

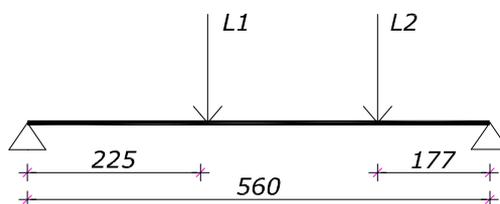
INTERVENTO 6 - solaio di calpestio piano 1 (stanze 13,14,15)

L'intervento 6 consiste nel rinforzo con profili metallici delle travi in legno a supporto del solaio di calpestio delle stanze 13,14 e 15.

Per gli elementi in legno si considerano sezioni di verifica ridotte rispetto alla effettiva geometria e resistenze di progetto ridotte rispetto alle tabelle di norma. A tale proposito si veda quanto riportato nel capitolo relativo ai materiali.

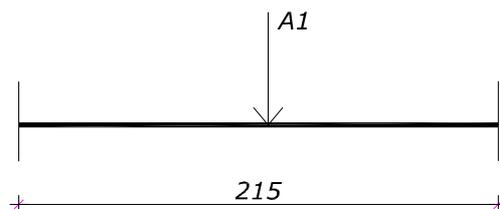
STANZA 13-1 (PORZIONE SOPRA STANZA 4)

Trave principale in acciaio (Pi)



$k(L1) = 1000 \text{ kN/m}$
 $k(L2) = 1111 \text{ kN/m}$
Reazione scarica sugli inghisaggi nella muratura

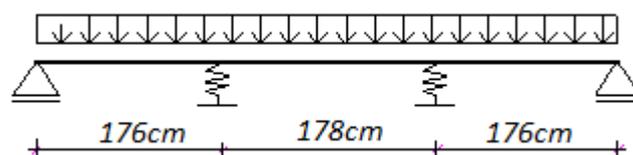
Trave a T in acciaio (Ti)



Per la determinazione della rigidezza alla traslazione della trave a T, si considera il caso più gravoso.

$k(A1) = 12985 \text{ kN/m}$
Reazione scarica sulla trave principale in acciaio

Trave secondaria in acciaio (Ai)

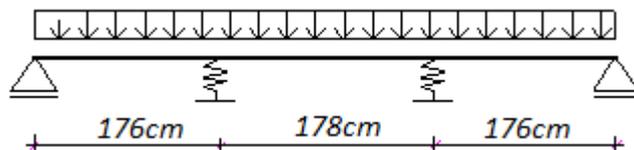


Molle=trave a T in acciaio

$k= 3333 \text{ kN/m}$

Reazione molle scarica sulla trave a T in acciaio

Trave in legno (Li)

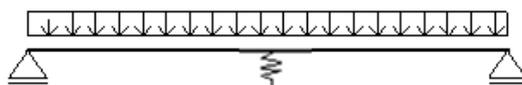


Molle=trave principale in acciaio

Reazione molle scarica sulla trave principale in acciaio

Verifica dei travetti 10x6 in legno di pioppo

Allo stato attuale i travetti risulterebbero non verificati con i carichi di progetto, si decide pertanto di rompitrattarli mediante una trave secondaria che ne spezzi la luce. Lo schema statico più gravoso per il travetto è il seguente.



$l=1.15\text{m}$

$i= 30 \text{ cm}$

$pp=0.023 \text{ kN/m}$

$\text{perm} = 3.6 \text{ kN/m}^2 \times 0.30 + 0.023 = 1.1 \text{ kN/m}$

$\text{acc} = 3 \times 0.3 = 0.9 \text{ kN/m}$

$q_{\text{SLU}} = 2.78 \text{ kN/m}$

$q_{\text{SLE}} = 2 \text{ kN/m}$

$k= 3333 \text{ kN/m}$

Reazioni molle

$R_{\text{SLU}} = 3.97 \text{ kN}$

$R_{\text{SLE}} = 2.85 \text{ kN}$

Reazioni appoggi

$R_{\text{SLU}} = 1.22 \text{ kN}$

$R_{\text{SLE}} = 0.88 \text{ kN}$

Verifica agli Stati limite ultimi

Le sollecitazioni di verifica risultano

$M_{\text{Sd}} = 0.43 \text{ kNm}$

$T_{\text{Sd}} = 1.98 \text{ kN}$

Verifica a flessione

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{7.33 \text{ N/mm}^2}{0.65 * 13.8 \text{ N/mm}^2} = 0.82 < 1$$

Verifica a taglio

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{T}{bh} = 0.49 \text{ N/mm}^2 < f_{v,d} = 0.65 * 1.44 = 0.936 \text{ N/mm}^2$$

Le verifiche gli SLU risultano quindi soddisfatte.

Verifica SLE - deformabilità

Trattandosi di legno esistente, che ha già scontato le deformazioni viscoso sotto i carichi di lunga durata, non si applica la riduzione del modulo elastico mediante il k_{def} .

Si ottiene quindi

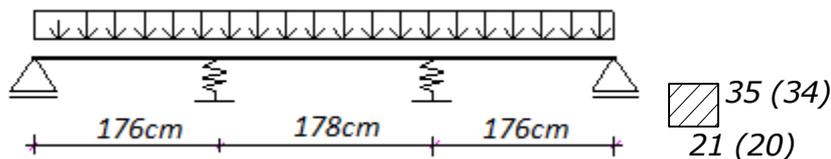
$$\delta = 2.6 \text{ mm} = L/440$$

Le verifiche gli SLE risultano quindi soddisfatte.

Verifica delle trave 21x35 in legno di pioppo

Le travi in legno vengono rinforzate mediante la messa in opera di due profili metallici posti a circa un terzo della luce della trave in direzione trasversale.

Lo schema statico risulta quindi il seguente.



$$k = 1000 \text{ kN/m}$$
$$pp = 0.34 \text{ kN/m}$$

$$q_{SLU} = 1.22 * 2 / 0.3 + 1.3 * 0.34 = 8.57 \text{ kN/m}$$

$$q_{SLE} = 0.88 * 2 / 0.3 + 0.34 = 6.20 \text{ kN/m}$$

Reazioni molle

$$R_{SLU} = 9.05 \text{ kN}$$

$$R_{SLE} = 6.55 \text{ kN}$$

Verifica agli Stati limite ultimi

Le sollecitazioni di verifica risultano

$$M_{Sd} = 14.16 \text{ kNm}$$

$$T_{Sd} = 13.66 \text{ kN}$$

Verifica a flessione

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{3.67 \text{ N/mm}^2}{0.65 * 13.8 \text{ N/mm}^2} = 0.40 < 1$$

Verifica a taglio

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{T}{bh} = 0.30 \text{ N/mm}^2 < f_{v,d} = 0.65 * 1.44 = 0.936 \text{ N/mm}^2$$

Le verifiche gli SLU risultano quindi soddisfatte.

