

fare sismica  **APPUNTI**

Adriano Castagnone Davide Cerroni

**CALCOLO DI COLLEGAMENTI IN LEGNO E
VALIDAZIONE DEL SOFTWARE ET -
MODULO UNIONI LEGNO**

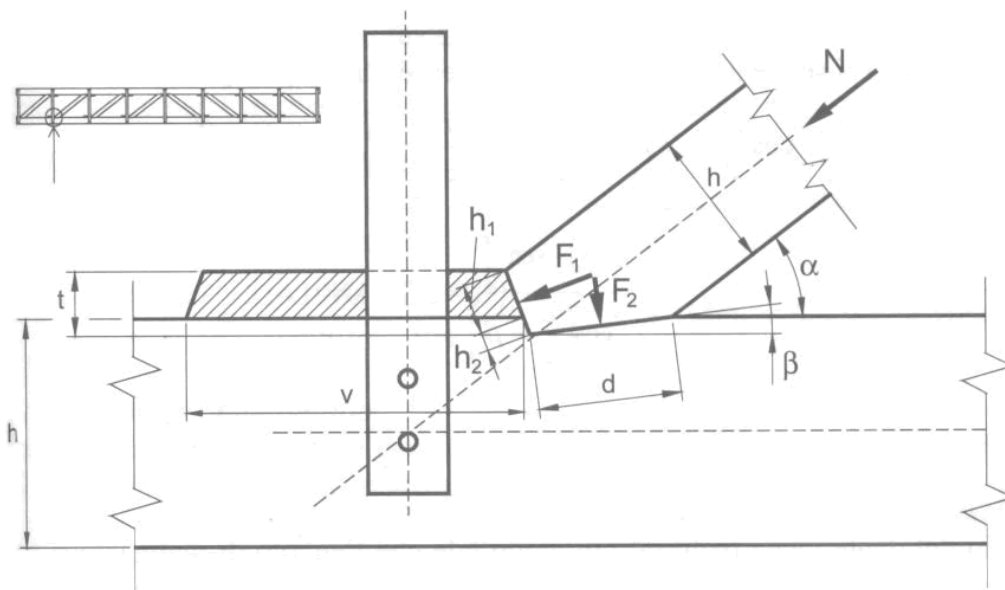
Indice

VERIFICA DI UN NODO DI TRAVE RETICOLARE REALIZZATO MEDIANTE COLLEGAMENTO DI CARPENTERIA CON ZEPPA DI RINFORZO.	3
Calcolo numerico	3
Verifica con il software ET – Modulo Unioni Legno	5
VERIFICA DI UN COLLEGAMENTO LEGNO-LEGNO REALIZZATO CON CHIODI, AD UN PIANO DI TAGLIO E SOLLECITATO ASSIALMENTE.....	7
Calcolo numerico	7
Verifica con il software ET – Modulo Unioni Legno	11
VERIFICA DI UN COLLEGAMENTO PANNELLO-LEGNO REALIZZATO CON CHIODI, AD UN PIANO DI TAGLIO ED ELEMENTO IN LEGNO SOLLECITATO ASSIALMENTE.....	14
Calcolo numerico	14
Verifica con il software ET – Modulo Unioni Legno	17
BIBLIOGRAFIA	20

VERIFICA DI UN NODO DI TRAVE RETICOLARE REALIZZATO MEDIANTE COLLEGAMENTO DI CARPENTERIA CON ZEPPA DI RINFORZO.

Calcolo numerico

Esempio dal volume Strutture in legno p. 3.6.1



- Materiale:
 - o Classe legno: GL24H secondo UNI EN 1194:2000
 - $f_{c,90,k} = 24$ MPa;
 - $f_{c,0,k} = 2,7$ MPa;
 - $f_{v,k} = 2,7$ MPa;
 - o Classe di servizio: 2 secondo § 4.4.5 della circolare del 2 febbraio 2009, n. 617;
 - o Coefficiente di sicurezza parziale $\gamma_L = 1,25$;
- Dimensioni:

o Dimensioni del puntone	bxh	220x431	mm
o Dimensioni della catena	bxh	220x702	mm
o Spessore della zeppa	t	199	mm
o Lunghezza della zeppa	v	700	mm
o Appoggio del dente sulla zeppa	h1	157	mm
o Appoggio del dente sull'intaglio	h2	52	mm
o Angolo tra puntone e corrente	α	35,37	°
o Angolo della superficie arretrata	β	6,30	°
- Verifica a compressione sull'intaglio del dente:

La tensione resistente di progetto dell'intaglio del dente $f_{c,\alpha/2,d}$ vale 8,89 MPa.

La tensione sollecitante di progetto sull'intaglio del dente vale $\sigma_{c,d}$ vale 6,52 MPa.

