



ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI PISTOIA

## PROGETTAZIONE DI STRUTTURE IN LEGNO MASSICCIO E LAMELLARE SECONDO LE NTC 2008



**3° CASO STUDIO: PORTALE CON GIUNTO A RAGGIERA ED ESEMPI DI UNIONE**

*Pistoia 12-11-2010*

**Ing. Leonardo Negro**



**LegnoPiù s.r.l. - Via Borgo Valsugana, 11 - 59100 Prato**  
**leonardo.negro@strutturedilegno.it - www.strutturedilegno.it**

## ***ARGOMENTI TRATTATI***

### CONNESSIONI

#### PORTALE CON GIUNTO A RAGGIERA

- BASI TEORICHE
- VERIFICHE DI RESISTENZA
- DEFORMAZIONI
- VERIFICA AL FUOCO DELL'UNIONE

#### VITI CARICATE ASSIALMENTE

- VITI A TIRO
- RINFORZO AGLI APPOGGI

#### UNIONI DI CARPENTERIA TRADIZIONALE

## **STRUMENTI NORMATIVI DI RIFERIMENTO**

**NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI - D.M.14.01.2008**

**CIRCOLARE ESPLICATIVA N.617 - 02.02.2009**

**CAP. 4.4 - COSTRUZIONI DI LEGNO**

**CAP. 7.7 - COSTRUZIONI DI LEGNO - PROGETTAZIONE PER AZIONI SISMICHE**

**CAP. 11.7 - MATERIALI E PRODOTTI A BASE DI LEGNO**

**DURABILITA' DEL LEGNO E DERIVATI**

**PROCEDURE DI QUALIFICAZIONE E ACCETTAZIONE**

**UNI EN 1995-1-1**

**CAP. 8.1 - CONNESSIONE CON MEZZI DI UNIONE METALLICI**

**CAP. 8.2 - CONNESSIONE CON SPINOTTI**

**CAP. 8.7.2 - VITI CARICATE ASSIALMENTE**

**APPENDICE B - TRAVI GIUNTATE MECCANICAMENTE**

**LEGNO LAMELLARE**

- **UNI EN 14080 - MARCATURA CE**
- **UNI EN 1194 - CLASSE DI RESISTENZA**
- **UNI EN 390 - TOLLERANZE DIMENSIONALI**



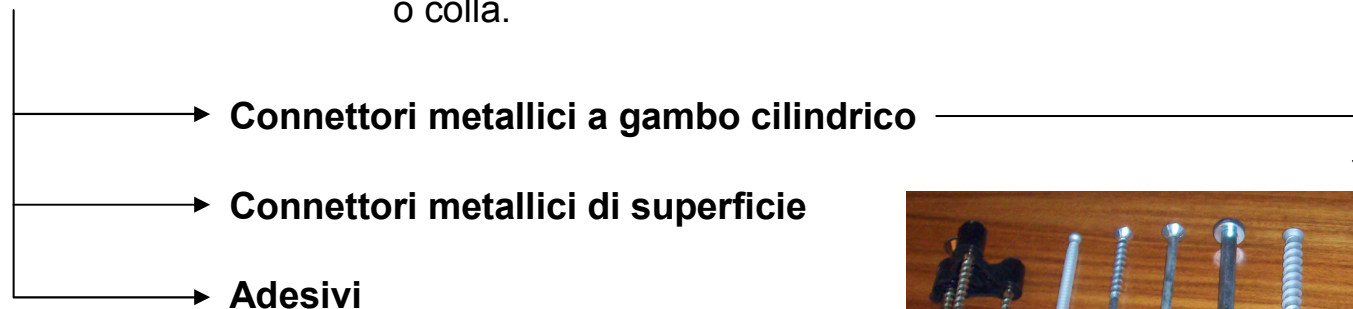
## Conessioni

**Le connessioni tra elementi lignei si differenziano principalmente per:**

- tipo di sollecitazione a cui sono sottoposte
- materiali utilizzati per la trasmissione dei carichi
- modalità di realizzazione

**Si distinguono principalmente in due famiglie:**

- **UNIONI DI CARPENTERIA TRADIZIONALE** - Realizzate mediante lavorazioni delle superfici di contatto  
La trasmissione delle azioni avviene attraverso sforzi di compressione e taglio, in maniera diretta.
- **UNIONI MECCANICHE** - La trasmissione delle azioni avviene indirettamente attraverso elementi metallici o colla.



## Conessioni

### Il dimensionamento delle connessioni con mezzi di unione metallici è trattato nell'Eurocodice 5 §8.1

- La disposizione e le dimensioni dei mezzi di unione in una connessione, nonché l'interasse fra mezzi di unione e le distanze dal bordo e dalle estremità, devono essere scelti in modo tale da ottenere la resistenza e la rigidezza attese.
- Deve essere tenuto conto che la capacità portante di una connessione con mezzi di unione multipli, consistente in mezzi di unione tutti dello stesso tipo e dimensioni, può essere più bassa della somma delle individuali capacità portanti di ciascun mezzo di unione.
- Quando una connessione include tipi differenti di mezzi di unione, oppure quando risulta differente la rigidezza delle connessioni è raccomandato che la compatibilità di tali mezzi di unione sia verificata.
- Per una fila di mezzi di unione disposti parallelamente alla direzione della fibratura, è raccomandato che la capacità portante caratteristica efficace in direzione parallela alla fila,  $F_{v,ef,Rk}$  sia assunta come:

$$F_{v,ef,Rk} = n_{ef} F_{v,Rk}$$

NUMERO EFFICACE -  $n_{ef}$

CHIODI e VITI CON GAMBO LISCIO DI DIAMETRO $\phi < 6\text{mm}$	BULLONI - SPINOTTI e VITI CON GAMBO LISCIO DI DIAMETRO $\phi > 6\text{mm}$	VITI CARICATE ASSIALMENTE
$n_{ef} = n^{k_{ef}}$	$n_{ef} = \min. \begin{cases} n \\ n^{0,9} \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \end{cases}$	$n_{ef} = n^{0,9}$

## Connessioni con mezzi di unione metallici

Connessioni legno-legno e pannello-legno per: **chiodi, cambrette, bulloni, spinotti e viti.**

$$F_{v,Rk} = \min. \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} t_1 d \quad (a) \\ f_{h,2,k} t_2 d \quad (b) \\ \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1 + \beta} \left[ \sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[ 1 + \frac{t_2}{t_1} + \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (c) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta) M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (d) \quad (8.6) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[ \sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta) M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (e) \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (f) \end{array} \right.$$

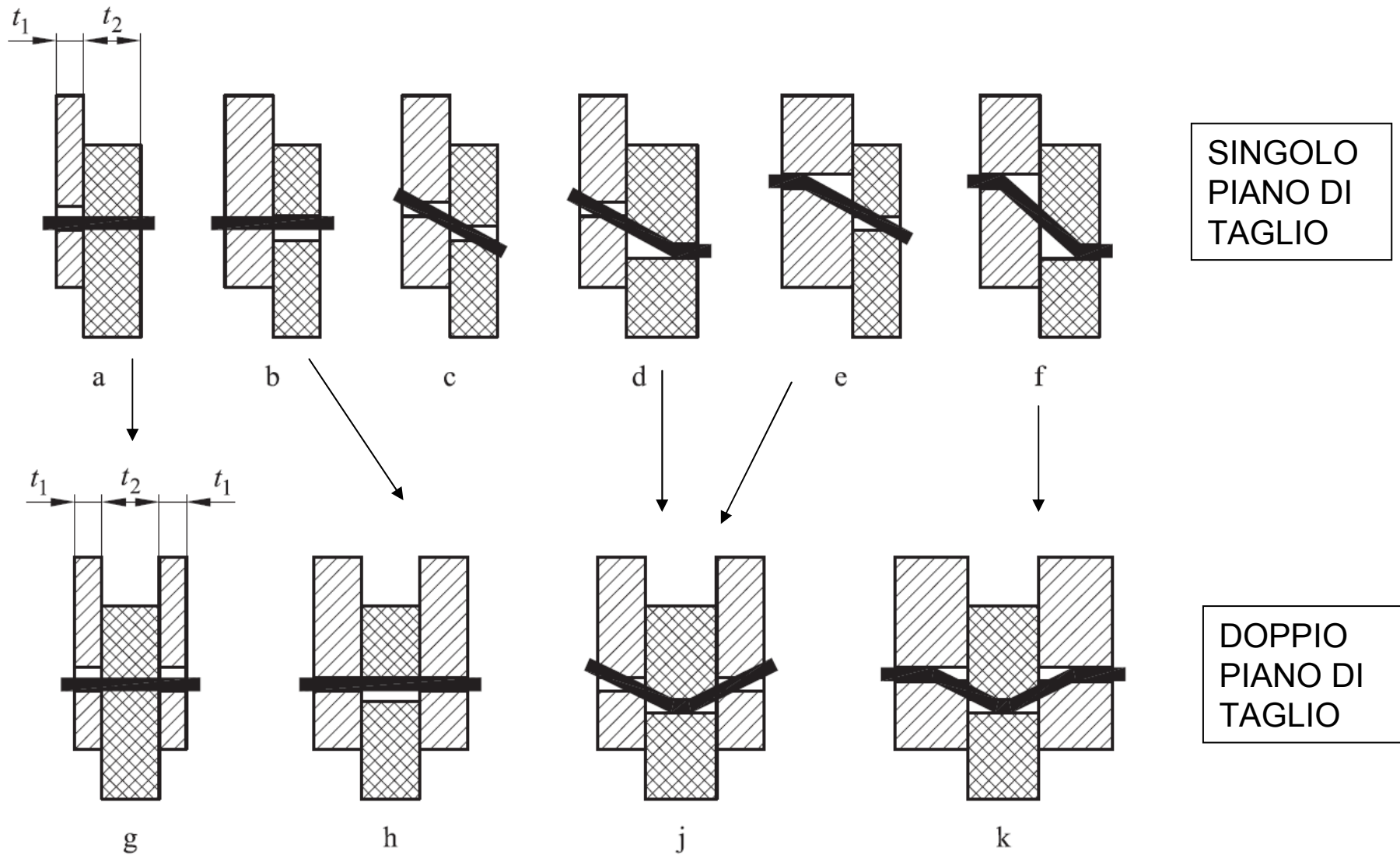
SINGOLO  
PIANO DI  
TAGLIO

$$F_{v,Rk} = \min. \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} t_1 d \quad (g) \\ 0,5 f_{h,2,k} t_2 d \quad (h) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta) M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (j) \quad (8.7) \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (k) \end{array} \right.$$

DOPPIO  
PIANO DI  
TAGLIO

## Connessioni con mezzi di unione metallici

Connessioni legno-legno e pannello-legno per: **chiodi, cambrette, bulloni, spinotti e viti.**



## Conessioni con mezzi di unione metallici

Conessioni legno-legno e pannello-legno per: **chiodi, cambrette, bulloni, spinotti e viti.**

$F_{v,Rk}$  è la capacità portante caratteristica per singolo piano di taglio e per singolo mezzo di unione  
 $t_i$  è lo spessore del legno o del pannello, oppure la profondità di penetrazione;  
 $f_{h,i,k}$  è la resistenza caratteristica a rifollamento nell'elemento ligneo i-esimo;  
 $d$  è il diametro del mezzo di unione;  
 $M_{y,Rk}$  è il momento caratteristico di snervamento per il mezzo di unione;  
 $\beta$  è il rapporto fra le resistenze a rifollamento degli elementi;  
 $F_{ax,Rk}$  è la capacità caratteristica assiale a estrazione per il mezzo di unione.