Verifica SLE - deformabilità

Trattandosi di legno esistente, che ha già scontato le deformazioni viscoso sotto i carichi di lunga durata, non si applica la riduzione del modulo elastico mediante il k_{def} .

Si ottiene quindi

$$\delta = 7.6 \text{ mm} = L/695$$

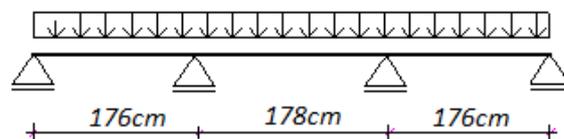
Le verifiche gli SLE risultano quindi soddisfatte.

Calcolo delle reazioni vincolari della trave di bordo in legno di pino

Le travi in legno vengono rinforzate mediante la messa in opera di due profili metallici posti a circa un terzo della luce della trave in legno in direzione trasversale.

La trave è in prossimità del muro e quindi dell'appoggio della trave principale in acciaio, dunque scarica direttamente sull'appoggio stesso.

Lo schema statico risulta quindi il seguente. Si analizza solo il caso della trave con maggiore area di competenza.



$$q_{SLU} = 1.22/0.3 + 1.3 * 0.34 = 4.51 \text{ kN/m}$$

Reazioni max appoggi per verifica inghisaggi nella muratura delle travi principali

$$R_{SLU} = 8.77 \text{ kN}$$

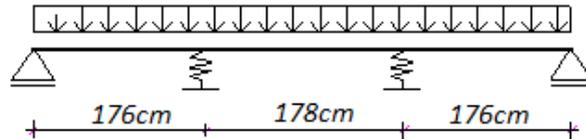
Verifica delle travi secondarie in acciaio

Le travi secondarie in acciaio vengono poste in direzione longitudinale al di sotto dei travetti rompitratta esistenti per diminuire la luce dei travetti e ridurre la luce di influenza delle travi in legno esistenti. Le travi secondarie sono caratterizzate da una sezione di questo tipo:

	$A = 2120 \text{ mm}^2$
	$J_y = 1322719 \text{ mm}^4$
	$W_y = 23526 \text{ mm}^4$
	$M_{Rd} = 6.16 \text{ kNm}$
	$V_{Rd} = 169 \text{ kN}$

	pp=0.17kN/m
--	-------------

Lo schema statico risulta quindi il seguente.



$$k(A1) = 12985 \text{ kN/m}$$

$$q_{SLU} = 3.97/0.3 + 1.3 \cdot 0.17 = 13.4 \text{ kN/m}$$

$$q_{SLE} = 2.85/0.3 + 0.17 = 9.7 \text{ kN/m}$$

Reazioni molle

$$R_{SLU}(A1) = 26 \text{ kN};$$

$$R_{SLE}(A1) = 18.43 \text{ kN};$$

Verifica a flessione

$$M_{Sdy} = 4 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Sd,y}}{M_{Rd,y}} = 0.65 < 1$$

Verifica a taglio

$$V_{Sd} = 14.1 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} = 0.08 < 1$$

Verifica di deformabilità

freccia max:

$$\delta = 3 \text{ mm} \approx L/585$$

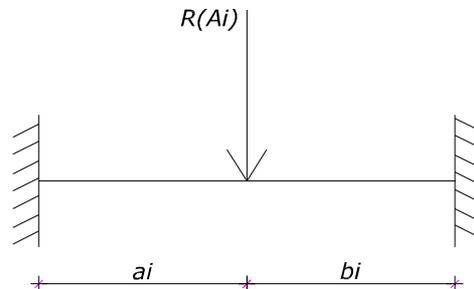
Verifica delle travi a T1 in acciaio

Le travi a T in acciaio vengono poste in direzione trasversale al di sotto delle travi secondarie in acciaio tra le travi in legno a circa un terzo della loro luce. Le travi a T sono caratterizzate da una sezione di questo tipo:

	A=2300 mm ²
	J _y =3200880 mm ⁴
	W _y =36001 mm ⁴
	M _{Rd} =9.43 kNm
	V _{Rd} =166.3 kN

pp=0.18 kN/m

Lo schema statico risulta quindi il seguente (si analizza la situazione più gravosa).



$a_1=107.5\text{cm}$, $b_1=107.5\text{cm}$

$R_{SLU}(A1) = 26\text{ kN}$ $R_{SLE}(A1) = 18.43\text{ kN}$

Reazioni estremità

$R_{SLU} = 13\text{ kN}$

$R_{SLE} = 9.21\text{ kN}$

Verifica a flessione

$M_{Sd,y} = 7.93\text{ kNm}$

$$\frac{M_{Sd,y}}{M_{Rd,y}} = 0.84 < 1$$

Verifica a taglio

$V_{Sd} = 13\text{ kN}$

$$\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} = 0.08 < 1$$

Verifica a instabilità laterale

$M_{cr} = 83.9\text{ kNm}$ $\bar{\lambda}_{LT} = 0.34$ $\Phi_{LT} = 0.62$ $\chi_{LT} = 0.92$

$M_{b,Rd} = 8.68\text{ kNm}$

$$\frac{M_{Sd}}{M_{b,Rd}} = 0.91 < 1$$

Verifica di deformabilità

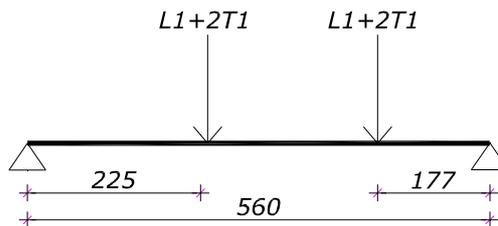
Trave $\delta = 3.1\text{ mm} \approx L/780$

Verifica delle travi principali (tipo 1) in acciaio

Le travi principali in acciaio vengono poste in direzione trasversale al di sotto delle travi in legno a circa un terzo della loro luce per ridurne la deformabilità. Le travi principali in acciaio sono caratterizzate da una sezione di altezza variabile dai 15 cm in appoggio ai 25 cm in mezzera.

	$A=7440 \text{ mm}^2$ (sezione media)
	$J_y=30690725 \text{ mm}^4$ (sezione media)
	$M_{Rd}=77.64 \text{ kNm}$ (sezione max momento sollecitante)
	$V_{Rd}=490 \text{ kN}$ (sezione appoggio)
	$pp=0.584 \text{ kN/m}$ (sezione media)

Lo schema statico risulta quindi il seguente.



