati. Si ha perciò

$$\sigma_{t,90,d}^{0.5 ap} = 0,12 \text{ MPa}$$

La componente di taglio del primo termine si calcola come:

$$\tau_d^{0.5 ap} = 1.5 \frac{V_{0.5 ap}}{b_{eff} \cdot h_{0.5 ap}} = 1.5 \frac{12,714 \times 10^3 \text{ N}}{171,4 \text{ mm} \cdot 1260,0 \text{ mm}} = 0,088 \text{ MPa}$$

in cui dalle NTC (C.4.4.8.1.9) per il legno lamellare si ha:

$$b_{eff} = k_{cr} \cdot b = \frac{2.5}{f_{v,k}} \cdot b = \frac{2.5}{3.5} \cdot 240 = 171,4 \text{ mm}$$

In definitiva la verifica risulta soddisfatta:

$$\frac{0,088 \text{ MPa}}{2,172 \text{ MPa}} + \frac{0,12 \text{ MPa}}{1.4 \cdot 0.478 \cdot 0,31 \text{ MPa}} = 0,617 \leq 1 \quad (2.24)$$

2.2.4 Flessione – Sezione B

Bordo inclinato e compresso Avendo un momento flettendo che tende le fibre inferiori, la formula di verifica nel late di travo con il bordo inclinato compresso è

$$\sigma_{m,\alpha,d} \leq k_{m,\alpha,comp.} \cdot f_{m,d} \quad (2.25)$$

Bordo non inclinato e teso La formula di verifica è analoga a quella sopra ma non è presente il coefficiente riduttivo, perciò è automaticamente soddisfatta quando lo è la prima.

Il coefficiente riduttivo vale:

$$k_{m,\alpha,comp.} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{0.75 f_{v,d} \tan \alpha}\right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{t,90,d} \tan \alpha}\right)^2}} = 0.95 \quad (2.26)$$

Si calcolano quindi le tensioni a flessione nella zona maggiormente sollecitata posta ad una quota x_{max} . Tale quota vale, nel caso di trave simmetrica e carico distribuito:

$$x_{max} = \frac{l \cdot h_0}{2 \cdot h_{ap}} = 5015,4 \text{ mm} \quad (2.27)$$

In corrispondenza di questa sezione si hanno le seguenti caratteristiche:

$$h_{x_{max}} = h_{ap} - \tan \alpha \cdot (0.5 l - x_{max}) = 1117,5 \text{ mm} \quad (2.28)$$

$$M_d^{max} = V_d \cdot x_{max} - \frac{Q \cdot (x_{max})^2}{2} = 538,8 \text{ kN mm} \quad (2.29)$$

$$\sigma_{m,d}^{max} = \sigma_{m,\alpha,d} = \frac{6 \cdot M_d^{max}}{b \cdot h_{x_{max}}^2} = 10,787 \text{ MPa} \quad (2.30)$$

Si ha perciò

$$10,787 \text{ MPa} < 0.95 \cdot 17,379 \text{ MPa} = 16,509 \text{ MPa}$$

2.2.5 Taglio – Sezione A

La verifica consiste in

$$\tau_{v,d} \leq f_{v,d} \quad (2.31)$$

La tensione di taglio vale

$$\tau_d = 1.5 \frac{V_d}{b_{eff} \cdot h_0} = 1.5 \frac{156,48 \times 10^3 \text{ N}}{171,4 \text{ mm} \cdot 815 \text{ mm}} = 1,68 \text{ MPa}$$

con b_{eff} uguale a quella calcolata al paragrafo 2.2.3.

Risulta quindi soddisfatta:

$$1,68 \text{ MPa} < 2,172 \text{ MPa}$$

2.2.6 Compressione perpendicolare – Sezione A

Si deve avere

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} \quad (2.32)$$

in cui $k_{c,90}$ vale 1.75 per il legno lamellare e $f_{c,90,d}$ è pari a 1,552 MPa.

La tensione all'appoggio si calcola come

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{V_d}{A_{ef}} = \frac{156,48 \times 10^3 \text{ N}}{79 200 \text{ mm}^2} = 1,976 \text{ MPa}$$

in cui A_{ef} consiste nell'area di contatto efficace $b \cdot l_{ef}$, calcolata aumentando la lunghezza di appoggio (che vale 300 mm) di 30 mm in un solo lato.