CALCOLO DI COLLEGAMENTI IN LEGNO E VALIDAZIONE DEL SOFTWARE ET - MODULO UNIONI LEGNO

- Verifica a compressione sulla superficie arretrata:
La tensione resistente di progetto della superficie arretrata $f_{c,90-\beta,d}$ vale 1,75 MPa.
Applicando una riduzione della superficie di contatto, la tensione sollecitante di progetto vale $\sigma_{c,d}$ vale 1,22 MPa.
- Verifica a taglio del dente:
La tensione resistente di progetto a taglio $f_{v,d}$ vale 1,73 MPa.
Applicando una riduzione della superficie di contatto, la tensione sollecitante di progetto vale $\tau_{c,d}$ vale 1,25 MPa.

Verifica con il software ET – Modulo Unioni Legno

Con il modulo di Engineering Tools UNIONI LEGNO – Tradizionali di carpenteria è possibile eseguire la verifica del singolo piano di taglio di questo tipo di unione in pochi rapidi passaggi:

1. Definizione dei dati generali (caratteristiche del legno e della classe di servizio)

Dati Generali

Materiale

Tipo legno
 Lamellare Massiccio

Libreria materiale EN 1194

Classe di resistenza GL24h

Res. compr. parallela alla fibratura $f_{c,0,k}$ 24 MPa

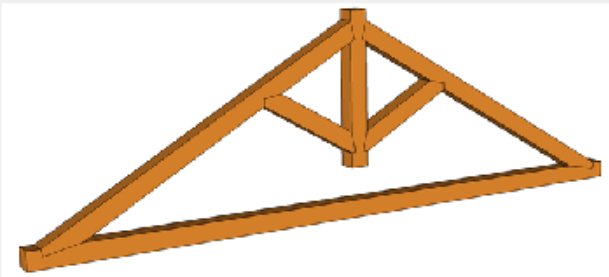
Res. compr. perpendicolare alla fibratura $f_{c,90,k}$ 2,7 MPa

Res. taglio f_{vk} 2,7 MPa

Classe di servizio Classe 2

Coeff. di sicurezza parziale del legno γ_L 1,25

Aggiorna



2. Definizione della tipologia e della geometria

CALCOLO DI COLLEGAMENTI IN LEGNO E VALIDAZIONE DEL SOFTWARE ET - MODULO UNIONI LEGNO

Connessioni legno tradizionali - 13.1.1

UnioniCarpenteria3

Puntone - Catena
Puntone - Saetta
Puntone - Monaco
Monaco - Saetta

Tipo di dente

Dente semplice

Dente arretrato

Dimensioni

Altezza catena h mm

Larghezza catena b1 mm

Larghezza puntone b2 mm

Lunghezza tallone v mm

Profondità intaglio t mm

Angolo intaglio dente α °

Angolo sup. arretrato dente β °

Riduzione della superficie arretrata %

Zeppa di rinforzo

Altezza zeppa hz mm

Lunghezza zeppa vz mm

	Dati Connessione			Verifica intaglio dente			Verifica sup. arretrata			Verifica taglio tallone			Zeppa [kN]	Verificato
	Combinazione	N [kN]	Durata	$\sigma_{c,d}$	$f_{c, \alpha/2, d}$	Fs	$\sigma_{c,d}$	$f_{c, 90-\beta, d}$	Fs	$\tau_{c,d}$	$f_{v,d}$	Fs		
1		314,19	M	6,10	8,89	1,46	1,22	1,75	1,43	1,16	1,73	1,49	73,39	SI
2														
3														
4														
5														

Dati Generali

VERIFICATO

Calcola

3. Inserimento delle sollecitazioni

	Dati Connessione			Verifica intaglio dente			Verifica sup. arretrata			Verifica taglio tallone			Zeppa [kN]	Verificato
	Combinazione	N [kN]	Durata	$\sigma_{c,d}$	$f_{c, \alpha/2, d}$	Fs	$\sigma_{c,d}$	$f_{c, 90-\beta, d}$	Fs	$\tau_{c,d}$	$f_{v,d}$	Fs		
1	Media durata	314,19	M											
2														
3														
4														
5														

4. Risultati

	Dati Connessione			Verifica intaglio dente			Verifica sup. arretrata			Verifica taglio tallone			Zeppa [kN]	Verificato
	Combinazione	N [kN]	Durata	$\sigma_{c,d}$	$f_{c, \alpha/2, d}$	Fs	$\sigma_{c,d}$	$f_{c, 90-\beta, d}$	Fs	$\tau_{c,d}$	$f_{v,d}$	Fs		
1		314,19	M	6,10	8,89	1,46	1,22	1,75	1,43	1,16	1,73	1,49	73,39	SI
2														
3														
4														
5														