Cautelativamente, si considerano le reazioni trasmesse dalle due travi in legno come uguali tra loro, in realtà il carico applicato a destra della trave principale risulta inferiore, competendogli una minore area di influenza.

$$R_{T1,SLU} = 13 \text{ kN}$$

$$R_{L,SLU} = 9.05 \text{ kN}$$

$$R_{T1,SLE} = 9.21 \text{ kN}$$

$$R_{L,SLE} = 6.55 \text{ kN}$$

$$R_{tot,SLU} = 35.05 \text{ kN}$$

$$R_{tot,SLE} = 24.97 \text{ kN}$$

Reazioni appoggio

$$R_{SLU} = 38.05 \text{ kN};$$

Verifica a flessione

$$M_{Sdy} = 72.1 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Sd,y}}{M_{Rd,y}} = 0.93 < 1$$

Verifica a taglio

$$V_{Sd} = 38.05 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} = 0.08 < 1$$

Verifica di deformabilità

$\delta=20 \text{ mm} \approx L/280$ (freccia calcolata considerando la sezione costante a tratti)

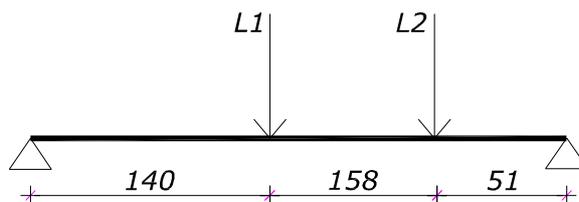
STANZA 13-2 (PORZIONE SOPRA STANZA 2)

Le sezioni degli elementi di rinforzo sono le stesse della stanza 13-1 ma le luci risultano inferiori. Anche le sezioni degli elementi principali non risultano inferiori rispetto a quelle della stanza 13-1, pertanto le verifiche di resistenza e deformabilità risulteranno sicuramente soddisfatte, essendo meno gravose di quelle svolte al paragrafo precedente.

STANZA 14

Per il rinforzo della stanza 14, ad eccezione dell'elemento a T, che in questo caso presenta sezione minore, si utilizzano gli stessi profili utilizzati nella stanza 15 ma con luci minori, pertanto le loro verifiche risulteranno sicuramente soddisfatte. ci si limita a riportare quindi la verifica del solo elemento a T.

Trave principale in acciaio (Pi)

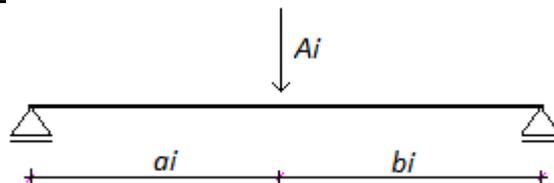


$k(L1) = 3333 \text{ kN/m}$

$k(L2) = 5000 \text{ kN/m}$

Reazione scarica sugli inghisaggi nella muratura

Trave a T in acciaio (Ti)

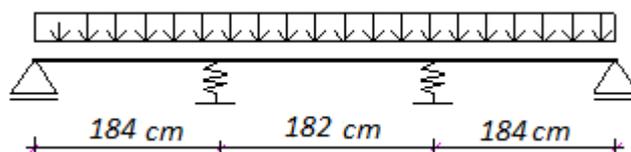


$a1=70\text{cm}, b1=70\text{cm}$

$k(A1) = 31460 \text{ kN/m}$

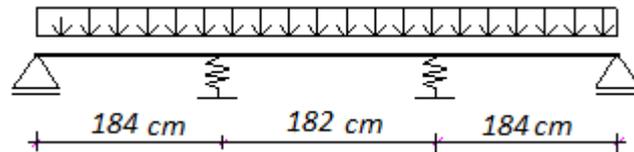
Reazione scarica sulla trave principale in acciaio

Trave secondaria in acciaio (Ai)



Molle=trave a T in acciaio
Reazione molle scarica sulla trave a T in acciaio
 $k= 3333 \text{ kN/m}$

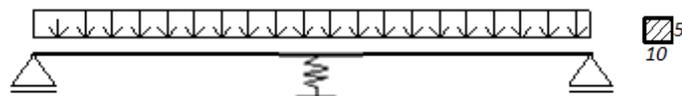
Trave in legno (Li)



Molle=trave principale in acciaio
Reazione molle scarica sulla trave principale in acciaio

Verifica dei travetti 10x5 in legno di pioppo

Allo stato attuale i travetti risulterebbero non verificati con i carichi di progetto, si decide pertanto di rompitrattarli mediante una trave secondaria che ne spezzi la luce.
Lo schema statico più gravoso per il travetto è il seguente.



$L=0.80 \text{ m}$
 $i= 30 \text{ cm}$
 $k= 3333 \text{ kN/m}$

$pp=0.023 \text{ kN/m}$
 $perm = 3.6 \text{ kN/m}^2 \times 0.30 + 0.023= 1.1 \text{ kN/m}$
 $acc = 3 \times 0.3 = 0.9 \text{ kN/m}$

$q_{SLU}= 2.84 \text{ kN/m}$
 $q_{SLE} = 2 \text{ kN/m}$

Reazioni molle
 $R_{SLU}(A1)= 2.73 \text{ kN}$
 $R_{SLE}(A1)= 1.96 \text{ kN}$

Reazioni appoggi estremità
 $R_{SLU}(A1)= 0.86 \text{ kN}$
 $R_{SLE}(A1)= 0.62 \text{ kN}$

Verifica agli Stati limite ultimi

Le sollecitazioni di verifica risultano
 $M_{Sd}= 0.23 \text{ kNm}$
 $T_{Sd} = 0.9 \text{ kN}$

Verifica a flessione

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{5.52 \text{ N/mm}^2}{0.65 * 13.8 \text{ N/mm}^2} = 0.62 < 1$$

Verifica a taglio

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{T}{bh} = 0.27 \text{ N/mm}^2 < f_{v,d} = 0.65 * 1.44 = 0.936 \text{ N/mm}^2$$

Le verifiche gli SLU risultano quindi soddisfatte.

Verifica SLE - deformabilità

Trattandosi di legno esistente, che ha già scontato le deformazioni viscosse sotto i carichi di lunga durata, non si applica la riduzione del modulo elastico mediante il k_{def} .

Si ottiene quindi

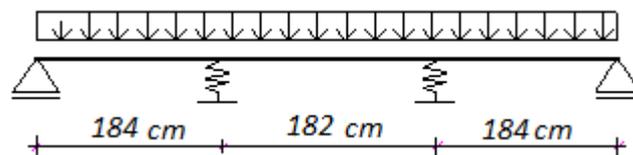
$$\delta = 1.2 \text{ mm} = L/666$$

Le verifiche gli SLE risultano quindi soddisfatte.