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}}$$

### RESISTENZE CARATTERISTICHE A RIFOLLAMENTO - $f_{h,i,k}$

CHIODI $\phi < 8$ mm LEGNO E LVL	BULLONI E CHIODI $\phi > 8$ mm LEGNO-LEGNO	BULLONI PANNELLO-LEGNO
senza preforatura $f_{h,k} = 0,082 \rho_k d^{-0,3}$	$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k$	Compensato: $f_{h,k} = 0,11(1 - 0,01d)\rho_k$
con preforatura $f_{h,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k$	DIPENDE DALL'ANGOLO CON LA FIBRATURA $f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$	OSB: $f_{h,k} = 50d^{-0,6} t^{0,2}$
NON DIPENDE DALL'ANGOLO CON LA FIBRATURA		NON DIPENDE DALL'ANGOLO CON LA FIBRATURA



## Connessioni con mezzi di unione metallici

MOMENTO CARATTERISTICO DI SNERVAMENTO - $M_{y,Rk}$	
CHIODI	$M_{y,Rk} = \begin{cases} 0,3 f_u d^{2,6} & \text{per chiodi a gambo cilindrico} \\ 0,45 f_u d^{2,6} & \text{per chiodi a gambo quadro e scanalato} \end{cases}$ <p><math>f_u</math> è la resistenza a trazione del filo, in N/mm<sup>2</sup>.</p>
CAMBRETTE	$M_{y,Rk} = 240 d^{2,6}$
BULLONI	$M_{y,Rk} = 0,3 f_{u,k} d^{2,6}$ <p><math>f_{u,k}</math> è la resistenza caratteristica a trazione,</p>

**Le Viti caricate lateralmente si dimensionano con le regole relative a:**

- Bulloni, se sono viti a gambo liscio di diametro  $d > 6\text{mm}$
- Chiodi, negli altri casi

**Se il diametro esterno della filettatura è maggiore del diametro del gambo liscio,  $d_{ef} = 1.1 d_n$**   
 **$d_n$  = diametro del nucleo della filettatura**

## Connessioni con mezzi di unione metallici

CAPACITA' CARATTERISTICA A ESTRAZIONE -  $F_{ax,Rk}$

### Rappresenta il contributo dovuto all'effetto cordata

- deve essere limitato alle seguenti percentuali della parte di Johansen:

- chiodi a gambo cilindrico 15%;
- chiodi a gambo quadro e scanalato 25%;
- altri chiodi 50%;
- viti 100%;
- bulloni 25%;
- spinotti 0%.

- se non è noto, allora si raccomanda che il contributo dovuto all' "effetto cordata" sia assunto pari a zero.

L'EC5 da una formulazione per determinare  $F_{ax,Rk}$  solo nel caso di viti con

$$\left\{ \begin{array}{l} 6 \text{ mm} \leq d \leq 12 \text{ mm} \\ 0,6 \leq d_1/d \leq 0,75 \end{array} \right. \text{ e chiodi}$$

Es. per i chiodi:

$$F_{ax,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{ax,k} dt_{pen} \longrightarrow f_{ax,k} = 20 \times 10^{-6} \rho_k^2 \\ f_{head,k} d_h^2 \longrightarrow f_{head,k} = 70 \times 10^{-6} \rho_k^2 \end{array} \right\} \text{ Da ridurre di 1/3 se il legno è fresco.}$$

$f_{ax,k}$  è la resistenza caratteristica a estrazione, sul lato della punta;

$f_{head,k}$  è la resistenza caratteristica all'attraversamento dell'elemento da parte della testa, sul lato della testa del chiodo;

$t_{pen}$  è la lunghezza di penetrazione dal lato della punta, oppure la lunghezza della parte filettata inserita nell'elemento che riceve la punta;

$t$  è lo spessore dell'elemento dal lato della testa;

$d_h$  è il diametro della testa del chiodo.

## Connessioni con mezzi di unione metallici

CAPACITA' CARATTERISTICA A ESTRAZIONE -  $F_{ax,Rk}$

$$\text{Nel caso delle viti aventi } \begin{cases} 6 \text{ mm} \leq d \leq 12 \text{ mm} \\ 0,6 \leq d_1/d \leq 0,75 \end{cases} \longrightarrow F_{ax,k,Rk} = \frac{n_{ef} f_{ax,k} d l_{ef} k_d}{1,2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha}$$
$$n_{ef} = n^{0,9}$$

$$f_{ax,k} = 0,52 d^{-0,5} l_{ef}^{-0,1} \rho_k^{0,8}$$

$$k_d = \min. \begin{cases} \frac{d}{8} \\ 1 \end{cases}$$

$l_{ef}$  è la lunghezza di penetrazione della parte filettata in millimetri;

$\rho_k$  è la massa volumica caratteristica, in  $\text{kg/m}^3$ ;

$\alpha$  è l'angolo tra l'asse della vite e la direzione della fibratura, con  $\alpha \geq 30^\circ$ .

**Se le prescrizioni sui diametri non sono verificate si dovrà far riferimento a dati sperimentali.**

## Connessioni con mezzi di unione metallici

### CAPACITA' CARATTERISTICA A ESTRAZIONE - $F_{ax,Rk}$

#### Valori che solitamente ritroviamo nei certificati di prova delle viti

d [mm]	L [mm]	$M_{y,k}$ [Nmm]	$f_{ax,k}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{head,k}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{tens,k}$ [KN]	$f_{tor,k} / R_{tor,MW}$
3,5	45 ÷ 50	2160	19,1 ( $\rho_k = 440 \text{ Kg/m}^3$ )	16,0 ( $\rho_k = 380 \text{ Kg/m}^3$ )	3,94	2,42 ( $\rho_k = 500 \text{ Kg/m}^3$ )
4	40 ÷ 80	3050	17,1 ( $\rho_k = 410 \text{ Kg/m}^3$ )	13,4 ( $\rho_k = 390 \text{ Kg/m}^3$ )	5,20	2,58 ( $\rho_k = 500 \text{ Kg/m}^3$ )
4,5	60 ÷ 80	4610	17,2 ( $\rho_k = 410 \text{ Kg/m}^3$ )	18,0 ( $\rho_k = 440 \text{ Kg/m}^3$ )	6,51	3,41 ( $\rho_k = 500 \text{ Kg/m}^3$ )
5	60 ÷ 120	6060	17,9 ( $\rho_k = 440 \text{ Kg/m}^3$ )	17,6 ( $\rho_k = 440 \text{ Kg/m}^3$ )	8,06	3,35 ( $\rho_k = 500 \text{ Kg/m}^3$ )
6	80 ÷ 280	12300	11,6 ( $\rho_k = 420 \text{ Kg/m}^3$ )	12,0 ( $\rho_k = 440 \text{ Kg/m}^3$ )	11,10	2,09 ( $\rho_k = 500 \text{ Kg/m}^3$ )
8	60 ÷ 500	26500	15,8 ( $\rho_k = 410 \text{ Kg/m}^3$ )	12,5 ( $\rho_k = 440 \text{ Kg/m}^3$ )	24,50	2,96 ( $\rho_k = 500 \text{ Kg/m}^3$ )
10	160 ÷ 400	45500	12,5 ( $\rho_k = 420 \text{ Kg/m}^3$ )	12,2 ( $\rho_k = 470 \text{ Kg/m}^3$ )	32,50	3,23 ( $\rho_k = 500 \text{ Kg/m}^3$ )

$f_{ax,k}$  è la resistenza caratteristica a estrazione, perpendicolare rispetto alla direzione della fibratura, in N/mm<sup>2</sup>;

$f_{head,k}$  è il parametro caratteristico all'attraversamento dell'elemento da parte della vite determinato in conformità alla EN 14592 per la massa volumica  $\rho_a$  associata;

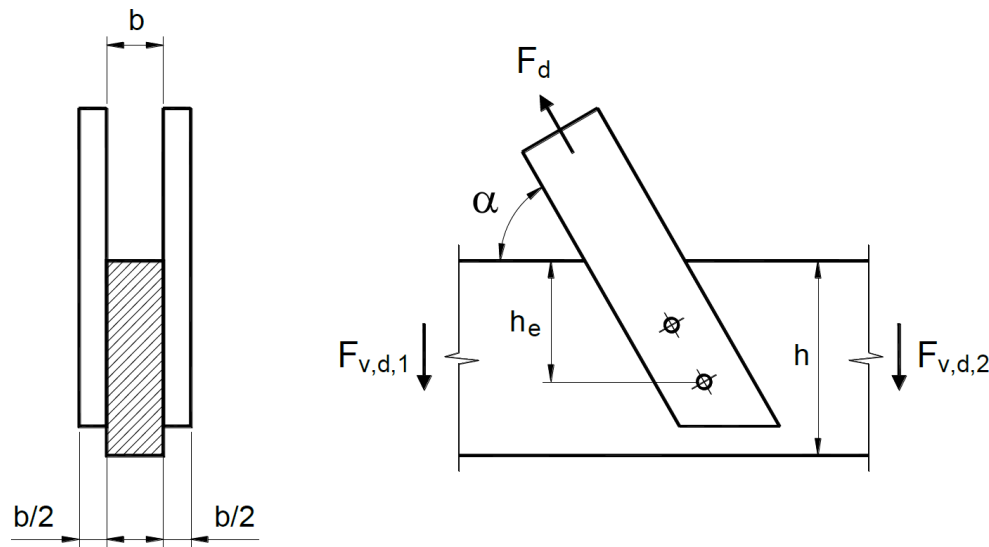
$f_{tens,k}$  è la capacità caratteristica a trazione della vite determinata in conformità alla EN 14592;

## Conessioni con mezzi di unione metallici

Quando una forza in una connessione **agisce in direzione inclinata rispetto alla fibratura**, deve essere presa in considerazione la possibilità di **rottura per spacco** causata dalla componente a **trazione perpendicolare alla fibratura**.