Si può notare una leggera differenza nella valutazione della tensione agente sull'intaglio del dente:

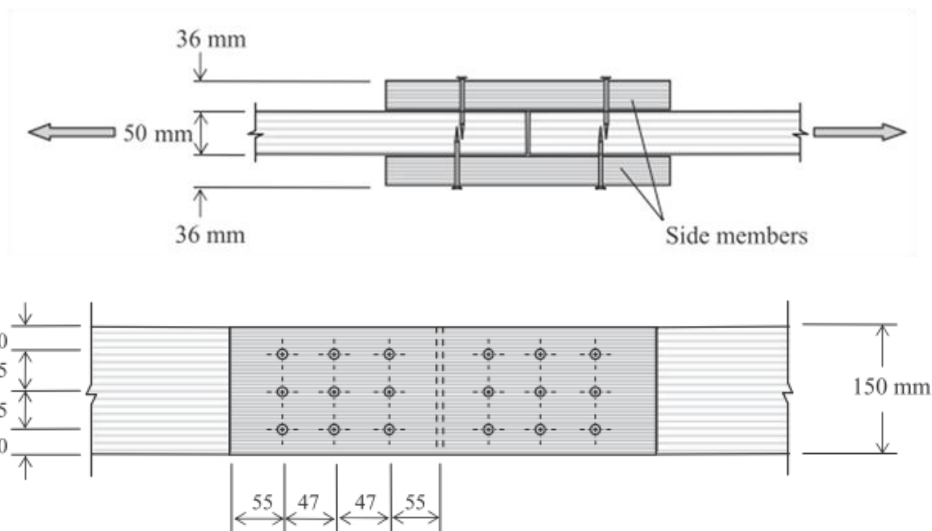
- Et: $\sigma_{c,d} = 6,10$ MPa;
- Strutture in Legno: $\sigma_{c,d} = 6,52$ MPa;
- Differenza relativa: circa 7 %.

Tale differenza è dovuta ad approssimazioni numeriche nel calcolo ed alle differenti dimensioni di partenza.

VERIFICA DI UN COLLEGAMENTO LEGNO-LEGNO REALIZZATO CON CHIODI, AD UN PIANO DI TAGLIO E SOLLECITATO ASSIALMENTE.

Calcolo numerico

Esempio tratto dal volume Structural timber Design - 10.13.1.



- Materiale:
 - o Classe legno: C22 secondo BS EN 338:2003
 - $f_{c,90,k} = 2,4 \text{ MPa}$;
 - $\rho_k = 340 \text{ kg/m}^3$;
 - o Classe di servizio: 2 secondo § 4.4.5 della circolare del 2 febbraio 2009, n. 617;
 - o Coefficiente di sicurezza parziale $\gamma_l = 1,3$;
- Dimensioni:
 - o Spessore dell'elemento centrale $t = 50 \text{ mm}$;
 - o Spessore dell'gli elementi esterni $t_1 = 36 \text{ mm}$;
- Connettori:
 - o Tipo: chiodi a gambo liscio e tondo;
 - o Diametro del gambo $d = 3,35 \text{ mm}$;
 - o Diametro della testa $d_h = 7,54 \text{ mm}$;
 - o Lunghezza del gambo $l = 65 \text{ mm}$;
 - o Resistenza caratteristica a trazione $f_{u,k} = 600 \text{ MPa}$.
- Disposizione dei connettori:
 - o Nr. di file parallele all'asse: 3;
 - o Nr. di file trasversali all'asse: 3;
 - o Distanza dall'estremità sollecitata e 55 mm;
 - o Diastanza dai bordi $b_1 = b_2 = 30 \text{ mm}$;
 - o Interasse in direzione parallela all'asse $i_p = 47 \text{ mm}$;

CALCOLO DI COLLEGAMENTI IN LEGNO E VALIDAZIONE DEL SOFTWARE ET - MODULO UNIONI LEGNO

- Interasse in direzione trasversale all'asse $t_t = 45$ mm;
- Azioni:
 - Carico permanente: 2,5 kN;
 - Carico variabile (media durata): 3,5 kN;

La sovrapposizione dei chiodi nell'elemento centrale è pari a:

$$s = 2 \cdot l - (2 \cdot t + t_1) = 2 \cdot 65 - (2 \cdot 36 + 35) = 23 > 4 \cdot d = 13,4 \text{ (CNR-DT 206/2007 - 7.8.3.1)}$$

pertanto la resistenza totale della connessione è da calcolarsi come somma di due connessioni ad un piano di taglio.

La connessione dovrà essere verificata in due condizioni:

- presenza contemporanea di carico permanente e variabile, utilizzando il coefficiente correttivo k_{mod} relativo a carichi di media durata;
- presenza del solo carico permanente, utilizzando il coefficiente correttivo k_{mod} relativo a carichi permanenti.