Si ha quindi

$$1,976 \text{ MPa} < 1.75 \cdot 1,552 \text{ MPa} = 2,716 \text{ MPa}$$

2.2.7 Freccia

La freccia dovuta al contributo del momento flettente e del taglio, nel caso di semplice appoggio vale

$$w(q) = k_m \cdot \frac{5}{384} \frac{q \cdot l^4}{E_{0,mean} \cdot J_0} + k_v \cdot \chi \frac{1}{8} \frac{q \cdot l^2}{G_{mean} \cdot A_0} \quad (2.33)$$

Con J_0 e A_0 calcolati nella sezione rettangolare all'appoggio con altezza h_0 . Nel caso di travi a doppia rastremazione i due coefficienti valgono:

$$k_m = \left(\frac{h_0}{h_{ap}} \right)^3 \frac{1}{0.15 + 0.85 \left(\frac{h_0}{h_{ap}} \right)} = 0.361 \quad (2.34)$$

$$k_v = \frac{2}{1 + \left(\frac{h_0}{h_{ap}} \right)^{2/3}} = 0.846 \quad (2.35)$$

Per un carico unitario assume il valore di riferimento:

$$w(q = 1 \text{ kN m}^{-1}) = 0.361 \cdot \frac{5}{384} \frac{1 \cdot 16000^4}{12600.0 \cdot 10826,868 \times 10^6} + 0.846 \cdot 1.2 \frac{1}{8} \frac{1 \cdot 16000^2}{650.0 \cdot 240 \cdot 815} = 2,512 \text{ mm} \quad (2.36)$$

Le deformazioni istantanee per i carichi agli SLE con combinazione rara valgono:

$$w_{inst,G} = w(q = 8,64 \text{ kN m}^{-1}) = 21,71 \text{ mm} \quad (2.37)$$

$$w_{inst,Q1} = w(q = 10,92 \text{ kN m}^{-1}) = 27,43 \text{ mm} \quad \implies \quad l/w_{inst,Q1} = 583,4 > 300 \quad (2.38)$$

$$w_{inst,TOT} = w_{inst,G} + w_{inst,Q1} = 49,14 \text{ mm} \quad (2.39)$$

Con $k_{def} = 0.6$, $\psi_{21} = 0.0$, in assenza di controfrecce iniziale e nelle ipotesi che gli elementi abbiano lo stesso comportamento viscoelastico, le deformazioni finali per i carichi agli SLE con combinazione rara assumono la forma semplificata:

$$w_{fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) = 34,74 \text{ mm} \quad (2.40)$$

$$w_{fin,Q1} = w_{inst,Q1} \cdot (1 + \psi_{21} k_{def}) = 27,43 \text{ mm} \quad (2.41)$$

$$w_{fin,TOT} = w_{fin,G} + w_{fin,Q1} = 62,17 \text{ mm} \quad \implies \quad l/w_{fin,TOT} = 257,4 > 200 \quad (2.42)$$

2.3 Trave Solaio

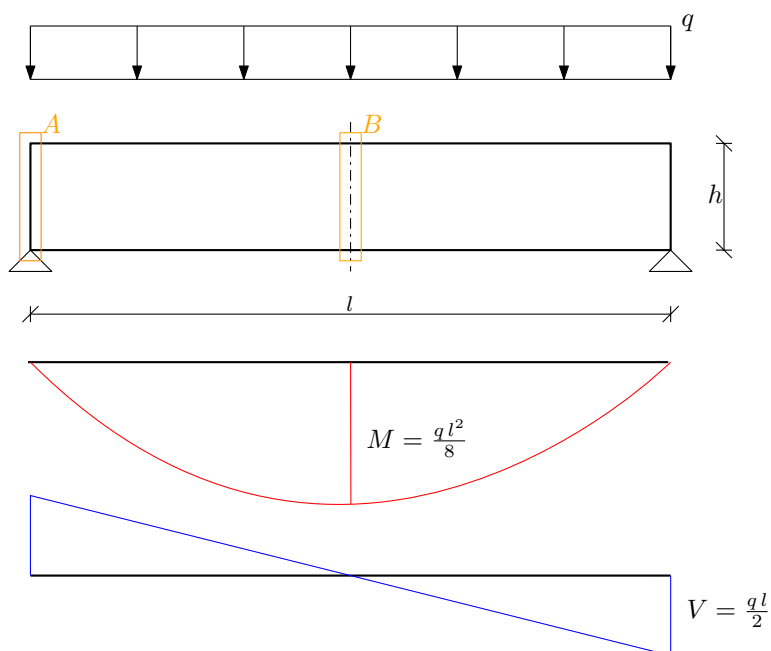


Figura 2.3: Indicazione della nomenclatura e dello schema statico adottato per la trave del solaio