Componente dell'azione ortogonale alla fibra:  $F_{v,d} = F_d \sin \alpha$

$$F_{v,d} = \max \begin{cases} F_{v,d,1} \\ F_{v,d,2} \end{cases}$$



CNR-DT 206/2007 §7.5

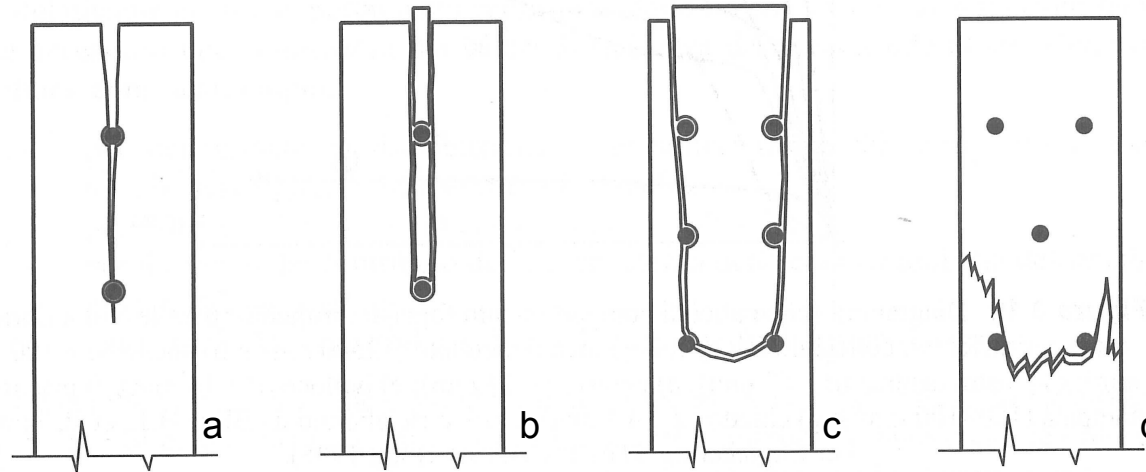
$$F_{v,d} \leq 0,5 F_{90,Rd}$$

$$F_{90,Rk} = 2b \cdot 9 \cdot \frac{h_e}{\sqrt{1 - \left(\frac{h_e}{h}\right)^3}} \cdot f_w \cdot f_r$$

- $h_e$  è la distanza fra il bordo sollecitato e la riga di connettori più distante, in mm;
- $f_w$  è il parametro che tiene conto dell'effetto della larghezza dell'unione;
- $f_r$  è il parametro che tiene conto dell'effetto dell'altezza dell'unione.

## Duttilità nelle unioni con mezzi metallici

La formulazione di Johansen non tiene conto di alcune modalità di collasso che possono avvenire nella parte lignea e **generare meccanismi di rottura fragile.**



**Queste modalità di collasso possono avvenire anche prima che venga raggiunto il limite della capacità portante del connettore.**

Per prevenire queste modalità di rottura nell'Eurocodicec 5 sono previsti i seguenti accorgimenti:

- Rotture tipo "a" e "b" → distanze minime dai bordi e spaziatura tra i connettori
- Rotture tipo "c" → numero efficace e verifica di rottura di distacco del blocco
- Rotture tipo "d" → verifica della sezione netta dell'elemento ligneo

Le distanze minime dai bordi e le spaziature tra i connettori cambiano in funzione del **mezzo di unione, massa volumica e dell'angolo dell'azione con la fibratura.**

## Duttilità nelle unioni con mezzi metallici

**Distanze minime dai bordi e spaziature minime** per i chiodi e viti a gambo liscio di diametro  $\leq 6$

$\alpha$  = angolo fra la forza e la direzione della fibratura

Spaziatura o distanza (vedere figura 8.7)	Angolo $\alpha$	Spaziature e distanze da bordi ed estremità, valori minimi		
		senza preforatura		con preforatura
		$\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$	$420 \text{ kg/m}^3 < \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$	
Spaziatura $a_1$ (parallela alla fibratura)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$d < 5 \text{ mm}$ : $(5 + 5  \cos \alpha ) d$ $d \geq 5 \text{ mm}$ : $(5 + 7  \cos \alpha ) d$	$(7 + 8  \cos \alpha ) d$	$(4 +  \cos \alpha ) d$
Spaziatura $a_2$ (ortogonale alla fibratura)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$7d$	$(3 +  \sin \alpha ) d$
Distanza $a_{3,t}$ (estremità sollecitata)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(10 + 5 \cos \alpha) d$	$(15 + 5 \cos \alpha) d$	$(7 + 5 \cos \alpha) d$
Distanza $a_{3,c}$ (estremità scarica)	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$10d$	$15d$	$7d$
Distanza $a_{4,t}$ (bordo sollecitato)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$d < 5 \text{ mm}$ : $(5 + 2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm}$ : $(5 + 5 \sin \alpha) d$	$d < 5 \text{ mm}$ : $(7 + 2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm}$ : $(7 + 5 \sin \alpha) d$	$d < 5 \text{ mm}$ : $(3 + 2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm}$ : $(3 + 4 \sin \alpha) d$
Distanza $a_{4,c}$ (bordo scarico)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$7d$	$3d$

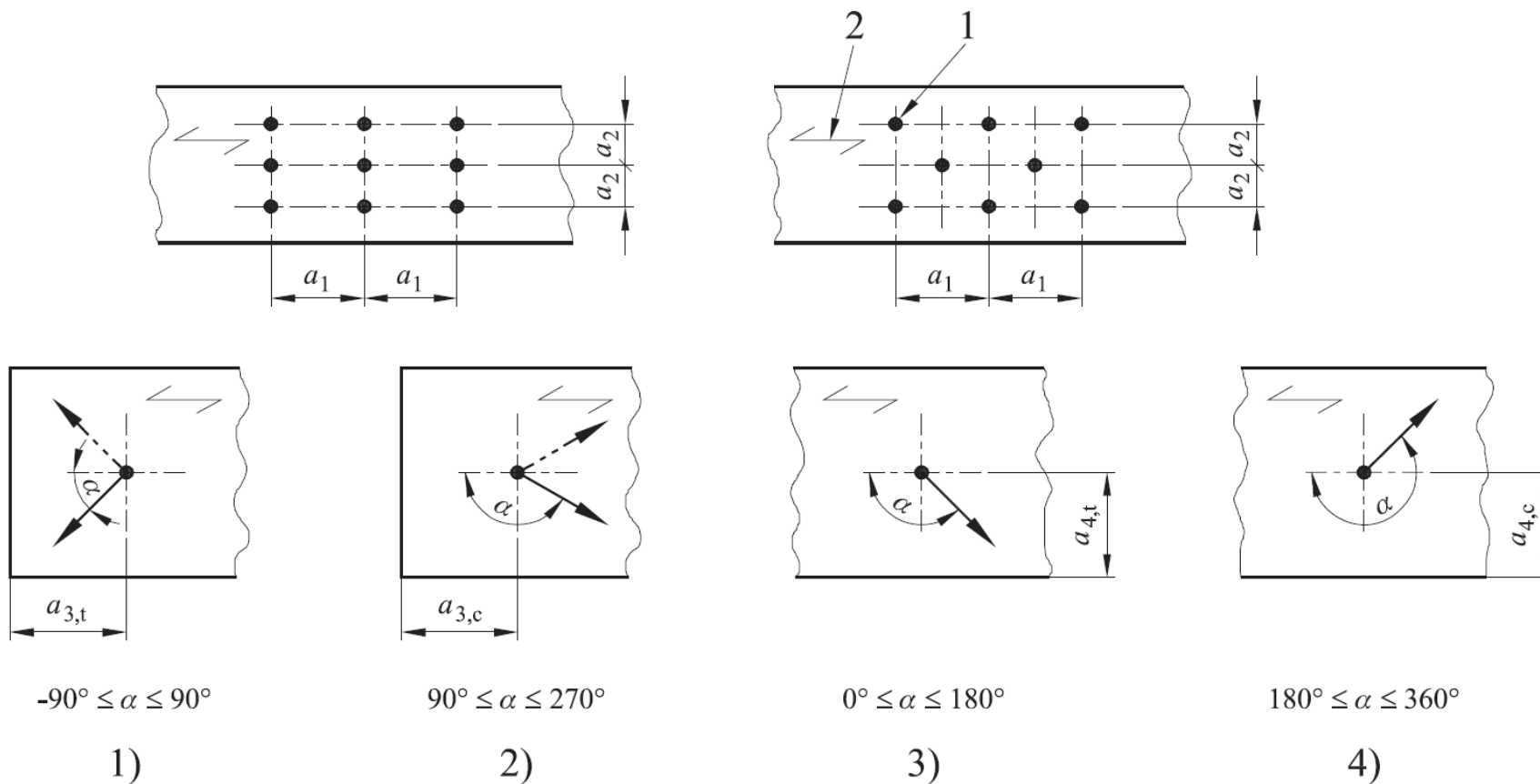
GL24h

$f_{m,g,k}$	24
$f_{t,0,g,k}$	16,5
$f_{t,90,g,k}$	0,4
$f_{c,0,g,k}$	24
$f_{c,90,g,k}$	2,7
$f_{v,g,k}$	2,7
$E_{0,g,mean}$	11 600
$E_{0,g,05}$	9 400
$E_{90,g,mean}$	390
$G_{g,mean}$	720
$\rho_{g,k}$	380

## Duttilità nelle unioni con mezzi metallici

$a_1$  è la spaziatura fra i chiodi di una fila, parallelamente alla fibratura;  
 $a_2$  è la spaziatura fra le file di chiodi, perpendicolarmente alla fibratura;  
 $a_{3,c}$  è la distanza fra chiodo ed estremità scarica;  
 $a_{3,t}$  è la distanza fra chiodo ed estremità sollecitata;  
 $a_{4,c}$  è la distanza fra chiodo e bordo scarico;  
 $a_{4,t}$  è la distanza fra chiodo e bordo sollecitato;

- 1) Estremità sollecitata
- 2) Estremità scarica
- 3) Bordo sollecitato
- 4) Bordo scarico
- 1 Mezzo di unione
- 2 Direzione della fibratura

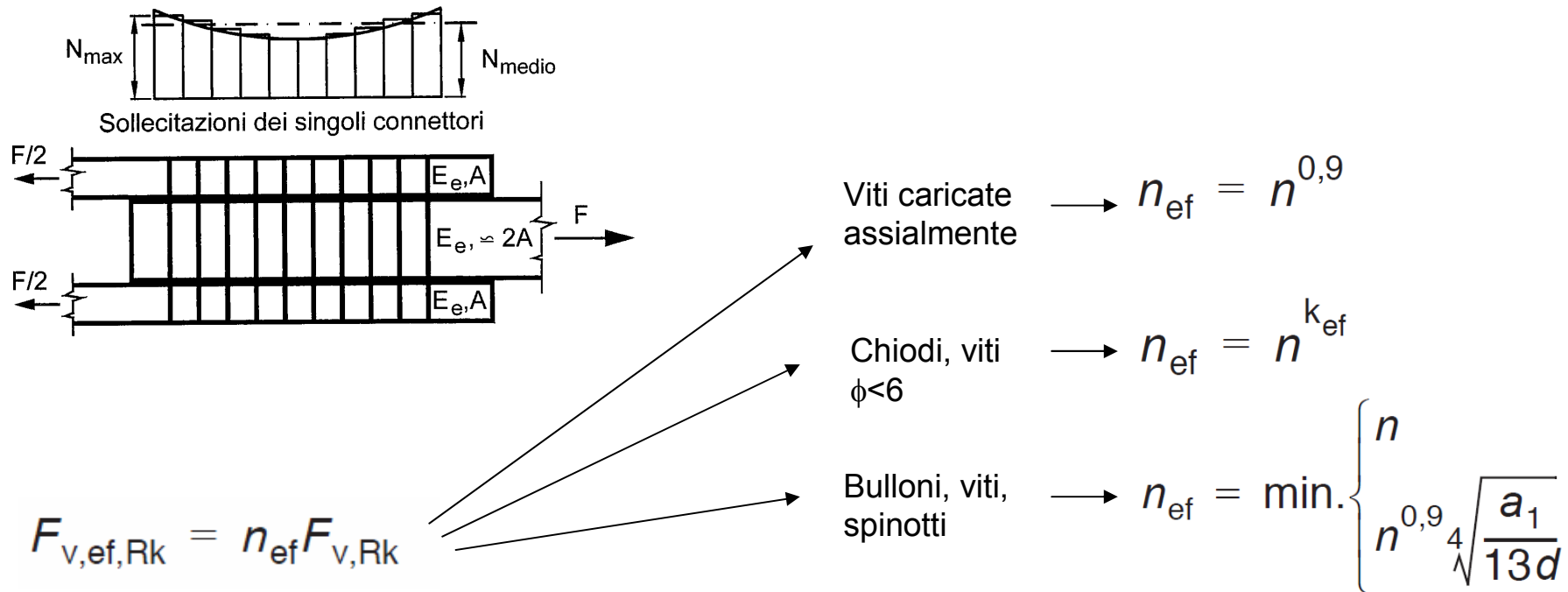




## Duttilità nelle unioni con mezzi metallici

In funzione del tipo di connettore e del diametro dovremo determinare il numero efficace.