Per il materiale e la classe di servizio utilizzati, i coefficienti k_{mod} da tab. 4.4.IV DM 14-01-2008 valgono:

- per carichi permanenti $k_{mod,P} = 0,6$;
- per carichi di media durata $k_{mod,M} = 0,8$;

Applicando i coefficienti di sicurezza di combinazione 1,35 e 1,50, rispettivamente per i carichi permanenti e per i carichi variabili, le sollecitazioni che dovrà sopportare la connessione sono:

- Durata permanente: 3,38 kN;
- Durata media: 8,63 kN.

La resistenza caratteristica del singolo connettore è data da:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{ll} f_{h,1,k} t_1 d & \text{(a)} \\ f_{h,2,k} t_2 d & \text{(b)} \\ \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(c)} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(d)} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(e)} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(f)} \end{array} \right.$$

- $M_{y,Rk}$ è il momento di snervamento caratteristico del connettore, pari a:

$$\frac{1,8}{d^{0,4}} \cdot f_{u,k} \cdot \frac{d^3}{6} = \frac{1,8}{3,35^{0,4}} \cdot 600 \cdot \frac{3,35^3}{6} = 4,17 \cdot 10^3 \text{ Nmm} \quad (\text{CNR-DT 206/2007 - 7.15});$$

- $f_{h,1,k}$ e $f_{h,2,k}$ sono le resistenze caratteristiche al rifollamento nel legno, pari a:

$$f_{h,1,k} = f_{h,2,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-3} = 0,082 \cdot 340 \cdot 3,35^{-3} = 19,4 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{CNR-DT 206/2007 - 7.16});$$

- β è il rapporto tra le resistenze al rifollamento, pari a 1;
- $F_{ax,Rk}$ è il contributo della resistenza caratteristica all'estrazione del connettore, per i chiodi lisci è pari a:

$$F_{ax,Rk} = \min(F_{ax,Rk1}, F_{ax,Rk2}) = 36,88 \text{ N} \quad (\text{CNR-DT 206/2007 - 7.16});$$

nella quale:

- $F_{ax,Rk1}$ è la resistenza all'estrazione opposta dalla parte di chiodo dalla parte della testa, pari a:

$$f_{ax,k} d t_1 \left(\frac{t_1}{4d - 2} \right) + f_{h,k} d h^2 = 651,17 \text{ N}$$

Essendo:

- o $f_{ax,k}$ la resistenza caratteristica all'estrazione del gambo, pari a $20 \cdot 10^{-6} \rho_k$ (CNR-DT 206/2007 - 7.25);
- o $f_{ax,h}$ la resistenza caratteristica alla penetrazione della punta, pari a $70 \cdot 10^{-6} \rho_k$ (CNR-DT 206/2007 - 7.26);
- $F_{ax,Rk2}$ è la resistenza all'estrazione opposta dalla parte di chiodo dalla parte della punta, pari a:

$$f_{ax,k} d (l - t_1) \left(\frac{l - t_1}{4d - 2} \right) = 36,88 \text{ N}$$

Entrambe le resistenze sono state ridotte con il rapporto $t / (4d - 2)$ poiché l'infissione è inferiore a 12 volte il diametro del chiodo (CNR-DT 206/2007 - 7.8.3.2).

La resistenza caratteristica del connettore nei possibili meccanismi di rottura, considerando il contributo della resistenza all'estrazione con incremento limite del 15% previsto dalla norma (CNR-DT 206-2007 - 7.8.2.2), risulta:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} F_{v,Rk,a} = 2,34 \text{ kN} \\ F_{v,Rk,b} = 1,88 \text{ kN} \\ F_{v,Rk,c} = 892,71 \text{ N} \\ F_{v,Rk,d} = 945,53 \text{ N} \\ F_{v,Rk,e} = 812,12 \text{ N} \\ F_{v,Rk,f} = 856,09 \text{ N} \end{cases} = 812,12 \text{ N}$$

La resistenza complessiva dell'unione per ciascun piano di taglio è:

$$F_{v,Rk} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_L} \cdot n_t^{kef} \cdot n_p = 812,12 \cdot \frac{0,8}{1,3} \cdot 3^1 \cdot 3 = 499,77 \cdot 9 \cong 4500 \text{ N}$$

ai carichi variabili di media durata, e

$$F_{v,Rk} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_L} \cdot n_t^{kef} \cdot n_p = 812,12 \cdot \frac{0,6}{1,3} \cdot 3^1 \cdot 3 = 374,73 \cdot 9 \cong 3370 \text{ N}$$

CALCOLO DI COLLEGAMENTI IN LEGNO E VALIDAZIONE DEL SOFTWARE ET - MODULO UNIONI LEGNO

ai carichi permanenti, dove il coefficiente k_{ef} per il calcolo del numero di connettori efficaci in direzione parallela alla fibratura è assunto pari all'unità perché l'interasse i_p è superiore al valore limite $14d$ (= 46,9 mm – CNR DT 206-2007 – Tab. 7-1).