Verifica della trave 23x32 in legno di pioppo

Le travi in legno vengono rinforzate mediante la messa in opera di due profili metallici posti a circa un terzo della luce della trave in legno in direzione trasversale.

Lo schema statico risulta quindi il seguente.



$$k_1 = 9871 \text{ kN/m}$$

$$i = 83 \text{ cm}$$

$$pp = 0.34 \text{ kN/m}$$

$$q_{SLU} = 2 * 0.86 / 0.3 + 1.3 * 0.34 = 6.18 \text{ kN/m}$$

$$q_{SLE} = 2 * 0.62 / 0.3 + 0.34 = 4.47 \text{ kN/m}$$

Reazioni molle

$$R_{SLU} = 10.46 \text{ kN}$$

$$R_{SLE} = 7.56 \text{ kN}$$

Verifica agli Stati limite ultimi

Le sollecitazioni di verifica risultano

$$M_{Sd} = 4.13 \text{ kNm}$$

$$T_{Sd} = 6.50 \text{ kN}$$

Verifica a flessione

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{1.05 \text{ N/mm}^2}{0.65 * 13.8 \text{ N/mm}^2} = 0.12 < 1$$

Verifica a taglio

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{T}{bh} = 0.11 \text{ N/mm}^2 < f_{v,d} = 0.65 * 1.44 = 0.936 \text{ N/mm}^2$$

Le verifiche gli SLU risultano quindi soddisfatte.

Verifica SLE - deformabilità

Trattandosi di legno esistente, che ha già scontato le deformazioni viscoso sotto i carichi di lunga durata, non si applica la riduzione del modulo elastico mediante il k_{def} .

Si ottiene quindi

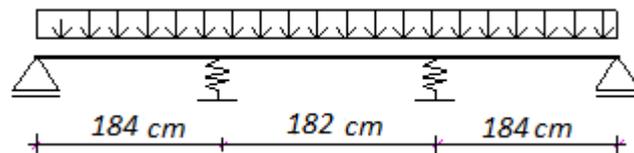
$$\delta = 2.6 \text{ mm} = L/700$$

Le verifiche gli SLE risultano quindi soddisfatte.

Verifica della trave diametro 25 in legno di pioppo

Le travi in legno vengono rinforzate mediante la messa in opera di due profili metallici posti a circa un terzo della luce della trave in direzione trasversale.

Lo schema statico risulta quindi il seguente.



$$k = 5000 \text{ kN/m}$$

$$p_p = 0.23 \text{ kN/m}$$

$$q_{SLU} = 2 * 0.86 / 0.3 + 1.3 * 0.34 = 6.18 \text{ kN/m}$$

$$q_{SLE} = 2 * 0.62 / 0.3 + 0.34 = 4.47 \text{ kN/m}$$

Reazioni molle

$$R_{SLU} = 10.50 \text{ kN}$$

$$R_{SLE} = 7.59 \text{ kN}$$

Verifica agli Stati limite ultimi

Le sollecitazioni di verifica risultano

$$M_{Sd} = 4 \text{ kNm}$$

$$T_{Sd} = 6.5 \text{ kN}$$

Verifica a flessione

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{2.6 \text{ N/mm}^2}{0.65 * 13.8 \text{ N/mm}^2} = 0.30 < 1$$

Verifica a taglio

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{T}{bh} = 0.31 \text{ N/mm}^2 < f_{v,d} = 0.65 * 1.44 = 0.936 \text{ N/mm}^2$$

Le verifiche gli SLU risultano quindi soddisfatte.

Verifica SLE - deformabilità

Trattandosi di legno esistente, che ha già scontato le deformazioni viscoso sotto i carichi di lunga durata, non si applica la riduzione del modulo elastico mediante il k_{def} .

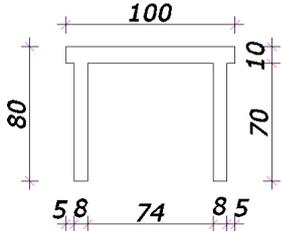
Si ottiene quindi

$$\delta = 1.8 \text{ mm} = L/1000$$

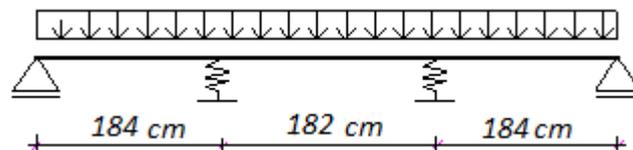
Le verifiche gli SLE risultano quindi soddisfatte.

Verifica delle travi secondarie in acciaio

Le travi secondarie in acciaio vengono poste in direzione longitudinale al di sotto dei travetti rompitratta esistenti per diminuire la luce dei travetti e ridurre la luce di influenza delle travi in legno esistenti. Le travi secondarie sono caratterizzate da una sezione di questo tipo:

	$A=2120 \text{ mm}^2$
	$J_y=1322719 \text{ mm}^4$
	$W_y=23526 \text{ mm}^4$
	$M_{Rd}=6.16 \text{ kNm}$
	$V_{Rd}=169 \text{ kN}$
	$pp=0.17 \text{ kN/m}$

Lo schema statico risulta quindi il seguente.



$$k(A1) = 31460 \text{ kN/m};$$

$$i(A1) = 70 \text{ cm};$$

$$q_{SLU} = 2.73/0.3 + 1.3 * 0.17 = 9.32 \text{ kN/m}$$

$$q_{SLE} = 1.96/0.3 = 6.53 \text{ kN/m}$$

Reazioni molle

$R_{SLU}(A1) = 18.72 \text{ kN};$
 $R_{SLE}(A1) = 13.12 \text{ kN};$

Verifica a flessione

$M_{Sd,y} = 3.06 \text{ kNm}$

$$\frac{M_{Sd,y}}{M_{Rd,y}} = 0.50 < 1$$

Verifica a taglio

$V_{Sd} = 10.23 \text{ kN}$

$$\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} = 0.06 < 1$$

Verifica di deformabilità

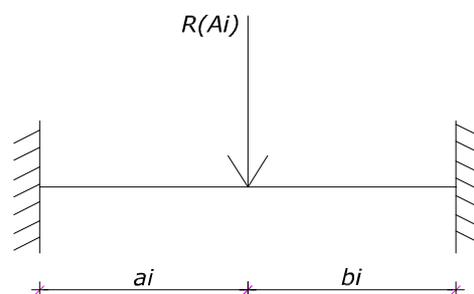
$\delta = 2.1 \text{ mm} \approx L/870$

Verifica delle travi a T2 in acciaio

Le travi a T in acciaio vengono poste in direzione trasversale al di sotto delle travi secondarie in acciaio tra le travi in legno a circa un terzo della loro luce. Le travi a T sono caratterizzate da una sezione di questo tipo:

	$A = 21400 \text{ mm}^2$
	$J_y = 1920329 \text{ mm}^4$
	$W_y = 25127 \text{ mm}^4$
	$M_{Rd} = 6.58 \text{ kNm}$
	$V_{Rd} = 136.09 \text{ kN}$
	$pp = 0.165 \text{ kN/m}$

Lo schema statico risulta quindi il seguente.