E' un coefficiente riduttivo del numero effettivo di connettori che compongono l'unione, per tener conto della reale distribuzione degli sforzi su una fila di connettori disposti parallelamente alla fibratura.



$F_{v,ef,Rk}$  è la capacità portante caratteristica efficace di una fila di mezzi di unione disposta parallelamente alla direzione della fibratura;

$n_{ef}$  è il numero efficace di mezzi di unione in linea, parallelamente alla fibratura;

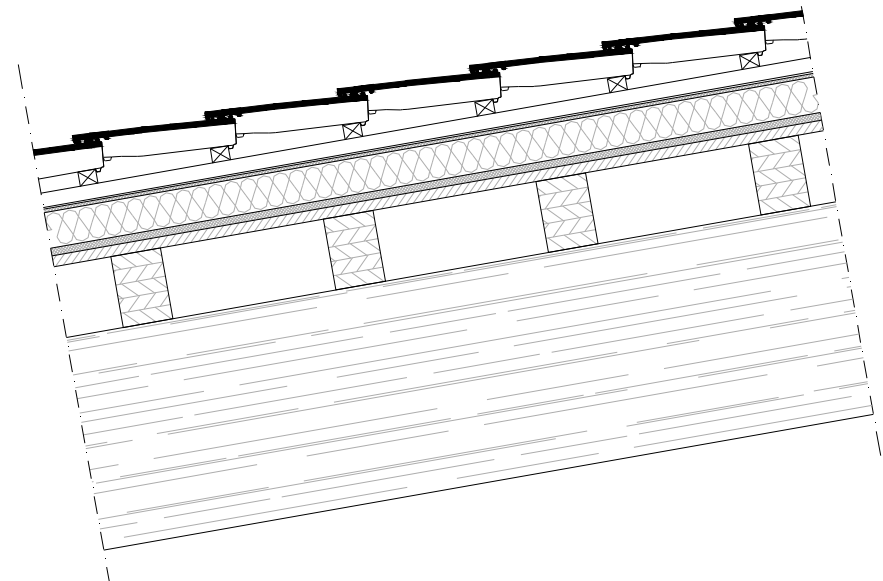
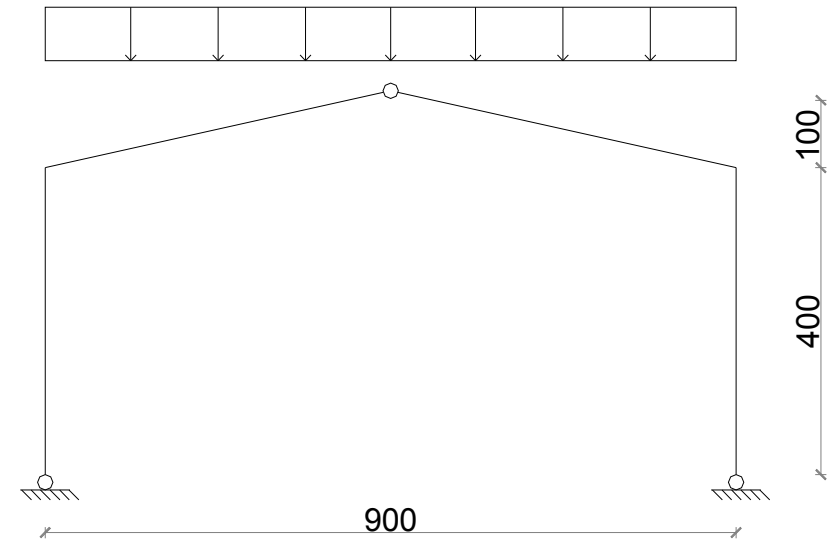
$F_{v,Rk}$  è la capacità portante caratteristica di ciascun mezzo di unione, parallelamente alla fibratura.

## Caso studio – Portale con giunto raggiera

Lo scopo è quello di analizzare tutti i passi necessari al corretto dimensionamento del nodo a raggiera.

Possiamo quindi per semplicità considerare il portale nelle condizioni di carico dovute ai soli carichi verticali.

Interasse dei portali	$i = 5.00 \text{ m}$
Inclinazione della falda	$\alpha = 13^\circ$
Quota s.l.m.	$q = 70 \text{ m}$
Coefficiente di esposizione	$C_e = 1$
Coefficiente termico	$C_t = 1$
Coefficiente di forma	$\mu = 0.8$
Carico di neve al suolo	$q_{sk} = 1.00 \text{ kN/mq}$



## Caso studio – Portale con giunto raggiera

### ANALISI DEI CARICHI

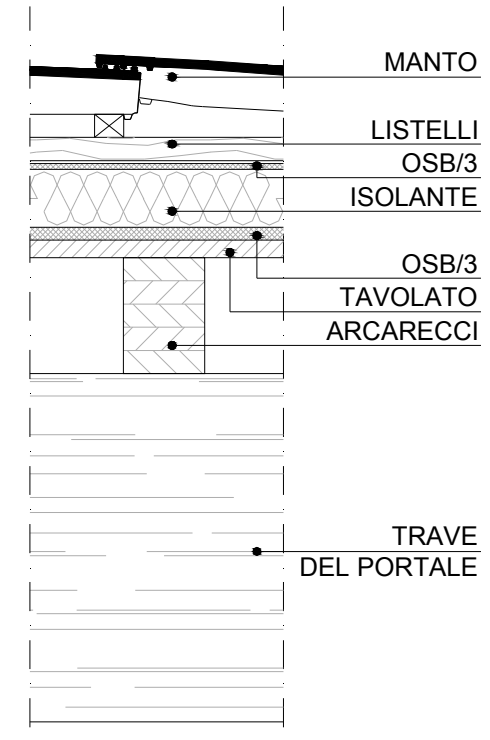
Carichi permanenti compiutamente definiti (Gk1)

Arcarecci	140x200/600 (5 KN/mc)	0.24 KN/mq
Tavolato	S=32mm (5 KN/mc)	0.16 KN/mq
OSB/3	S=22mm (6 KN/mc)	0.14 KN/mq
Isolante	S=100mm (1 KN/mc)	0.10 KN/mq
OSB/3	S=8mm (6 KN/mc)	0.05 KN/mq
Listelli	2x50x40/400(5 KN/mc)	0.04 KN/mq

Carichi permanenti non compiutamente definiti (Gk2)

Manto di copertura in cotto		0.60 KN/mq
-----------------------------	--	------------

Carichi variabili (Qk)    Neve =  $\mu \times q_{sk}$  =                      0.80KN/mq



$$Gk1 = 0.73 \text{ KN/mq}$$

$$Gk2 = 0.60 \text{ KN/mq}$$

$$Qk = 0.80 \text{ KN/mq}$$

### COMBINAZIONI:

$$1\_SLU \text{ permanenti} = 1.3 \times 0.73 + 1.5 \times 0.60 = 1.849 \text{ KN/mq}$$

$$2\_SLU = 1.3 \times 0.73 + 1.5 \times 0.60 + 1.5 \times 0.80 = 3.049 \text{ KN/mq}$$

$$3\_SLE \text{ rara} = 0.73 + 0.60 + 0.80 = 2.130 \text{ KN/mq}$$

$$4\_SLE \text{ frequente} = 0.73 + 0.60 + 0.2 \times 0.8 = 1.490 \text{ KN/mq}$$

$$5\_SLE \text{ q. permanente} = 0.73 + 0.60 + 0 \times 0.8 = 1.330 \text{ KN/mq}$$

$$6\_SLU \text{ sismica} = 0.73 + 0.60 + 0 \times 0.8 = 1.330 \text{ KN/mq}$$

$$7\_SLU \text{ incendio} = 0.73 + 0.60 + 0 \times 0.8 = 1.330 \text{ KN/mq}$$

## Caratteristiche meccaniche dei materiali

Legno lamellare per trave e pilastro GL24h  $\longrightarrow \gamma_m = 1.45$  e  $k_{fi} = 1.15$

Classe di servizio 1  $\longrightarrow$

Carichi variabili di breve durata (neve)  $\longrightarrow k_{mod} = 0.9$

Resistenza al fuoco R30

CARATTERISTICHE MECCANICHE GL 24h							
Proprietà di resistenza			SLU	SLU-P	FUOCO		
		N/mm <sup>2</sup>		N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	
Flessione	$f_{m,k}$	24.00	$f_{m,d}$	14.90	9.93	27.60	
Trazione parallela	$f_{t,o,k}$	16.50	$f_{t,o,d}$	10.24	6.83	18.98	
Trazione perpendicolare	$f_{t,90,k}$	0.40	$f_{t,90,d}$	0.25	0.17	0.46	
Compressione parallela	$f_{c,0,k}$	24.00	$f_{c,0,d}$	14.90	9.93	27.60	
Compressione perpendicolare	$f_{c,90,k}$	2.70	$f_{c,90,d}$	1.68	1.12	3.11	
Taglio	$f_{v,k}$	2.70	$f_{v,d}$	1.68	1.12	3.11	
<b>Proprietà di rigidezza</b>			$f_d = k_{mod} \frac{f_k}{\gamma_m}$ $f_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{f_k}{\gamma_{m,fi}} k_{fi}$				
Modulo elastico medio //	$E_{0,mean}$	11.60					kN/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico 5° percentile //	$E_{0,05}$	9.40					kN/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico medio perpendicolare	$E_{90,mean}$	0.39					kN/mm <sup>2</sup>
Modulo tangenziale medio	$G_{mean}$	0.72	kN/mm <sup>2</sup>				
<b>Massa volumica</b>							
Massa volumica 5° percentile	$P_k$	380.00	kg/m <sup>3</sup>				

Tabella 4.4.IV - Valori di  $k_{mod}$  per legno e prodotti strutturali a base di legno

Materiale	Riferimento	Classe di servizio	Classe di durata del carico				
			Permanente	Lunga	Media	Breve	Istantanea
Legno massiccio Legno lamellare incollato	EN 14081-1 EN 14080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