Considerando entrambi i piani di taglio le resistenze valgono:

$$R_{c,tot,v} = 4500 \cdot 2 = 9000 \text{ N}$$

$$R_{c,tot,p} = 3370 \cdot 2 = 6740 \text{ N}$$

Verifica con il software ET – Modulo Unioni Legno

Con il modulo di Engineering Tools UNIONI LEGNO – Chiodi, viti, bulloni, spinotti è possibile eseguire la verifica del singolo piano di taglio di questo tipo di unione in pochi rapidi passaggi:

1. Definizione dei dati generali (caratteristiche del legno e disposizione dei connettori)

Dati Generali

Materiale

Tipo legno
 Lamellare Massiccio

Libreria materiale EN 338

Classe di resistenza C22

Tipo di essenza Conifera

Res. compr. perpendicolare alla fibratura $f_{c,90k}$ 2,4 MPa

Densità caratteristica ρ_k 340 kg/m³

Essenza sensibile allo spacco

Classe di servizio Classe 2

Coeff. di sicurezza parziale del legno γ_L 1,30

Disposizione connettori

Nr.di file parallele all'asse N_p 3

Nr.di file trasversali all'asse N_t 3

Interasse in direzione parallela all'asse i_p 47 mm

Interasse in direzione trasversale all'asse i_t 45 mm

Distanza dall'estremità e 55 mm

Distanza bordo b_1 30 mm

Distanza bordo b_2 30 mm

2. Definizione delle caratteristiche di dettaglio della connessione e del connettore

CALCOLO DI COLLEGAMENTI IN LEGNO E VALIDAZIONE DEL SOFTWARE ET - MODULO UNIONI LEGNO

Connessioni legno a gambo cilindrico - 13.1.2

Acciaio - Legno
Pannello - Legno
Legno - Legno

Tipo di connettore

Chiodi Bulloni

Viti Spinotti

Piani di taglio

Singolo piano di taglio

Doppio piano di taglio

Caratteristiche della connessione

Includere contributo della resistenza all'estrazione

Spessore t mm

Spessore t_1 mm

Caratteristiche del connettore

Tipo di gambo

Liscio Aderenza migliorata

Tipo di sezione

Tonda Quadrata

Preforatura

Diametro del gambo d mm

Diametro della testa d_h mm

Lunghezza del gambo l mm

Resistenza a trazione $f_{u,k}$ MPa

	Combinazione	Durata	Nd [kN]	Td [kN]	Rd [kN]	α [°]	Fres [kN]	Fs	Verificato
1									
2									
3									
4									
5									

3. Inserimento delle sollecitazioni (essendo che si sta verificando uno dei due piani di taglio che saranno realizzati, le sollecitazioni sono state inserite con intensità dimezzata)

	Combinazione	Durata	Nd [kN]	Td [kN]	Rd [kN]	α [°]	Fres [kN]	Fs	Verificato
1	C. Permanente P	P	1,69	0,00					
2	C. Media durata M	M	4,32	0,00					
3									
4									
5									

Eseguendo il calcolo questi sono i risultati mostrati:

CALCOLO DI COLLEGAMENTI IN LEGNO E VALIDAZIONE DEL SOFTWARE ET - MODULO UNIONI LEGNO

Connessioni legno a gambo cilindrico - 13.1.2

Stada

Acciaio - Legno
Pannello - Legno
Legno - Legno

Tipo di connettore
 Chiodi Bulloni
 Viti Spinotti

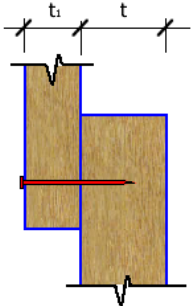
Piani di taglio
 Singolo piano di taglio
 Doppio piano di taglio

Caratteristiche della connessione
 Includere contributo della resistenza all'estrazione
 Spessore t 50 mm
 Spessore t₁ 36 mm

Caratteristiche del connettore
 Tipo di gambo
 Liscio Aderenza migliorata

Tipo di sezione
 Tonda Quadrata

Preforatura
 Diametro del gambo d 3,35 mm
 Diametro della testa d_h 7,54 mm
 Lunghezza del gambo l 65 mm
 Resistenza a trazione f_{u,k} 600 MPa



	Combinazione	Durata	Nd [kN]	Td [kN]	Rd [kN]	α [°]	Fres [kN]	Fs	Verificato
1	C. Permanente	P	1,69	0,00	1,69	0,00	3,37	1,99	SI
2	C. Media durata	M	4,32	0,00	4,32	0,00	4,50	1,04	SI
3									
4									
5									