Tabella 2.5: Azioni di progetto SLU nei punti di sezione indicati in figura per la trave del solaio

Sezione	x [mm]	M_d [kN m]	V_d [kN]
A	0,0	0,0	131,36
B	3817,5	250,734	0,0

Tabella 2.6: Valori di progetto per la verifica della trave a doppia rastremazione

Valori geometrici e coefficienti di esposizione o durata del carico					
b	200 mm	h	700 mm	l	7635 mm
γ_M	1,45	k_{mod}	0,9	k_{def}	0,6
Valori di resistenza GL28h [MPa]					
$f_{m,k}$	28,0	$f_{m,d}$	17,379	$E_{0,mean}$	12 600,0
$f_{v,k}$	3,5	$f_{v,d}$	2,172	$E_{0,05}$	10 500,0
$f_{c,90,k}$	2,5	$f_{c,90,d}$	1,552	G_{mean}	650,0
$f_{t,90,k}$	0,5	$f_{t,90,d}$	0,31	G_{05}	540,0

Sezione di verifica: 200×700 mm

Classe di servizio 2: $k_{mod} = 0.9$

disegno, momento, taglio, sezione, ecc

2.3.1 Flessione

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d} = 17,379 \text{ MPa} \quad (2.43)$$

La sollecitazione massima la si ha in mezzzeria, pertanto è pari, avendo sezione rettangolare, a:

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W} = \frac{M_d}{\frac{b \cdot h^2}{6}} = \frac{250,734 \times 10^6 \text{ N mm}}{\frac{200 \cdot 700^2}{6} \text{ mm}^3} = 15,351 \text{ MPa}$$

Sebbene lo sbandamento sia impedito, pur tenendone conto si ha:

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d} \quad (2.44)$$

dove

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{se } \lambda_{rel,m} \leq 0.75 \\ 1.56 - 0.75 \cdot \lambda_{rel,m} & \text{se } 0.75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1.4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{se } \lambda_{rel,m} \geq 0.75 \end{cases} = 1 \quad (2.45)$$

in cui

$$\begin{aligned} \lambda_{rel,m} &= \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{28.0}{100.6}} = 0.528 \\ \sigma_{m,crit} &= \frac{\pi}{l_{eff}} \frac{b^2}{h} E_{0.05} \sqrt{\frac{G_{mean}}{E_{mean}}} = \frac{\pi}{4257.4} \frac{200^2}{700} 10500.0 \sqrt{\frac{650.0}{12600.0}} = 100,6 \text{ MPa} \\ l_{eff} &= \frac{l_t}{a_1 \left(1 - a_2 \frac{a_z}{l_t} \sqrt{\frac{B}{T}} \right)} = \frac{2500}{1.13 \left(1 - 1.44 \frac{350.0}{2500} \sqrt{\frac{5880000000000.0}{1035772357723.6}} \right)} = 4257,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

avendo preso $l_t = \frac{l}{2}$, $a_z = \frac{h}{2}$, i coefficienti di ribaltamento a_1, a_2 in base alla condizione di vincolo (tabella E.2 DIN 1052:2004) ed essendo B e T rispettivamente la rigidezza flessionale attorno all'asse z e torsionale di un rettangolo.

Quindi la resistenza di progetto vale

$$k_{crit} \cdot f_{m,d} = k_{crit} \cdot f_{m,d} = 1 \cdot 17,379 \text{ MPa} = 17,379 \text{ MPa}$$

2.3.2 Taglio

Si deve avere

$$\tau_d \leq f_{v,d} \quad (2.46)$$

La sollecitazione massima che si ha agli appoggi vale

$$\tau_d = 1.5 \frac{V_d}{b_{eff} \cdot h} = \frac{131,36 \times 10^3 \text{ N}}{142.9 \cdot 700 \text{ mm}^2} = 1,97 \text{ MPa}$$

in cui da normativa (C.4.4.8.1.9) per il legno lamellare

$$b_{eff} = k_{cr} \cdot b = \frac{2.5}{f_{v,k}} \cdot b = \frac{2.5}{3.5} \cdot 200 = 142,9 \text{ mm}$$

Essendo $1,97 \text{ MPa} < 2,172 \text{ MPa}$ la verifica è soddisfatta.

2.3.3 Compressione perpendicolare appoggio

Si deve avere

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} \quad (2.47)$$

in cui $k_{c,90}$ vale 1.75 per il legno lamellare e $f_{c,90,d}$ è pari a 1,552 MPa.