$R_{SLU}(A1) = 18.72 \text{ kN};$
 $a1 = 70 \text{ cm}, b1 = 70 \text{ cm}$

$R_{SLE}(A1) = 13.12 \text{ kN}$

Reazioni

$$R_{SLU}(T1) = 9.36 \text{ kN}$$

$$R_{SLE}(T1) = 6.56 \text{ kN}$$

Verifica a flessione

$$M_{Sdy} = 3.3 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Sd,y}}{M_{Rd,y}} = 0.50 < 1$$

Verifica a taglio

$$V_{Sd} = 9.36 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} = 0.07 < 1$$

Verifica a instabilità laterale

$$M_{cr} = 107.8 \text{ kNm} \quad \bar{\lambda}_{LT} = 0.25 \quad \Phi_{LT} = 0.53 \quad \chi_{LT} = 1$$

$$M_{b,Rd} = 6.58 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Sd}}{M_{b,Rd}} = 0.50 < 1$$

Verifica di deformabilità

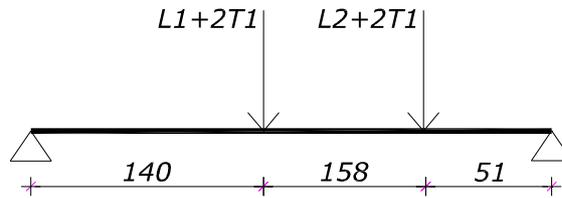
$$\delta = 0.23 \text{ mm} \approx L/6000$$

Verifica delle travi principali di tipo 2 in acciaio

Le travi principali in acciaio vengono poste in direzione trasversale al di sotto delle travi in legno a circa un terzo della loro luce per ridurre la deformabilità. Le travi principali in acciaio sono caratterizzate da una sezione di altezza variabile dai 12 cm in appoggio ai 20 cm in mezzeria.

	$A = 6480 \text{ mm}^2$ (valore medio)
	$J_y = 16542684 \text{ mm}^4$ (valore medio)
	$M_{Rd} = 50.45 \text{ kNm}$ (sezione max momento sollecitante)
	$V_{Rd} = 381 \text{ kN}$ (sezione appoggio)
	$pp = 0.508 \text{ kN/m}$ (valore medio)

Lo schema statico risulta quindi il seguente.



$$R_{L1, SLU} = 10.46 \text{ kN}$$

$$R_{L2, SLU} = 10.50 \text{ kN}$$

$$R_{T1, SLU} = 9.36 \text{ kN}$$

$$R_{L1, SLE} = 7.56 \text{ kN}$$

$$R_{L2, SLE} = 7.59 \text{ kN}$$

$$R_{T1, SLE} = 6.56 \text{ kN}$$

Reazioni per verifica appoggio ed inghisaggio della trave sulla muratura

$$R_{SLU} = 36.66 \text{ kN};$$

Verifica a flessione

$$M_{Sdy} = 30.44 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Sd,y}}{M_{Rd,y}} = 0.72 < 1$$

Verifica a taglio

$$V_{Sd} = 36.66 \text{ kN}$$

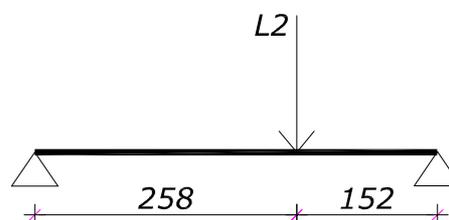
$$\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} = 0.1 < 1$$

Verifica di deformabilità

$$\delta = 7.1 \text{ mm} \approx L/490$$

STANZA 15

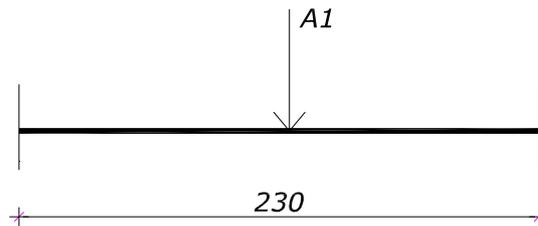
Trave principale in acciaio (Pi)



$$k(L2) = 2061 \text{ kN/m}$$

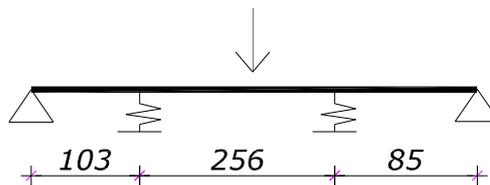
Reazione scarica sul collegamento nella muratura

Trave a T in acciaio (Ti)



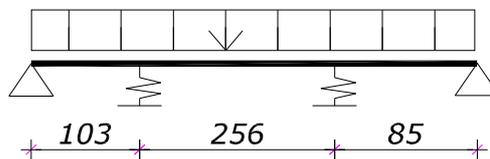
$k(A1) = 10607 \text{ kN/m}$
Reazione scarica sulla trave principale in acciaio

Trave secondaria in acciaio (Ai)



Molle=trave a T in acciaio
 $k=1666 \text{ kN/m}$
Reazione molle scarica sulla trave a T in acciaio

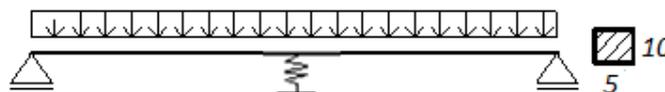
Trave in legno (Li)



Molle=trave principale in acciaio
Reazione molle scarica sulla trave principale in acciaio

Verifica dei travetti 5x10 in legno di pioppo

Allo stato attuale i travetti risulterebbero non verificati con i carichi di progetto, si decide pertanto di rompitrattarli mediante una trave secondaria che ne spezzi la luce. Lo schema statico più gravoso per il travetto è il seguente.