VERIFICATO
Sono presenti avvisi - Per mostrare clicca qui

Dati Generali

Calcola

Un avviso informa che la resistenza all'estrazione non è stata considerata nel massimo valore possibile a causa della limitata profondità di infissione

Piano ET

AVVISO

La resistenza all'estrazione è stata ridotta perchè la profondità di infissione è inferiore a 12 volte il diametro del chiodo - rif

Prosegui sempre il calcolo senza chiedere conferma

Prosegui comunque

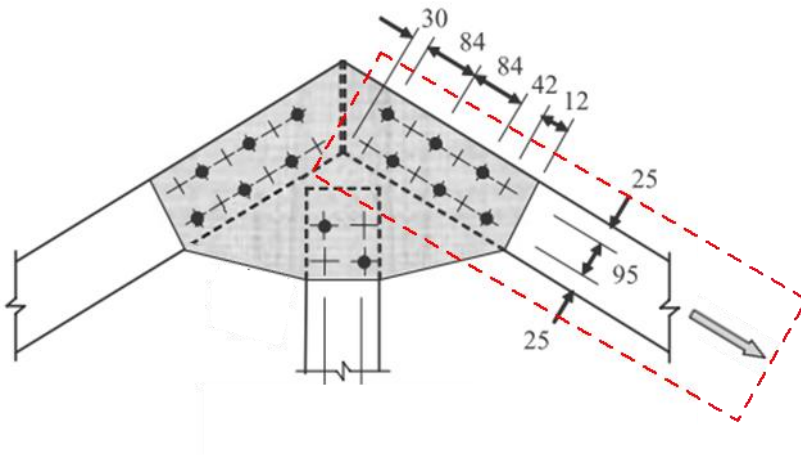
Arresta il calcolo

13

VERIFICA DI UN COLLEGAMENTO PANNELLO-LEGNO REALIZZATO CON CHIODI, AD UN PIANO DI TAGLIO ED ELEMENTO IN LEGNO SOLLECITATO ASSIALMENTE.

Calcolo numerico

Esempio tratto dal volume Structural timber Design p. 10.13.2



- Materiale elemento centrale:
 - o Classe legno: C18 secondo BS EN 338:2003
 - $f_{c,90,k} = 2,2 \text{ MPa}$;
 - $\rho_k = 320 \text{ kg/m}^3$;
 - o Classe di servizio: 2 secondo § 4.4.5 della circolare del 2 febbraio 2009, n. 617;
 - o Coefficiente di sicurezza parziale $\gamma_L = 1,3$;
- Materiale elementi esterni:
 - o Pannello di legno compensato
 - o $\rho_{k,pnl} = 630 \text{ kg/m}^3$;
- Dimensioni:
 - o Spessore dell'elemento centrale in legno $t = 50 \text{ mm}$;
 - o Spessore degli elementi esterni in pannello di legno compensato $t_1 = 12 \text{ mm}$;
- Connettori:
 - o Tipo: chiodi a gambo liscio e tondo;
 - o Diametro del gambo $d = 3,00 \text{ mm}$;
 - o Diametro della testa $d_h = 6,75 \text{ mm}$;
 - o Lunghezza del gambo $l = 50 \text{ mm}$;
 - o Resistenza caratteristica a trazione $f_{u,k} = 650 \text{ MPa}$.
- Disposizione dei connettori:
 - o Nr. di file parallele all'asse: 2;
 - o Nr. di file trasversali all'asse: 3;
 - o Distanza dall'estremità sollecitata e: 30 mm;

CALCOLO DI COLLEGAMENTI IN LEGNO E VALIDAZIONE DEL SOFTWARE ET - MODULO UNIONI LEGNO

- Distanza dai bordi $b_1 = b_2 = 25$ mm;
- Interasse in direzione parallela all'asse $i_p = 84$ mm;
- Interasse in direzione trasversale all'asse $i_t = 95$ mm;
- Azioni:
 - Carico di media durata: 5,0 kN;

La lunghezza dei chiodi è tale che non vi è sovrapposizione nell'elemento centrale:

$$l < (t + t_1) = 50 - (12 + 50)$$

pertanto la resistenza totale della connessione è da calcolarsi come somma di due connessioni ad un piano di taglio.

Per il materiale e la classe di servizio utilizzati, il coefficienti k_{mod} da tab. 4.4.IV DM 14-01-2008 vale:

- per carichi di media durata $k_{mod} = 0,8$.