La tensione all'appoggio si calcola come

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{V_d}{A_{ef}} = \frac{131,36 \times 10^3 \text{ N}}{52\,800 \text{ mm}^2} = 2,488 \text{ MPa}$$

in cui A_{ef} consiste nell'area di contatto efficace $b \cdot l_{ef}$, calcolata aumentando la lunghezza di appoggio della scarpa metallica (che vale 234 mm) di 30 mm in un solo lato.

Si ha quindi

$$2,488 \text{ MPa} < 1.75 \cdot 1,552 \text{ MPa} = 2,716 \text{ MPa}$$

2.3.4 Freccia

La freccia dovuta al contributo del momento flettente e del taglio, nel caso di semplice appoggio vale

$$w(q) = \frac{5}{384} \frac{q \cdot l^4}{E_{0,mean} \cdot J} + \chi \frac{1}{8} \frac{q \cdot l^2}{G_{mean} \cdot b \cdot h} \quad (2.48)$$

che, per un carico unitario e per una sezione rettangolare, assume il valore di riferimento

$$w(q = 1 \text{ kN m}^{-1}) = \frac{5}{384} \frac{1 \cdot 7635^4}{12600.0 \cdot 5716,667 \times 10^6} + 1.2 \frac{1}{8} \frac{1 \cdot 7635^2}{650.0 \cdot 200 \cdot 700} = 0,71 \text{ mm} \quad (2.49)$$

Le deformazioni istantanee per i carichi agli SLE con combinazione rara valgono:

$$w_{inst,G} = w(q = 15,6 \text{ kN m}^{-1}) = 11,08 \text{ mm} \quad (2.50)$$

$$w_{inst,Q1} = w(q = 8,66 \text{ kN m}^{-1}) = 6,15 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad l/w_{inst,Q1} = 1241,1 > 300 \quad (2.51)$$

$$w_{inst,TOT} = w_{inst,G} + w_{inst,Q1} = 17,23 \text{ mm} \quad (2.52)$$

Con $k_{def} = 0.6$, $\psi_{21} = 0.3$, in assenza di controfreccia iniziale e nelle ipotesi che gli elementi abbiano lo stesso comportamento viscoelastico, le deformazioni finali per i carichi agli SLE con combinazione rara assumono la forma semplificata:

$$w_{fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) = 17,73 \text{ mm} \quad (2.53)$$

$$w_{fin,Q1} = w_{inst,Q1} \cdot (1 + \psi_{21} k_{def}) = 7,26 \text{ mm} \quad (2.54)$$

$$w_{fin,TOT} = w_{fin,G} + w_{fin,Q1} = 24,99 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad l/w_{fin,TOT} = 305,5 > 200 \quad (2.55)$$

Verifica dei collegamenti

3.1 Viti inclinate trave a doppia rastremazione e arcarecci

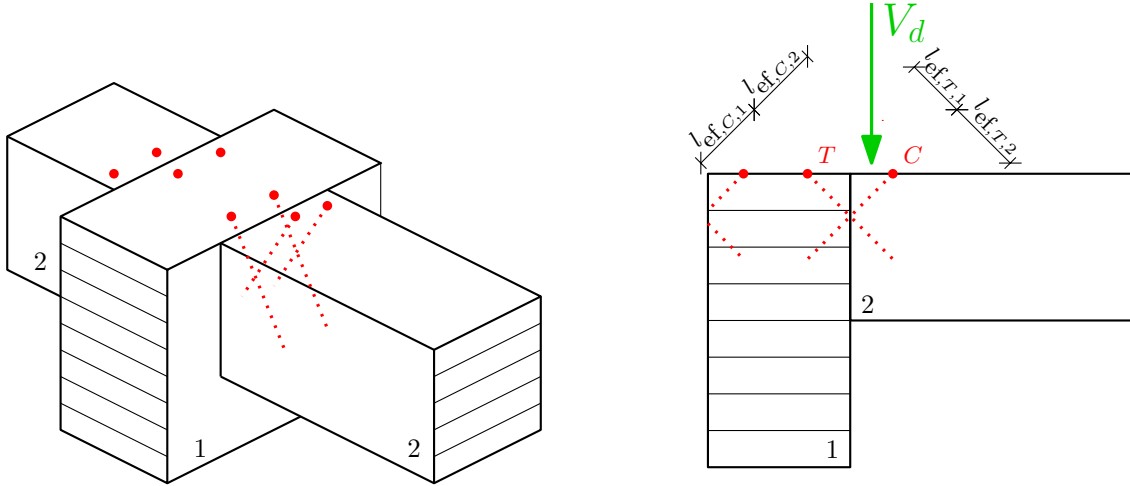


Figura 3.1: Schematizzazione della connessione tramite viti incrociate tra la trave rastremata e gli arcarecci