$i = 30 \text{ cm}$
 $I = 1.15$
 $pp = 0.023 \text{ kN/m}$
 $perm = 3.6 \text{ kN/m}^2 \times 0.30 + 0.023 = 1.1 \text{ kN/m}$
 $acc = 3 \times 0.3 = 0.9 \text{ kN/m}$
 $k = 1666 \text{ kN/m}$

$$q_{SLU} = 2.84 \text{ kN/m}$$
$$q_{SLE} = 2 \text{ kN/m}$$

Reazioni molle

$$R_{SLU} = 3.80 \text{ kN}$$
$$R_{SLE} = 2.73 \text{ kN}$$

Reazioni appoggi estremità

$$R_{SLU} = 1.30 \text{ kN}$$
$$R_{SLE} = 0.93 \text{ kN}$$

Verifica agli Stati limite ultimi

Le sollecitazioni di verifica risultano

$$M_{Sd} = 0.35 \text{ kNm}$$
$$T_{Sd} = 1.90 \text{ kN}$$

Verifica a flessione

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{4.2 \text{ N/mm}^2}{0.65 * 13.8 \text{ N/mm}^2} = 0.46 < 1$$

Verifica a taglio

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{T}{bh} = 0.57 \text{ N/mm}^2 < f_{v,d} = 0.65 * 1.44 = 0.936 \text{ N/mm}^2$$

Le verifiche gli SLU risultano quindi soddisfatte.

Verifica SLE - deformabilità

Trattandosi di legno esistente, che ha già scontato le deformazioni viscosse sotto i carichi di lunga durata, non si applica la riduzione del modulo elastico mediante il k_{def} .

Si ottiene quindi
 $\delta = 2.1 \text{ mm} = L/550$

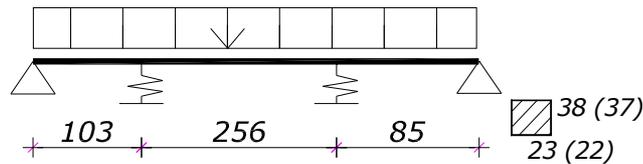
Le verifiche gli SLE risultano quindi soddisfatte.

Verifica delle trave 23x38 in legno di pioppo

Le travi in legno vengono rinforzate mediante la messa in opera di due profili metallici posti a circa un terzo della luce della trave in legno in direzione trasversale.

La trave è in prossimità del muro e quindi dell'appoggio della trave principale in acciaio, dunque scarica direttamente sull'appoggio stesso.

Lo schema statico risulta quindi il seguente.



$$k = 2061 \text{ kN/m}$$
$$p_p = 0.40 \text{ kN/m}$$

$$q_{SLU} = 2 \cdot 1.30 / 0.3 + 1.3 \cdot 0.4 = 9.18 \text{ kN/m}$$
$$q_{SLE} = 2 \cdot 0.93 / 0.3 + 0.4 = 6.6 \text{ kN/m}$$

Reazione molle

$$R_{SLU} = 7.71 \text{ kN}$$
$$R_{SLE} = 5.54 \text{ kN}$$

Reazione appoggio

$$R_{SLU} = 13.21 \text{ kN}$$

Verifica agli Stati limite ultimi

Le sollecitazioni di verifica risultano

$$M_{Sd} = 15.66 \text{ kNm}$$
$$T_{Sd} = 13.20 \text{ kN}$$

Verifica a flessione

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{3.12 \text{ N/mm}^2}{0.65 \cdot 13.8 \text{ N/mm}^2} = 0.35 < 1$$

Verifica a taglio

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{T}{bh} = 0.24 \text{ N/mm}^2 < f_{v,d} = 0.65 \cdot 1.44 = 0.936 \text{ N/mm}^2$$

Le verifiche gli SLU risultano quindi soddisfatte.

Verifica SLE - deformabilità

Trattandosi di legno esistente, che ha già scontato le deformazioni viscosse sotto i carichi di lunga durata, non si applica la riduzione del modulo elastico mediante il k_{def} .

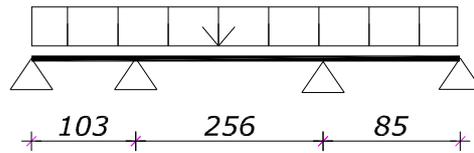
Si ottiene quindi

$$\delta = 4.1 \text{ mm} = L/1080$$

Le verifiche agli SLE risultano quindi soddisfatte.

Calcolo della reazioni vincolari delle travi di bordo in legno di pioppo

Le reazioni della trave in legno di bordo lato esterno devono essere sommate a quelle della trave di rinforzo per il dimensionamento degli ancoraggi inghisati.



$$pp=0.40 \text{ kN/m}$$

$$q_{SLU} = 1.30/0.3 + 1.3 * 0.4 = 4.85 \text{ kN/m}$$

$$q_{SLE} = 0.93/0.3 + 0.4 = 3.50 \text{ kN/m}$$

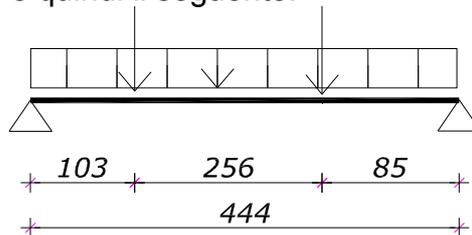
Reazioni appoggi interni

$$R_{SLU} = 10.86$$

Calcolo della reazioni vincolari della travi di bordo 22x35 lato arco esistente

La trave di bordo lato arco in muratura, sostituita con una delle travi ricavate dalla rimozione del controsoffitto sovrastante la stanza 4, di dimensioni 22x35, diversamente dalle altre travi di bordo, viene verificata come trave semplicemente appoggiata su luce $l=4.44\text{m}$. Oltre al carico distribuito trasmesso dai travetti, su di essa agisce la reazione della trave di rinforzo, così come calcolata nel successivo paragrafo sul collegamento della trave di rinforzo all'arco in muratura.

Lo schema da considerare è quindi il seguente.



$$pp=0.40 \text{ kN/m}$$

$$q_{SLU} = 1.47/0.3 + 1.3 * 0.4 = 5.42 \text{ kN/m}$$

$$q_{SLE} = 1.06/0.3 + 0.4 = 3.93 \text{ kN/m}$$

$$F_{SLU} = 6 \text{ kN}$$

$$F_{SLE} = 5.19 \text{ kN}$$

Sotto l'azione dei carichi sopra riportati, le sollecitazioni di verifica risultano

$$M_{Sd} = 18.7 \text{ kNm}$$

$$T_{Sd} = 18.3 \text{ kN}$$

Verifica a flessione

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{4.16 \text{ N/mm}^2}{0.65 * 13.8 \text{ N/mm}^2} = 0.46 < 1$$

Verifica a taglio

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{T}{bh} = 0.36 \text{ N/mm}^2 < f_{v,d} = 0.65 * 1.44 = 0.936 \text{ N/mm}^2$$

Le verifiche gli SLU risultano quindi soddisfatte.