# Caratteristiche di sollecitazione

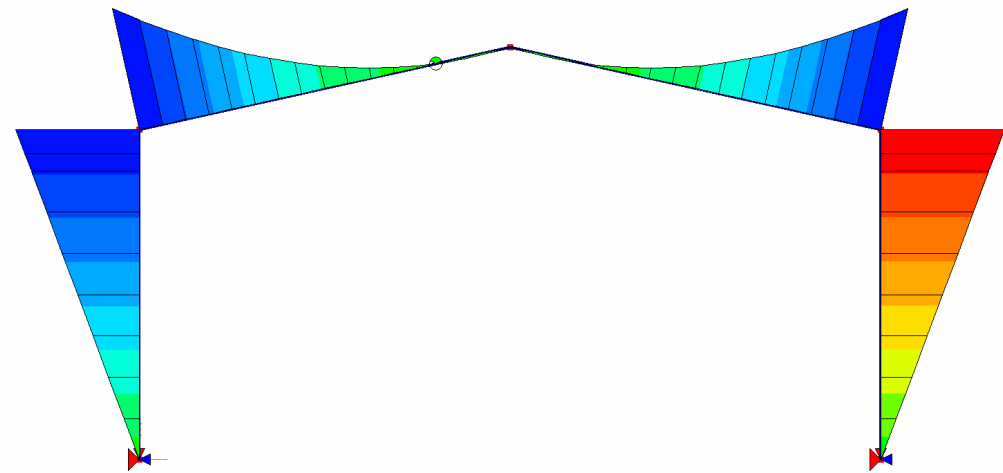
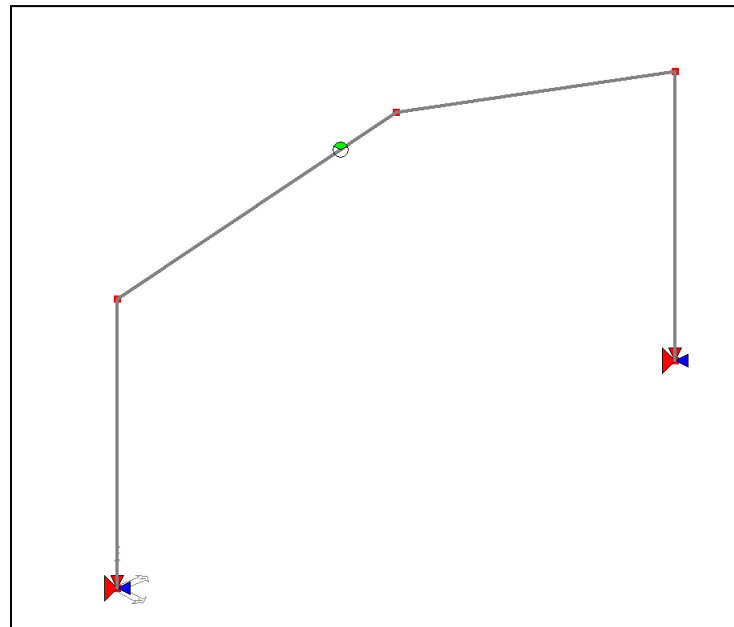


Diagramma dei Momenti

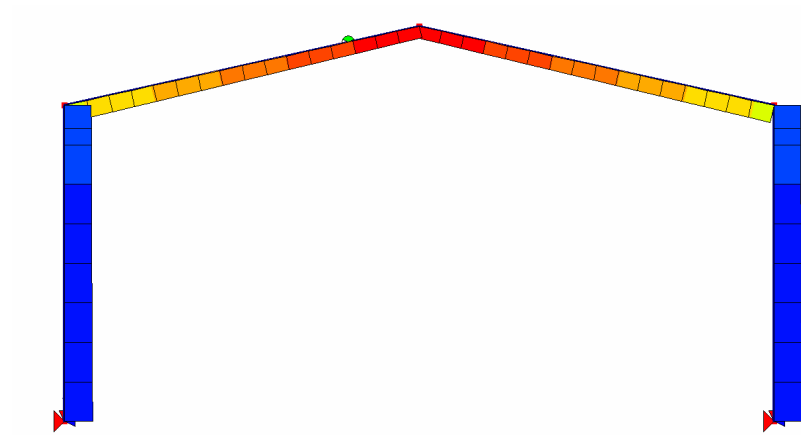


Diagramma dello Sforzo Normale

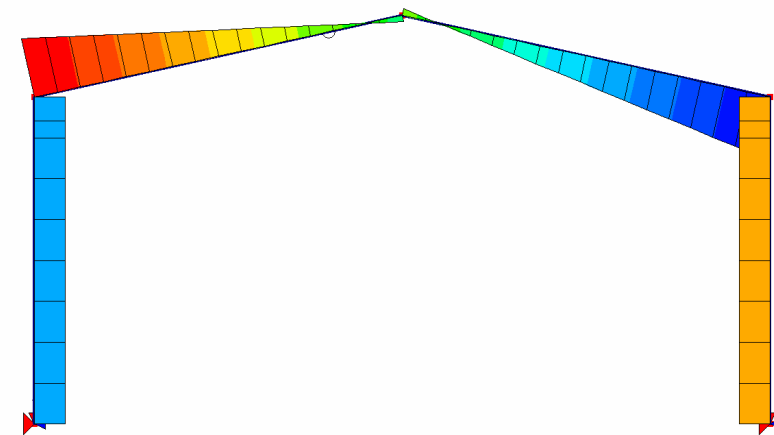


Diagramma del Taglio

## Caratteristiche di sollecitazione

Sezione Trave            200x680mm  
Sezione Pilastro        2x100x680mm

**Dall'analisi gli elementi risultano sfruttati al 70%; normalmente in questa fase si cerca di non superare l'80% di sfruttamento in quanto restano da verificare i nodi e quindi le sezioni ridotte.**

Le caratteristiche di sollecitazione al **nodo trave-colonna** nelle tre combinazioni più significative per la verifica del nodo, sono:

TRAVE		SLU	SLU-P	FUOCO	
Sforzo Normale	$N_T$	48260	30110	21760	N
Taglio	$T_T$	64610	40310	29140	N
Momento Flettente	$M$	1.32E+08	8.26E+07	5.97E+07	Nmm

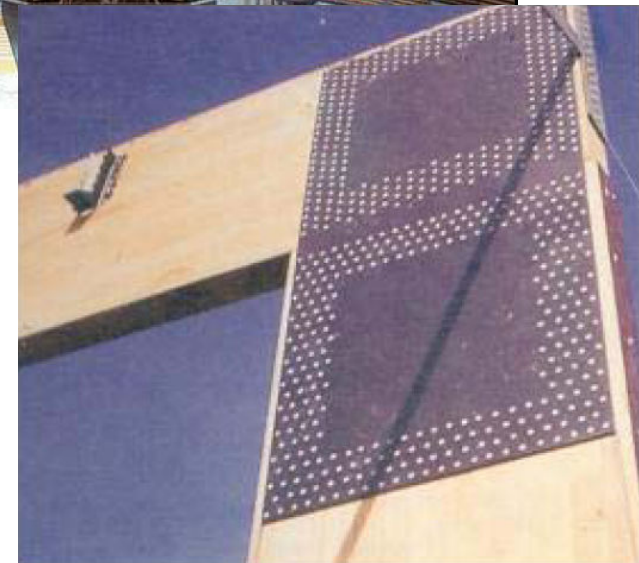
PILASTRO		SLU	SLU-P	FUOCO	
Sforzo Normale	$N_P$	73540	45880	33160	N
Taglio	$T_P$	33090	20640	14920	N
Momento Flettente	$M$	1.32E+08	8.26E+07	5.97E+07	Nmm

## Giunto a raggiera

Il giunto a raggiera è uno dei sistemi di giunzione più utilizzati nella realizzazione di portali di grande luce.

Permette di realizzare un incastro privo di piastre metalliche ed in una posizione, come il nodo Trave-Pilastro, molto conveniente ai fini estetici e della durabilità.

Per sfruttare al massimo le sue potenzialità, generalmente si utilizzano n. 2 sezioni accoppiate per l'uno o l'altro elemento (il pilastro nel nostro esempio).



## Giunto a raggiera

### 7.7.7.1 NTC2008

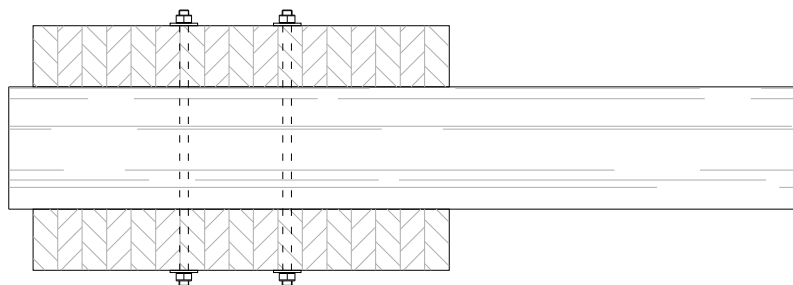
**Perni e bulloni di diametro superiore a 16 mm non devono essere utilizzati** nei collegamenti legno-legno e legno-acciaio, eccezion fatta quando essi siano utilizzati come **elementi di chiusura** dei connettori e tali, quindi, da non influenzare la resistenza a taglio.

**Il collegamento realizzato mediante spinotti o chiodi a gambo liscio non deve essere utilizzato senza accorgimenti aggiuntivi volti ad evitare l'apertura del giunto.**

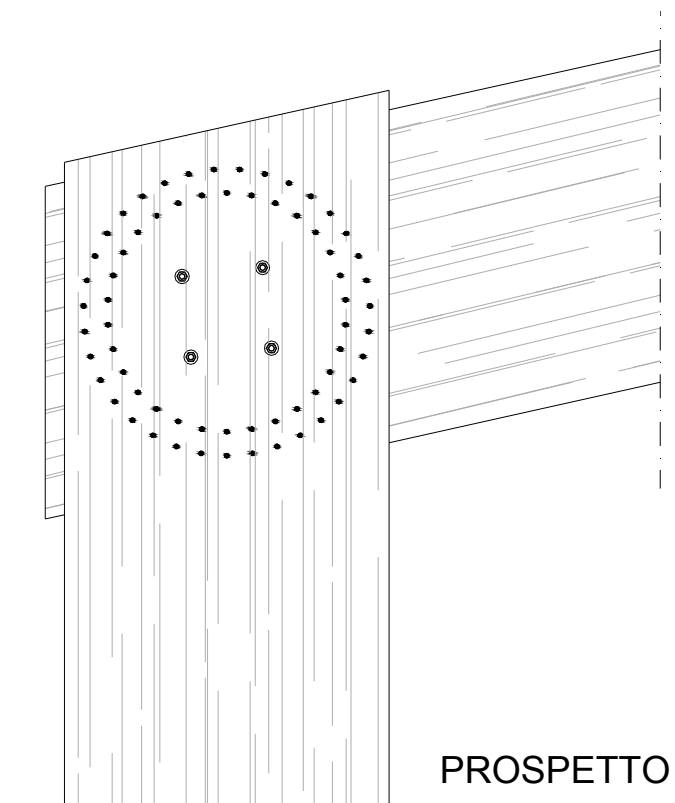
**Per evitare l'apertura del giunto, normalmente si inseriscono dei bulloni.**

**Gli spinotti sono inseriti a forza su fori calibrati.**

I 4 bulloni sono inseriti in fori di diametro 2 o 3mm superiore al diametro del bullone, non devono partecipare alla resistenza.