La resistenza caratteristica del singolo connettore è data da:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} t_1 d \quad (a) \\ f_{h,2,k} t_2 d \quad (b) \\ \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (c) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (d) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (e) \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (f) \end{array} \right.$$

Dove:

- M_{yrk} è il momento di snervamento caratteristico del connettore, pari a:

$$\frac{1,8}{d^{0,4}} \cdot f_{u,k} \cdot \frac{d^3}{6} = \frac{1,8}{3,00^{0,4}} \cdot 650 \cdot \frac{3,00^3}{6} = 3,39 \cdot 10^3 \text{ Nmm} \quad (\text{CNR-DT 206/2007 - 7.15});$$

- $f_{h,1,k}$ è la resistenza caratteristica al rifollamento nel legno, pari a:

$$f_{h,1,k} = f_{h,2,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-3} = 0,082 \cdot 320 \cdot 3,00^{-3} = 18,87 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{CNR-DT 206/2007 - 7.16});$$

- $f_{h,2,k}$ è la resistenza caratteristica al rifollamento nel pannello, pari a:

$$f_{h,2,k} = 0,11 \cdot \rho_{k,pnl} \cdot d^{-3} = 0,11 \cdot 600 \cdot 3,00^{-3} = 49,84 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{CNR-DT 206/2007 - 7.21});$$

- β è il rapporto tra le resistenze al rifollamento, pari a 0,38;
- $F_{ax,Rk}$ è il contributo della resistenza caratteristica all'estrazione del connettore, per i chiodi lisci è pari a:

$$F_{ax,Rk} = \min(F_{ax,Rk1}, F_{ax,Rk2}) = 233,47 \text{ N} \quad (\text{CNR-DT 206/2007 - 7.16});$$

nella quale:

- $F_{ax,Rk1}$ è la resistenza all'estrazione opposta dalla parte di chiodo dalla parte della testa, pari a:

$$f_{h,k} d_h^2 = 1,27 \cdot 10^3 \text{ N}$$
- $F_{ax,Rk2}$ è la resistenza all'estrazione opposta dalla parte di chiodo dalla parte della punta, pari a:

$$f_{ax,k} d (l - t_1) = 233,47 \text{ N}$$

Essendo:

- $f_{ax,k}$ la resistenza caratteristica all'estrazione del gambo, pari a $20 \cdot 10^{-6} \rho_k$ (CNR-DT 206/2007 - 7.25);
- $f_{ax,h}$ la resistenza caratteristica alla penetrazione della punta, pari a $70 \cdot 10^{-6} \rho_k$ (CNR-DT 206/2007 - 7.26);

Nel calcolo della resistenza all'estrazione dalla parte della testa non è stato tenuto in conto il contributo del gambo, in quanto la sua lunghezza di penetrazione è inferiore a 8 volte il diametro (CNR-DT 206/2007 - 7.8.3.2).

La resistenza caratteristica del connettore nei possibili meccanismi di rottura, considerando il contributo della resistenza all'estrazione con incremento limite del 15% previsto dalla norma (CNR-DT 206-2007 - 7.8.2.2), risulta:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} F_{v,Rk,a} = 1,79 \text{ kN} \\ F_{v,Rk,b} = 2,15 \text{ kN} \\ F_{v,Rk,c} = 913,27 \text{ N} \\ F_{v,Rk,d} = 764,00 \text{ N} \\ F_{v,Rk,e} = 1,02 \text{ kN} \\ F_{v,Rk,f} = 916,89 \text{ N} \end{cases} = 764 \text{ N}$$

La resistenza complessiva dell'unione per ciascun piano di taglio è:

$$F_{v,Rk} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_L} \cdot n_t^{kef} \cdot n_p = 764,00 \cdot \frac{0,8}{1,3} \cdot 3^1 \cdot 2 = 470,15 \cdot 6 \cong 2820 \text{ N}$$

dove il coefficiente k_{ef} per il calcolo del numero di connettori efficaci in direzione parallela alla fibratura è assunto pari all'unità perché l'interasse i_p è superiore al valore limite $14d$ (= 42 mm – CNR DT 206-2007 – Tab. 7-1).

Considerando entrambi i piani di taglio la resistenza vale:

$$R_{c,tot} = 2820 \cdot 2 = 5640 \text{ N}$$

Verifica con il software ET – Modulo Unioni Legno

Con il modulo di Engineering Tools UNIONI LEGNO – Chiodi, viti, bulloni, spinotti è possibile eseguire la verifica del singolo piano di taglio di questo tipo di unione in pochi rapidi passaggi:

5. Definizione dei dati generali (caratteristiche del legno e disposizione dei connettori)

Dati Generali

Materiale

Tipo legno
 Lamellare Massiccio

Libreria materiale EN 338

Classe di resistenza C18

Tipo di essenza Conifera

Res. compr. perpendicolare alla fibratura $f_{c,90,k}$ 2,2 MPa

Densità caratteristica ρ_k 320 kg/m³

Essenza sensibile allo spacco

Classe di servizio Classe 2

Coeff. di sicurezza parziale del legno γ_L 1,30

Disposizione connettori

Nr.di file parallele all'asse N_p 2

Nr.di file trasversali all'asse N_t 3

Interasse in direzione parallela all'asse i_p 84 mm

Interasse in direzione trasversale all'asse i_t 95 mm

Distanza dall'estremità e 30 mm

Distanza bordo b_1 25 mm

Distanza bordo b_2 25 mm

6. Definizione delle caratteristiche di dettaglio della connessione e del connettore

CALCOLO DI COLLEGAMENTI IN LEGNO E VALIDAZIONE DEL SOFTWARE ET - MODULO UNIONI LEGNO

Connessioni legno a gambo cilindrico - 13.1.2

Stada

Acciaio - Legno Pannello - Legno Legno - Legno

Tipo di connettore

Chiodi Bulloni

Viti Spinotti

Piani di taglio

Singolo piano di taglio

Doppio piano di taglio

Doppio piano di taglio - disposizione interna

Doppio piano di taglio - disposizione esterna

Caratteristiche della connessione

Includere contributo della resistenza all'estrazione

Spessore t 50 mm

Spessore t₁ 12 mm

Tipo di pannello Compensato

Dens. caratteristica del pannello ρ_k, p_{n1} 630 kg/m³

Caratteristiche del connettore

Tipo di gambo

Liscio Aderenza migliorata

Tipo di sezione

Tonda Quadrata

Preforatura

Diametro del gambo d 3,00 mm

Diametro della testa d_h 6,75 mm

Lunghezza del gambo l 50 mm

Resistenza a trazione f_{u,k} 650 MPa

	Combinazione	Durata	Nd [kN]	Td [kN]	Rd [kN]	α [°]	Fres [kN]	Fs	Verificato
1									
2									
3									
4									
5									

- 7. Inserimento delle sollecitazioni** (essendo che si sta verificando uno dei due piani di taglio che saranno realizzati, le sollecitazioni sono state inserite con intensità dimezzata)

	Combinazione	Durata	Nd [kN]	Td [kN]	Rd [kN]	α [°]	Fres [kN]	Fs	Verificato
1	C. Media durata M		2,50	0,00					
2									
3									
4									
5									

Eseguendo il calcolo questi sono i risultati mostrati:

CALCOLO DI COLLEGAMENTI IN LEGNO E VALIDAZIONE DEL SOFTWARE ET - MODULO UNIONI LEGNO

Connessioni legno a gambo cilindrico - 13.1.2

Acciaio - Legno
Pannello - Legno
Legno - Legno

Tipo di connettore

Chiodi Bulloni

Viti Spinotti

Piani di taglio

Singolo piano di taglio

Doppio piano di taglio

Doppio piano di taglio - disposizione interna

Doppio piano di taglio - disposizione esterna

Caratteristiche della connessione

Includere contributo della resistenza all'estrazione

Spessore t 50 mm

Spessore t₁ 12 mm

Tipo di pannello Compensato

Dens. caratteristica del pannello ρ_{k, pn} 630 kg/m³

Caratteristiche del connettore

Tipo di gambo

Liscio Aderenza migliorata

Tipo di sezione

Tonda Quadrata

Preforatura

Diametro del gambo d 3,00 mm

Diametro della testa d_h 6,75 mm

Lunghezza del gambo l 50 mm

Resistenza a trazione f_{u,k} 650 MPa

	Combinazione	Durata	Nd [kN]	Td [kN]	Rd [kN]	α [°]	Fres [kN]	Fs	Verificato
1	C. Media durata M		2,50	0,00	2,50	0,00	2,82	1,13	SI
2									
3									
4									
5									

VERIFICATO

Sono presenti avvisi - Per mostrare clicca qui

Dati Generali

Calcola

Un avviso informa che la resistenza all'estrazione non è stata considerata nel massimo valore possibile a causa della limitata profondità di infissione

Piano ET

AVVISO

Impossibile calcolare il contributo della resistenza all'estrazione per infissioni inferiori a 8 volte il diametro del chiodo - rif. CI

Prosegui sempre il calcolo senza chiedere conferma
 Prosegui comunque
 Arresta il calcolo

BIBLIOGRAFIA

- J. Porteous, A. Kermani - Structural Timber Design to Eurocode 5 – Blackwell Publishing
- M. Piazza, R. Tomasi, R. Modena – Strutture in legno - Hoepli
- M. Andreolli, R. Tomasi - ESEMPIO DI DIMENSIONAMENTO DI UNA COPERTURA IN LEGNO - Rapporto n. 13 del Maggio 2009 - Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Strutturale dell'Università degli Studi di Trento
- Software ET® – Engineering tools – www.stadata.com