Tabella 3.1: Valori di progetto della connessione tramite viti inclinate

Valori di progetto della connessione tramite viti inclinate					
d	6 mm	d_1	3,8 mm	n	2
ρ_k^1	425 kg m ⁻³	l_{ef}^1	80 mm	$\alpha_{fibre-vite}^1$	90°
ρ_k^2	425 kg m ⁻³	l_{ef}^2	80 mm	$\alpha_{fibre-vite}^2$	45°
γ_M	1,5	k_{mod}	0,9		
γ_{M1}	1,05	γ_{M2}	1,25	$f_{u,k}$	600 MPa

La connessione tra la trave a doppia rastremazione e ciascun arcareccio viene eseguita tramite due viti a tutto filetto. Entrambe le viti sono sottoposte a puro sforzo assiale ed essendo inclinate ad $\alpha = 45^\circ$ gli sforzi valgono

$$F_{traz} = F_{comp} = V^{arcareccio} \cos(\alpha) = 7704 \text{ N} \cos 45^\circ = 5447,6 \text{ N} \quad (3.1)$$

Per la vite sottoposta a sola trazione si tengono conto dei modi di rottura per trazione del materiale acciaio e della rottura per estrazione della vite lato elemento principale 1 e lato elemento secondario 2. Per la vite sottoposta a sola compressione si tiene conto della rottura per estrazione nei due elementi, e della rottura a instabilità per carico di punta a compressione. Infine si tengono conto delle distanze minime dal bordo e dalle estremità.

3.1.1 Resistenze caratteristiche R_k del singolo connettore

Rottura acciaio

$$F_{ax,Rk}^{acciaio} = 0.9 A_{res} f_{u,k} = 0.9 \frac{\pi d_1^2}{4} f_{u,k} = \frac{\pi (3,8 \text{ mm})^2}{4} 600 \text{ MPa} = 6124,2 \text{ N} \quad (3.2)$$

Estrazione elemento 1

$$F_{ax,Rk}^{estr.1} = \frac{f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef}^i \cdot k_d \cdot n_{ef}}{1,2 \cos^2 \alpha_{f-v} + \sin^2 \alpha_{f-v}} = \frac{17,35 \cdot 6 \cdot 80 \cdot 0.75 \cdot 1}{1,2 \cos^2 90 + \sin^2 90} = 6246,4 \text{ N} \quad (3.3)$$

dove

$$\begin{aligned}
 f_{ax,k} &= 0,52 \cdot d^{-0.5} \cdot l_{ef}^{-0.1,i} \cdot \rho_k^{0.8,i} = 0,52 \cdot 6^{-0.5} \cdot 80^{-0.1} \cdot 425^{0.8} = 17,35 \text{ MPa} \\
 k_d &= \min \left(\frac{d}{8}; 1 \right) = \min \left(\frac{6}{8}; 1 \right) = 0.75 \\
 \alpha_{f-v} &= 90^\circ \quad \text{angolo tra la direzione delle fibre e la vite} \\
 n_{ef} &= n^{0.9} = 1
 \end{aligned}$$

Estrazione elemento 2

$$F_{ax,Rk}^{estr.2} = \frac{f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef}^i \cdot k_d \cdot n_{ef}}{1,2 \cos^2 \alpha_{f-v} + \sin^2 \alpha_{f-v}} = \frac{17,35 \cdot 6 \cdot 80 \cdot 0.75 \cdot 1}{1,2 \cos^2 45 + \sin^2 45} = 5678,6 \text{ N} \quad (3.4)$$

dove

$$\begin{aligned}
 f_{ax,k} &= 0,52 \cdot d^{-0.5} \cdot l_{ef}^{-0.1,i} \cdot \rho_k^{0.8,i} = 0,52 \cdot 6^{-0.5} \cdot 80^{-0.1} \cdot 425^{0.8} = 17,35 \text{ MPa} \\
 k_d &= \min \left(\frac{d}{8}; 1 \right) = \min \left(\frac{6}{8}; 1 \right) = 0.75 \\
 \alpha_{f-v} &= 45^\circ \\
 n_{ef} &= n^{0.9} = 1
 \end{aligned}$$