PIANTA



PROSPETTO



## Giunto a raggiera

Per il calcolo del giunto si fissano le seguenti condizioni:

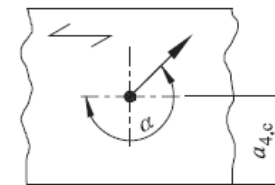
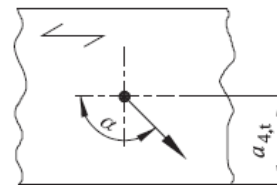
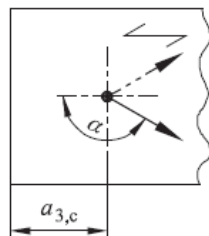
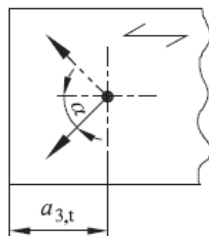
- Unione realizzata con spinotti disposti a raggiera in n. 2 cerchi concentrici
- Spinotti tutti dello stesso diametro,  $\phi = 10\text{mm}$
- Acciaio degli spinotti S 235

Il raggio massimo della spinottatura è stabilito in funzione del diametro dello spinotto e della distanza minima che può essere assunta ai bordi di trave e pilastro:

### Valori minimi di spaziature e distanze da bordi ed estremità, per spinotti

Spaziature e distanze da bordi/estremità (vedere figura 8.7)	Angolo	Minima spaziatura o distanza da bordo/estremità
$a_1$ (parallela alla fibratura)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(3 + 2  \cos \alpha ) d$
$a_2$ (ortogonale alla fibratura)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3d$
$a_{3,t}$ (estremità sollecitata)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	max. ( $7 d$ ; $80 \text{ mm}$ )
$a_{3,c}$ (estremità scarica)	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	max. ( $a_{3,t}  \sin \alpha $ ); <del><math>3d</math></del>
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	$3d$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	max. ( $a_{3,t}  \sin \alpha $ ); <del><math>3d</math></del>
$a_{4,t}$ (bordo sollecitato)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	max. ( $(2 + 2 \sin \alpha) d$ ; $3d$ )
$a_{4,c}$ (bordo scarico)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3d$

Nelle CNR-  
DT206-2007  
Si può avere la  
conferma di  
questo errore



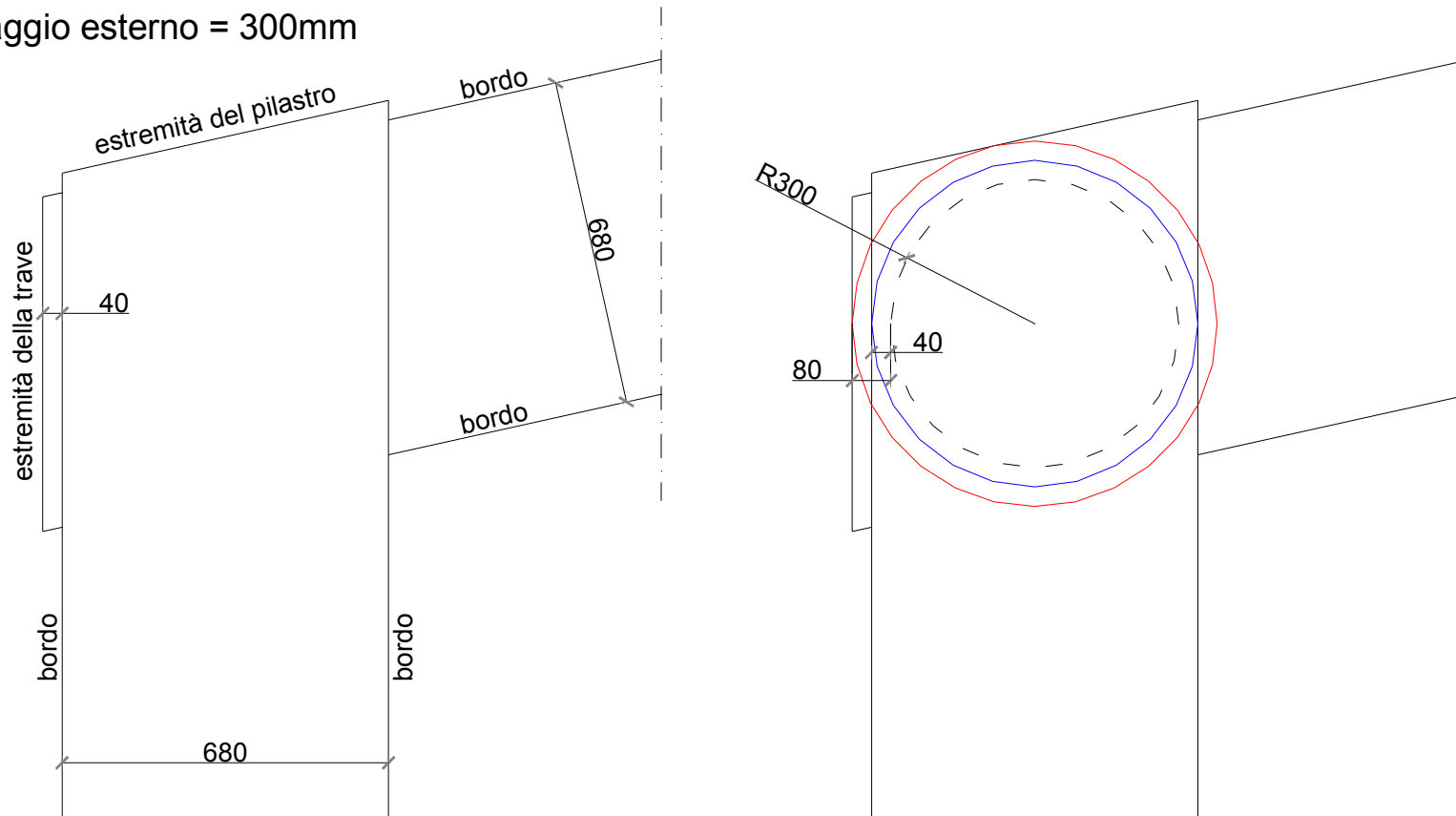
## Giunto a raggiera

Le distanze dai bordi ed estremità degli elementi sono:

$a_{3 \max} = 80\text{mm}$  ; distanza minima dall'estremità di trave e pilastro

$a_{4 \max} = 40\text{mm}$  ; distanza minima dal bordo di trave e pilastro

Raggio esterno = 300mm



La distanza minima tra gli spinotti deve soddisfare la condizione  $a_1$  e  $a_2$ , possiamo quindi assumere, a favore di sicurezza  $5\phi$  come lunghezza minima dell'arco di cerchio tra due spinotti.  
E sempre  $5\phi$  come distanza minima tra le due circonferenze.

## Giunto a raggiere

Nelle due raggiere avremo quindi un numero di spinotti massimo pari a:

RAGGIERA ESTERNA

$$r_e = 300\text{mm}$$

$$n_e = 2 r_e \pi / 5\phi = 37$$

RAGGIERA INTERNA

$$r_i = 250\text{mm}$$

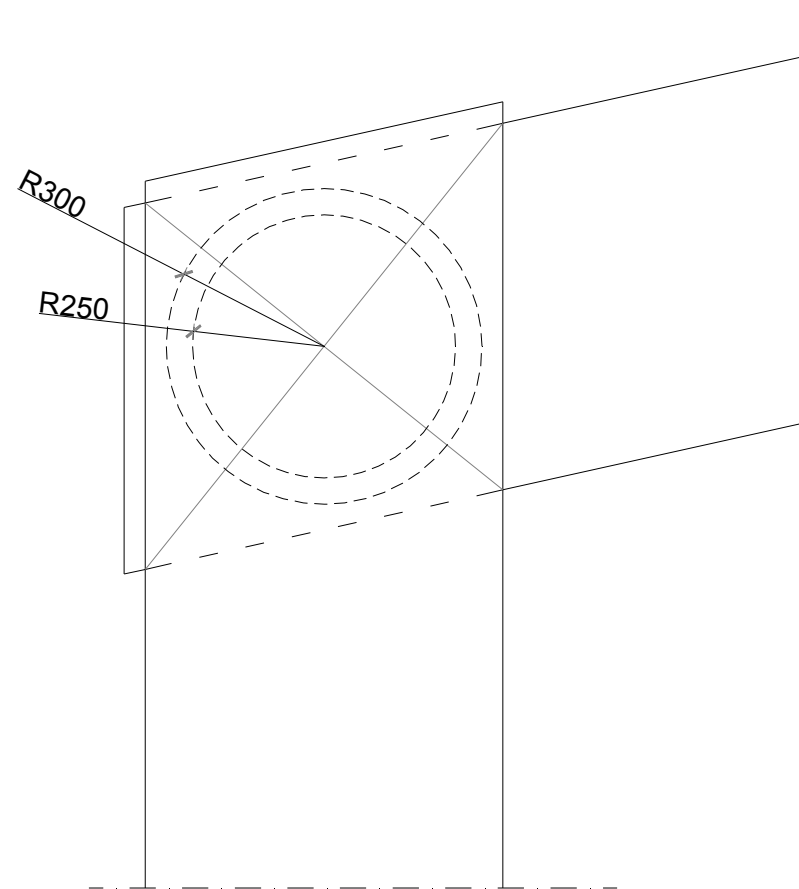
$$n_i = 2 r_i \pi / 5\phi = 31$$

**Diversamente dalle strutture in acciaio, nelle connessioni tra elementi lignei è fondamentale determinare la direzione in cui agiscono le forze.**

**In ogni spinotto avremo una risultante data dalla somma dei contributi di T, N e M con direzioni rispetto alla fibratura tutte diverse tra loro.**