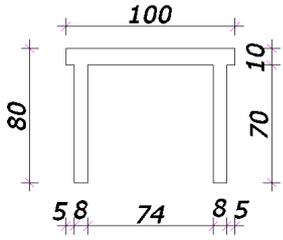
Verifica SLE - deformabilità

Trattandosi di legno esistente, che ha già scontato le deformazioni viscoso sotto i carichi di lunga durata, non si applica la riduzione del modulo elastico mediante il k_{def} .

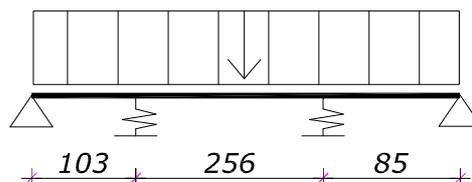
Si ottiene quindi
 $\delta = 5.7 \text{ mm} = L/780$

Verifica delle travi secondarie in acciaio

Le travi secondarie in acciaio vengono poste in direzione longitudinale al di sotto dei travetti rompitratta esistenti per diminuire la luce dei travetti e ridurre la luce di influenza delle travi in legno esistenti. Le travi secondarie sono caratterizzate da una sezione di questo tipo:

	$A = 2120 \text{ mm}^2$
	$J_y = 1322719 \text{ mm}^4$
	$W_y = 23526 \text{ mm}^4$
	$M_{Rd} = 6.16 \text{ kNm}$
	$V_{Rd} = 169 \text{ kN}$
	$pp = 0.17 \text{ kN/m}$

Lo schema statico risulta quindi il seguente.



$$k(A1) = 10607 \text{ kN/m}$$

$$q_{SLU} = 3.80/0.3 + 1.3 * 0.17 = 12.9 \text{ kN/m}$$

$$q_{SLE} = 2.73/0.3 + 0.17 = 9.27 \text{ kN/m}$$

Reazioni molle

$$R_{SLU}(A1) = 28.30 \text{ kN}$$

$$R_{SLE}(A1) = 20.50 \text{ kN}$$

Verifica a flessione

$$M_{Sdy} = 5.50 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Sd,y}}{M_{Rd,y}} = 0.89 < 1$$

Verifica a taglio

$V_{Sd}=16.55 \text{ kN}$

$\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} = 0.1 < 1$

Verifica di deformabilità

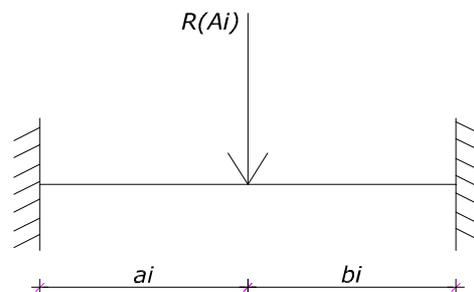
$\delta=9 \text{ mm} \approx L/284$

Verifica delle travi a T1 in acciaio

Le travi a T in acciaio vengono poste in direzione trasversale al di sotto delle travi secondarie in acciaio tra le travi in legno a circa un terzo della loro luce. Le travi a T sono caratterizzate da una sezione di questo tipo:

	$A=2300 \text{ mm}^2$
	$J_y=3200880 \text{ mm}^4$
	$W_y=36001 \text{ mm}^4$
	$M_{Rd}=9.43 \text{ kNm}$
	$V_{Rd}=166.3 \text{ kN}$
	$pp=0.18 \text{ kN/m}$

Lo schema statico risulta quindi il seguente.



Trave T1: $a_1=115 \text{ cm}$, $b_1=115 \text{ cm}$ $R(A_1)$

Reazioni

$R_{SLU}(T1)=14.15 \text{ kN}$

$R_{SLE}(T1)= 10.25 \text{ kN}$

Verifica a flessione

$M_{Sdy,} = 8.13 \text{ kNm}$

$\frac{M_{Sd,y}}{M_{Rd,y}} = 0.865 < 1$

Verifica a taglio

$$V_{Sd} = 14.15 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} = 0.08 < 1$$

Verifica a instabilità laterale

$$M_{cr} = 74.6 \text{ kNm} \quad \overline{\lambda}_{LT} = 0.36 \quad \Phi_{LT} = 0.66 \quad \chi_{LT} = 0.87$$

$$M_{b,Rd} = 8.18 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Sd}}{M_{b,Rd}} = 0.97 < 1$$

Verifica di deformabilità

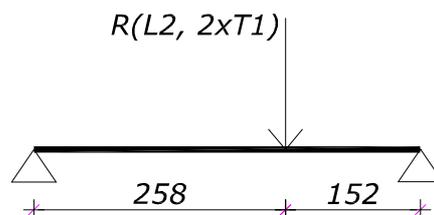
$$\text{Trave T1 } \delta = 2.8 \text{ mm} \approx L/970$$

Verifica delle travi principali di tipo 2 in acciaio

Le travi principali in acciaio vengono poste in direzione trasversale al di sotto delle travi in legno a circa un terzo della loro luce per ridurre la deformabilità. Le travi principali in acciaio sono caratterizzate da una sezione di altezza variabile dai 12 cm in appoggio ai 20 cm in mezzera.

	$A = 6480 \text{ mm}^2$ (valore medio)
	$J_y = 16542684 \text{ mm}^4$ (valore medio)
	$M_{Rd} = 50.16 \text{ kNm}$ (sezione max momento sollecitante)
	$V_{Rd} = 381 \text{ kN}$ (sezione appoggio)
	$pp = 0.508 \text{ kN/m}$ (valore medio)

Lo schema statico risulta quindi il seguente.



$$\begin{array}{ll} R_{SLU}(T1)=14.15 \text{ kN} & R_{SLE}(T1)= 10.25 \text{ kN} \\ R_{SLU}(L2)=7.71 \text{ kN} & R_{SLE}(L2)= 5.54 \text{ kN} \\ F_{tot,SLU} = 36.01 \text{ kN} & F_{tot,SLE} = 26.04 \text{ kN} \end{array}$$

Reazioni per verifica appoggio ed inghisaggio della trave sulla muratura (a tale valore deve essere sommata anche la reazione della trave in legno di bordo).

$$\begin{array}{l} R_{SLU} = 22.66 \text{ kN} \\ R_{SLE} = 16.39 \text{ kN} \end{array}$$

Verifica a flessione

$$M_{Sd,y} = 40.8 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Sd,y}}{M_{Rd,y}} = 0.81 < 1$$

Verifica a taglio

$$V_{Sd} = 21.6 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} = 0.04 < 1$$