Instabilità

$$F_{ax,Rk}^{buck} = k_c \cdot N_{pl,k} = 0,717 \cdot 6804,7 \text{ N} = 4877,8 \text{ N} \quad (3.5)$$

dove

$$\begin{aligned}
 k_c &= \begin{cases} 1 & \text{se } \bar{\lambda}_k \leq 0.2 \\ \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \bar{\lambda}_k^2}} & \text{se } \bar{\lambda}_k > 0.2 \end{cases} = 0,717 \\
 N_{pl,k} &= \frac{\pi d_1^2}{4} f_{y,k} = \frac{\pi (3,8 \text{ mm})^2}{4} 600 \text{ MPa} = 6804,7 \text{ N}
 \end{aligned}$$

in cui

$$\begin{aligned}
 k &= 0.5 \left[1 + 0.49 (\bar{\lambda}_k - 0.2) + \bar{\lambda}_k^2 \right] = 0.5 \left[1 + 0.49 (0.713 - 0.2) + 0.713^2 \right] = 0,8795 \\
 \bar{\lambda}_k &= \sqrt{\frac{N_{pl,k}}{N_{ki,k}}} = \sqrt{\frac{6804,7 \text{ N}}{13\,397,9 \text{ N}}} = 0,713 \\
 N_{ki,k} &= \sqrt{c_h E_s I_s} = \sqrt{83,51 \cdot 210\,000 \cdot 10,235} = 13\,397,9 \text{ N} \\
 c_h &= (0.19 + 0.012 d) \rho_k^i \frac{90^\circ + \alpha_{f-v}^i}{180^\circ} = (0.19 + 0.012 d) 425 \frac{90 + 45}{180} = 83,51 \\
 &\quad \text{in cui si è preso il minore tra le due combinazioni di } \alpha_{f-v} \text{ e } \rho_k \\
 E_s &= 210\,000 \text{ MPa} \\
 I_s &= \frac{\pi d_1^4}{64} = \frac{\pi 3,8^4}{64} = 10,235 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

3.1.2 Resistenze di progetto R_d del singolo connettore

$$F_{ax,Rd}^{acciaio} = \frac{F_{ax,Rk}^{acciaio}}{\gamma_{M2}} = \frac{6124,2 \text{ N}}{1.25} = 4899,4 \text{ N} \quad (3.6)$$

$$F_{ax,Rd}^{estr.1} = \frac{k_{mod} \cdot F_{ax,Rk}^{estr.1}}{\gamma_M} = \frac{0.9 \cdot 6246,4 \text{ N}}{1.5} = 3747,9 \text{ N} \quad (3.7)$$

$$F_{ax,Rd}^{estr.2} = \frac{k_{mod} \cdot F_{ax,Rk}^{estr.2}}{\gamma_M} = \frac{0.9 \cdot 5678,6 \text{ N}}{1.5} = 3407,1 \text{ N} \quad (3.8)$$

$$F_{ax,Rd}^{buck} = \frac{F_{ax,Rk}^{buck}}{\gamma_{M1}} = \frac{4877,8 \text{ N}}{1.05} = 4645,6 \text{ N} \quad (3.9)$$

La resistenza di progetto del singolo connettore vale, per la sollecitazione di trazione:

$$F_{ax,Rd,traz}^{connettore} = \min[\text{eqq. (3.6), (3.7), (3.8)}] = 3407,1 \text{ N}; \quad (3.10)$$

mentre per quella di compressione:

$$F_{ax,Rd,comp}^{connettore} = \min[\text{eqq. (3.7), (3.8), (3.9)}] = 3407,1 \text{ N}. \quad (3.11)$$

3.1.3 Resistenza di progetto della connessione e verifica

Avendo una doppia vite le resistenze di progetto della connessione equivalgono alle resistenze della singola vite appena calcolate, moltiplicate per il numero efficace $n_{ef} = n^{0.9} = 1.87$.

Per la sollecitazione di trazione si ha

$$F_{ax,Rd,traz}^{connessione} = 6358,0 \text{ N} > F_{traz} = 5447,6 \text{ N}; \quad (3.12)$$

mentre per quella di compressione:

$$F_{ax,Rd,comp}^{connessione} = 6358,0 \text{ N} > F_{comp} = 5447,6 \text{ N} \quad (3.13)$$

Le verifiche sono pertanto soddisfatte

3.1.4 Distanze minime e distanze effettive