Verifica di deformabilità

$$\delta = 6.8 \text{ mm} \approx L/600$$

UNIONE TRAVI PRINCIPALI SU MURATURA

Verifica unione travi principali alla muratura con barre inghisate

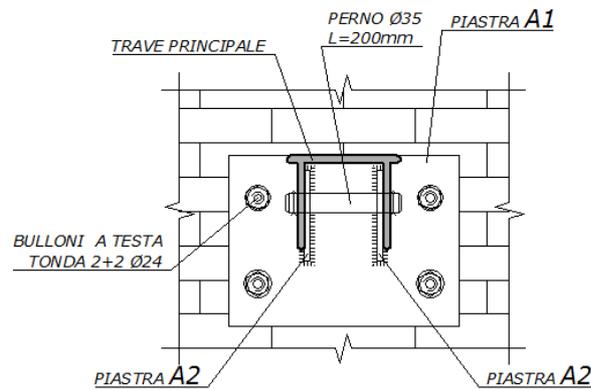
La trave principale alle estremità è collegata ad un sistema di piastre mediante un perno metallico del diametro di 35 mm. Il perno è collegato a due piastre di spessore 10 mm saldate con due cordoni di saldatura $a=8/(2^{0.5})=5.65 \text{ mm}$ per piastra lunghi 160 mm alla piastra aderente alla muratura. La piastra aderente alla muratura è vincolata alla muratura con 4 barre $\Phi 24$ inserite in fori nella muratura riempiti con resina epossidica. Le piastre e i profili sono realizzati anch'essi con acciaio S275.

Le azioni di taglio massime che deve essere trasferita vale

$$\begin{array}{l} \text{Stanza 13: } R_{SLU} = 38.05 + 8.77 = 46.82 \text{ kN;} \\ \text{Stanza 14: } R_{SLU} = 36.66 \text{ kN;} \\ \text{Stanza 15: } R_{SLU} = 22.66 + 10.86 = 33.52 \text{ kN} \end{array}$$

Per cui si assume: $V_{Sd} = 46.82 \text{ kN}$.

Si riporta uno schema dell'unione da realizzare.



Verifica collegamento con perno

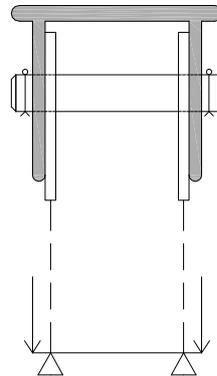
$$V_{Rd} = \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = 142 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0.6 f_{tk} A}{\gamma_{M2}} = 182 \text{ kN}$$

$$F_{bv,Rd} = \frac{1.5 t d f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 1102 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} = 0.41 < 1$$

Verifica del perno a flessione



$$F = 46.82/2 = 23.41 \text{ kN}$$

$$b = 12/2 + 10/2 = 11 \text{ mm}$$

$$M_{Sd} = 0.26 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 1.1 \text{ kNm}$$

$$M_{Sd}/M_{Rd} = 0.24 < 1$$

Verifica saldatura a cordone d'angolo

$$\tau_{||} = \frac{V_{Sd}}{n_{\text{cordoni}} a L} = 9.52 \text{ N/mm}^2 < \beta_1 f_{yk} = 0.85 \cdot 275 = 233.75 \text{ N/mm}^2$$

Verifica inghisaggio barre nella muratura

Secondo quanto riportato nel manuale Hilti per ancoranti HIT-HY150 con HAS.

$$V_{Rd} = n_{\text{barre}} V_{Rd,0} f_{B,v} f_{AR,V} f_{\beta,V} = 74 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} = 0.63 < 1$$

Verifica a rifollamento piastra di nodo

La resistenza a rifollamento della piastra è determinata secondo la seguente espressione:

$$F_{b,Rd} = \frac{k \cdot \alpha \cdot f_{tk} \cdot d \cdot t \cdot n_b}{\gamma_{M2}} = 660 \text{ kN}$$

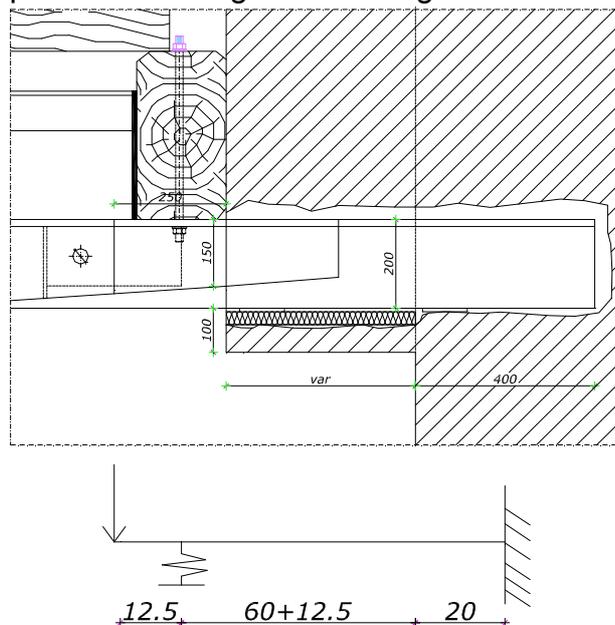
Dove $k = \min(2.8e_2/d_0 - 1.7; 2.5) = 2.5$

$\alpha = \min(e_1/3d_0; f_{tb}/f_{tk}; 1) = 1$

$$\frac{V_{Sd}}{F_{b,Rd}} = 0.07 < 1$$

Collegamento della trave di rinforzo stanza 15 sull'arco in muratura

La trave principale in esame, sul lato interno viene collegata alla muratura e alla trave in legno di bordo come riportato nella seguente immagine.



dove $k=2500 \text{ kN/m}$ è la rigidezza alla traslazione della trave in legno di bordo lato arco. In testa alla mensola deve quindi essere applicata la reazione vincolare della trave di rinforzo principale, pari a

$$R_{SLU} = 22.66 \text{ kN}$$

$$R_{SLE} = 16.39 \text{ kN}$$

Sotto tali azioni si ottiene:

$$M = 16.48 \text{ kNm}$$

$$T = 19.66 \text{ kN}$$

$$f = 1.3 \text{ mm} \approx L/800$$

Reazione molla (da applicare sulla trave in legno)

$$R_{SLU} = 6 \text{ kN}$$

$$R_{SLE} = 5.19 \text{ kN}$$

Reazione incastro

$$R_{SLU} = 10.39 \text{ kN}$$

$$M_{SLU} = 11.7 \text{ kN}$$

Considerando, cautelativamente la sezione minima del profilo di incastro, pari a quella della trave di rinforzo in corrispondenza dell'appoggio ($h=120\text{mm}$) si ottiene:

$$M_{Rd} = 21.71 \text{ kNm}$$

$$M_{Sd}/M_{Rd} = 0.54 < 1$$

$$V_{Rd} = 381 \text{ kNm}$$

$$V_{Sd}/V_{Rd} = 0.03 < 1$$

Le verifiche del profilo di incastro risultano quindi soddisfatte.