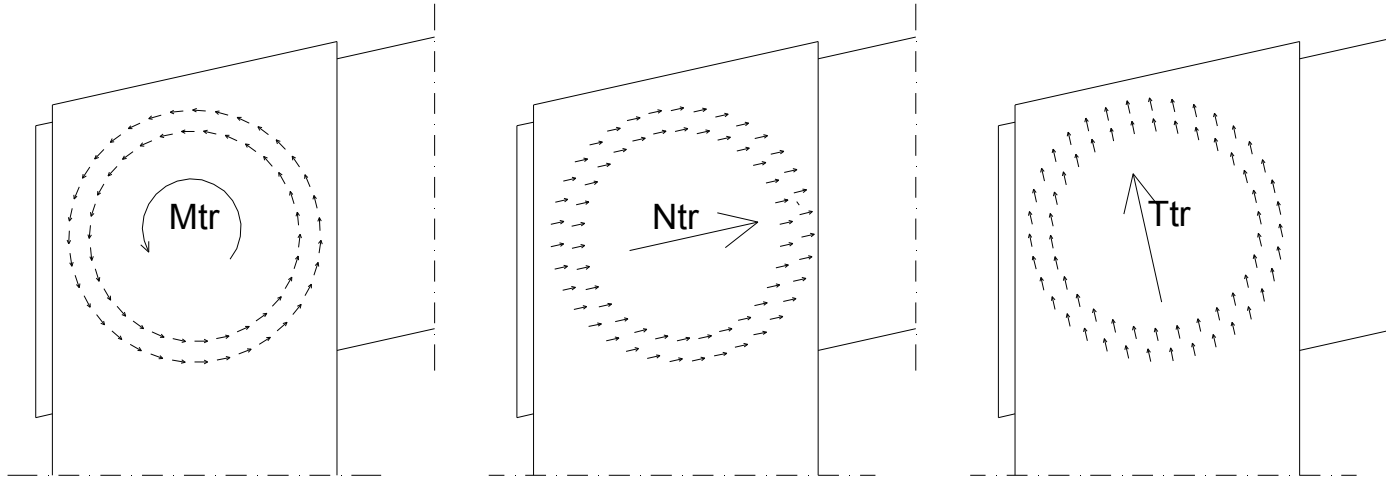
**Avendo ipotizzato di utilizzare spinotti dello stesso diametro, sforzo normale e taglio si ripartiranno in egual misura su tutti gli spinotti.**

**Il momento flettente si ripartirà in funzione della distanza dal baricentro dell'unione, ovviamente gli spinotti più sollecitati saranno quelli più distanti dal baricentro dell'unione.**

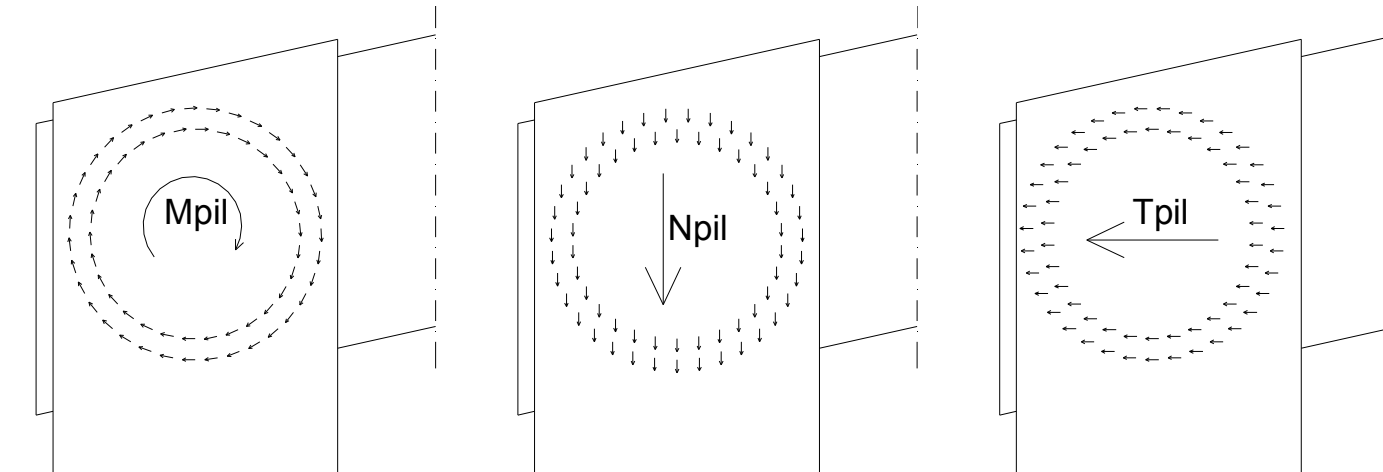


# Giunto a raggiera

Sforzi trasmessi dagli spinotti alla trave



Sforzi trasmessi dagli spinotti al pilastro



## Giunto a raggiera

Su ogni spinotto avremo come già detto azioni aventi diversa direzione e modulo.

Gli spinotti più sollecitati saranno quelli dove il contributo del momento ha la stessa direzione e verso delle componenti dovute al taglio e allo sforzo normale.

**Solitamente ci si limita a valutare l'intensità dell'azione sugli spinotti posizionati sull'asse della trave e del pilastro e su di essi effettuare la verifica.**

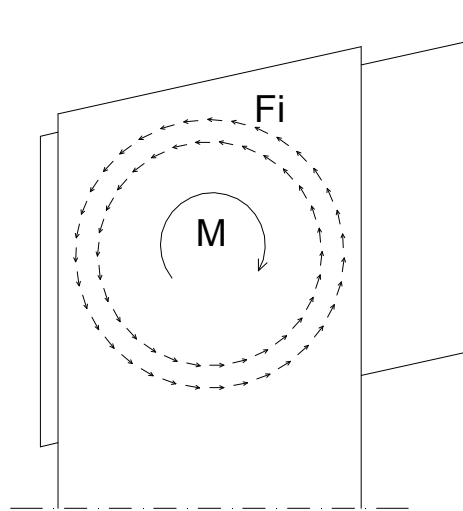
### Componenti delle sollecitazioni sugli spinotti della raggiera più esterna

$F_M = M_d \frac{r_e}{n_e \cdot r_e^2 + n_i \cdot r_i^2}$	
$F_{V,tr} = \frac{V_{tr}}{n_e + n_i}$	$F_{V,pil} = \frac{V_{pil}}{n_e + n_i}$
$F_{N,tr} = \frac{N_{tr}}{n_e + n_i}$	$F_{N,pil} = \frac{N_{pil}}{n_e + n_i}$

## Giunto a raggiera

$$F_M = M_d \frac{r_e}{n_e \cdot r_e^2 + n_i \cdot r_i^2}$$

La ripartizione dell'azione dovuta al momento flettente sugli spinotti deriva dall'equilibrio:



$$M = \sum_i F_{M,i} \cdot r_i$$

$r_i$  = distanza dal centro dello spinotto i-esimo

$F_{M,i}$  = forza agente sullo spinotto i-esimo dovuta al momento flettente

In termini di rigidità e spostamenti, possiamo esprimere la forza agente sullo spinotto i-esimo come:

$$F_{M,i} = k_i \cdot \delta_i$$

$k_i$  = modulo di scorrimento dello spinotto i-esimo

$\delta_i$  = spostamento in direzione ortogonale al raggio       $\delta_i = \omega \cdot r_i$

$\omega$  = rotazione angolare del giunto = variazione relativa dell'angolo tra i due elementi

## Giunto a raggiera

Sostituendo:

$$\delta_i = \omega \cdot r_i$$

$$F_{M,i} = k_i \cdot \delta_i \longrightarrow F_{M,i} = \omega \cdot r_i \cdot k_i$$

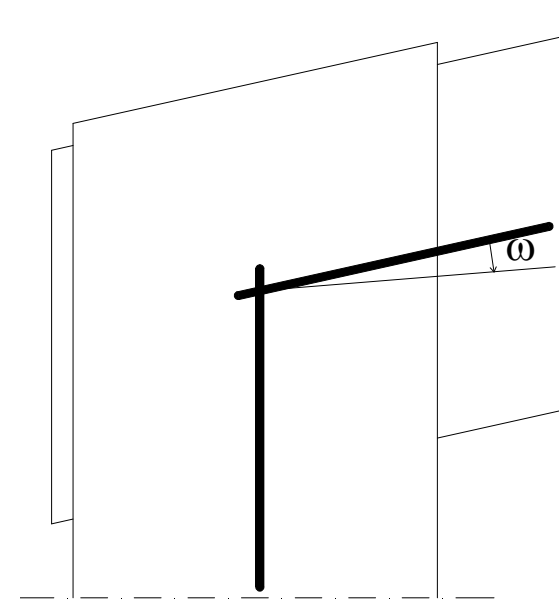
$$M = \sum_i F_{M,i} \cdot r_i \longrightarrow M = \sum_i \omega \cdot k_i \cdot r_i^2 \longrightarrow M = \omega \cdot K_r$$

Dove:  $K_r = \sum_i k_i \cdot r_i^2$  = rigidezza rotazionale totale del giunto

$$\text{E quindi: } F_{M,i} = \omega \cdot r_i \cdot k_i = \frac{M}{K_r} r_i \cdot k_i$$

$$F_{M,i} = M \frac{r_i \cdot k_i}{\sum_j k_j \cdot r_j^2}$$

Se i connettori hanno tutti la stessa rigidezza si ottiene la relazione prima scritta



## Giunto a raggiera

**Lo sforzo totale sul generico spinotto**, ottenuto sommando vettorialmente le tre componenti, **avrà una direzione di azione rispetto alla fibratura dei due elementi diversa.**

**Per la verifica della capacità portante dello spinotto si dovrà tener di conto di tali inclinazioni differenti.**

Per lo spinotto sull'asse del pilastro avremo:

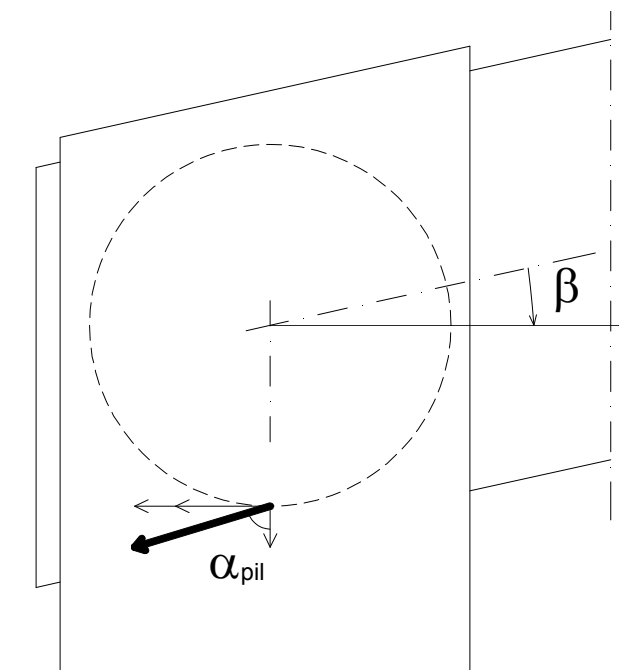
$$F_{TOT,pil} = \sqrt{(F_M + F_{V,pil})^2 + (F_{N,pil})^2}$$

Questo sforzo agisce con un angolo di inclinazione rispetto alla fibratura dei due elementi pari a:

$$\alpha_{pil} = \arctan\left(\frac{F_M + F_{V,pil}}{F_{N,pil}}\right)$$

$$\alpha_{tr} = \beta - (90^\circ - \alpha_{pil})$$

$\beta$  = angolo della trave sull'orizzontale



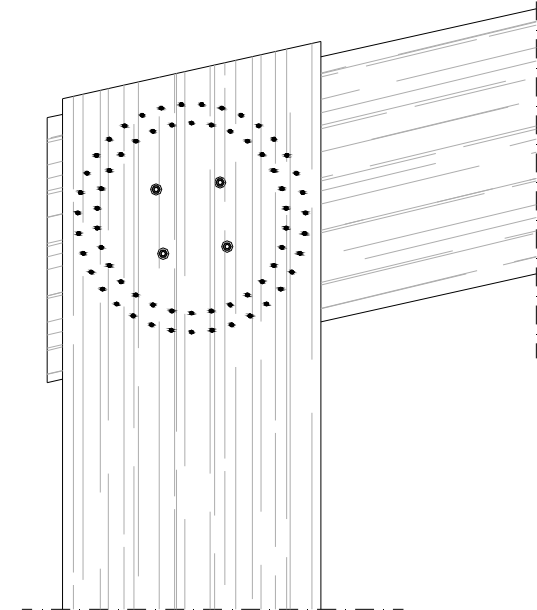


## Giunto a raggiera

Verifica SLU del giunto a raggiera, secondo la geometria ipotizzata inizialmente:

TRAVE		SLU	SLU-P	FUOCO	
Sforzo Normale	$N_T$	48260	30110	21760	N
Taglio	$T_T$	64610	40310	29140	N
Momento Flettente	$M$	1.32E+08	8.26E+07	5.97E+07	Nmm

PILASTRO		SLU	SLU-P	FUOCO	
Sforzo Normale	$N_P$	73540	45880	33160	N
Taglio	$T_P$	33090	20640	14920	N
Momento Flettente	$M$	1.32E+08	8.26E+07	5.97E+07	Nmm



- n. 2 raggiera di raggio 300mm e 250mm
- n. 35 spinotti nella raggiera esterna
- n. 30 spinotti nella raggiera interna
- spinotti tutti dello stesso diametro,  $\phi = 10\text{mm}$
- angolo tra trave e pilastro =  $103^\circ$

						Azioni massime sul connettore in asse Pilastro	Angolo tra azione e fibratura del pilastro trave		Azioni massime in asse Trave	Angolo tra azione e fibratura del pilastro trave	
	$F_{N,tr}$	$F_{N,pil}$	$F_{T,tr}$	$F_{T,pil}$	$F_M$		°	°		°	°
raggi	N	N	N	N	N	N	°	°	N	°	°
<b>re</b>	742	1131	994	509	7904	8489	82.34	5.34	8929	8.23	85.23
<b>ri</b>	742	1131	994	509	6587	7186	80.94	3.94	7617	7.41	84.41

## Giunto a raggiera

Per vedere l'ordine di grandezza, confrontiamo l'azione sollecitante nello spinotto in asse al pilastro con la sua capacità portante;

Nella raggiera più esterna l'azione totale e gli angoli di inclinazione con la fibratura valgono:

$$F_{\text{tot}} = 8489 \text{ N}$$

$$\alpha_{\text{tr}} = 5.34^\circ$$

$$\alpha_{\text{pil}} = 82.34^\circ$$

Unione con n. 2 superfici di taglio

Legno Lamellare GL24h 100+200+100mm

Acciaio degli spinotti S235

Classe di durata del carico = Medio Termine (NEVE)

Classe di servizio 1

$$F_{v,Rk} = \min. \begin{cases} f_{h,1,k} t_1 d & \text{(g)} \\ 0,5 f_{h,2,k} t_2 d & \text{(h)} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta) M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(i)} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(k)} \end{cases}$$

Modo (g)	N	18807.4
Modo (h)	N	27918.5
Modo (j)	N	7464.9
Modo (k)	N	5055.6

$$R = 2 \cdot k_{\text{mod}} \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_m} = 2 \cdot 0.8 \frac{5055}{1.5} = 5392 \text{ N} < 8489 \text{ N}$$

## Giunto a raggiera

**Siamo ben lontani dal verificare l'unione** ed aumentando il numero delle raggiere non otterremo grossi vantaggi in quanto **dovremmo inserirle all'interno**.

Potremmo tentare di aumentare la capacità portante della connessione singola **agendo sul diametro o sul materiale del connettore**, ma anche in questo caso non otterremo grossi vantaggi.

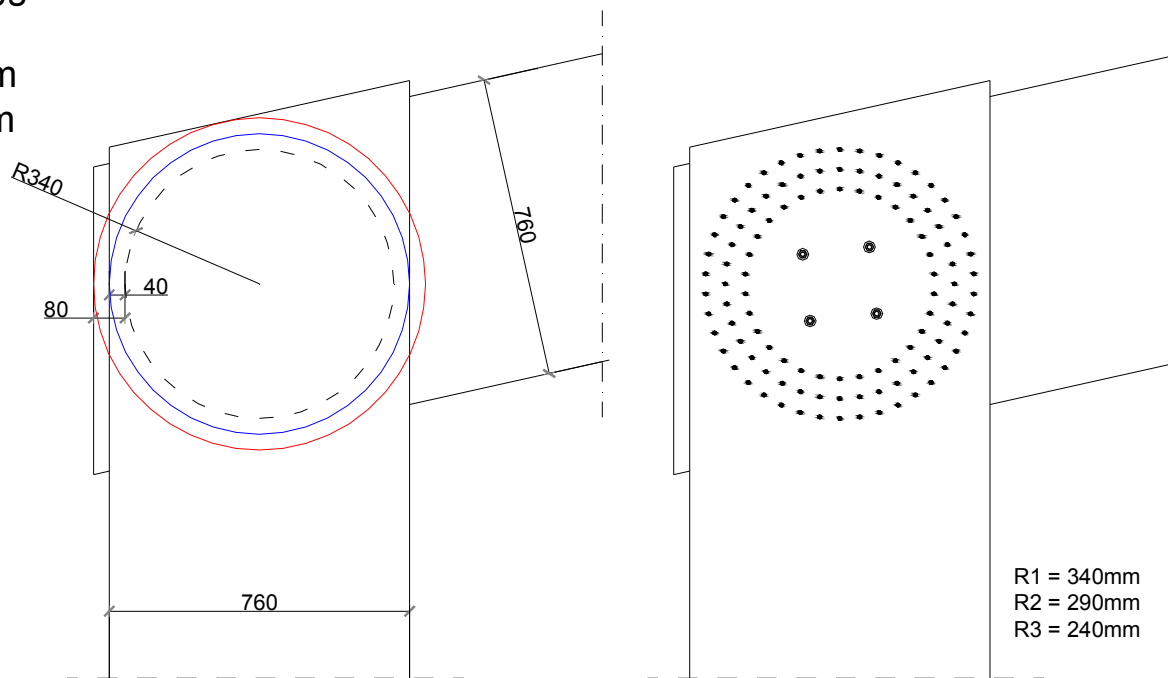
Questo è un caso comunissimo nella progettazione di strutture in legno, dove per far "entrare" le unioni, si è costretti ad aumentare la sezione di elementi di per se già verificati.

**La cosa migliore è cercare di ridurre le azioni sui connettori aumentando i raggi e quindi la sezione di trave e pilastro.**

Se aggiungiamo 2 lamelle ai profili in legno lamellare (1 lamella = 40mm), potremo inserire un numero maggiore di spinotti e con raggio maggiorato di 40mm.

Sezione Trave  
Sezione Pilastro

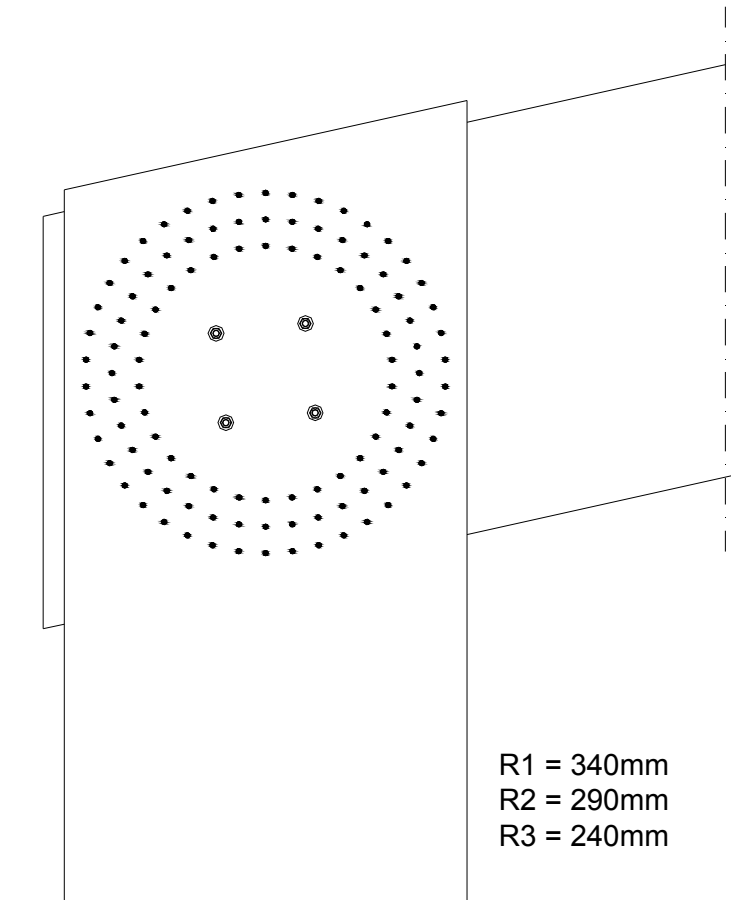
200x760mm  
2x100x760mm



## Giunto a raggiera

Caratteristiche del nodo:

- n. 3 raggiere di raggio 340mm, 290mm e 240mm
- n. di spinotti corrispondenti = 42, 36, 30
- spinotti tutti dello stesso diametro,  $\phi = 10\text{mm}$
- angolo tra trave e pilastro =  $103^\circ$



Le sollecitazioni massime sugli spinotti risultano:

						Azioni massime	Angolo tra azione		Azioni massime	Angolo tra azione	
						sul connettore	e fibratura del		sul connettore	e fibratura del	
	$F_{N,tr}$	$F_{N,pil}$	$F_{T,tr}$	$F_{T,pil}$	$F_M$	in asse Pilastro	pilastro	trave	in asse Trave	pilastro	trave
raggi	N	N	N	N	N	N	°	°	N	°	°
<b>re</b>	447	681	598	306	4684	5037	82.23	5.23	5301	8.16	85.16
<b>r2</b>	447	681	598	306	3995	4355	81.00	4.00	4615	7.44	84.44
<b>r3</b>	447	681	598	306	3306	3676	79.33	2.33	3930	6.47	83.47

## Giunto a raggiera

Verifica dello spinotto più sollecitato, spinotto posizionato sull'asse della trave:

$$F_{\text{tot}} = 5301 \text{ N}$$

$$\alpha_{\text{tr}} = 85.16^\circ$$

$$\alpha_{\text{pil}} = 8.16^\circ$$

Unione a n. 2 superfici di taglio

Legno Lamellare GL24h 100+200+100mm

Acciaio S235

Classe di durata del carico = Medio Termine (NEVE)

Classe di servizio 1

$$F_{v,Rk} = \min. \begin{cases} f_{h,1,k} t_1 d & \text{(g)} \\ 0,5 f_{h,2,k} t_2 d & \text{(h)} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta) M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(j)} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(k)} \end{cases}$$

Modo (g)	N	27764.3
Modo (h)	N	18740.5
Modo (j)	N	9432.1
Modo (k)	N	5044.6

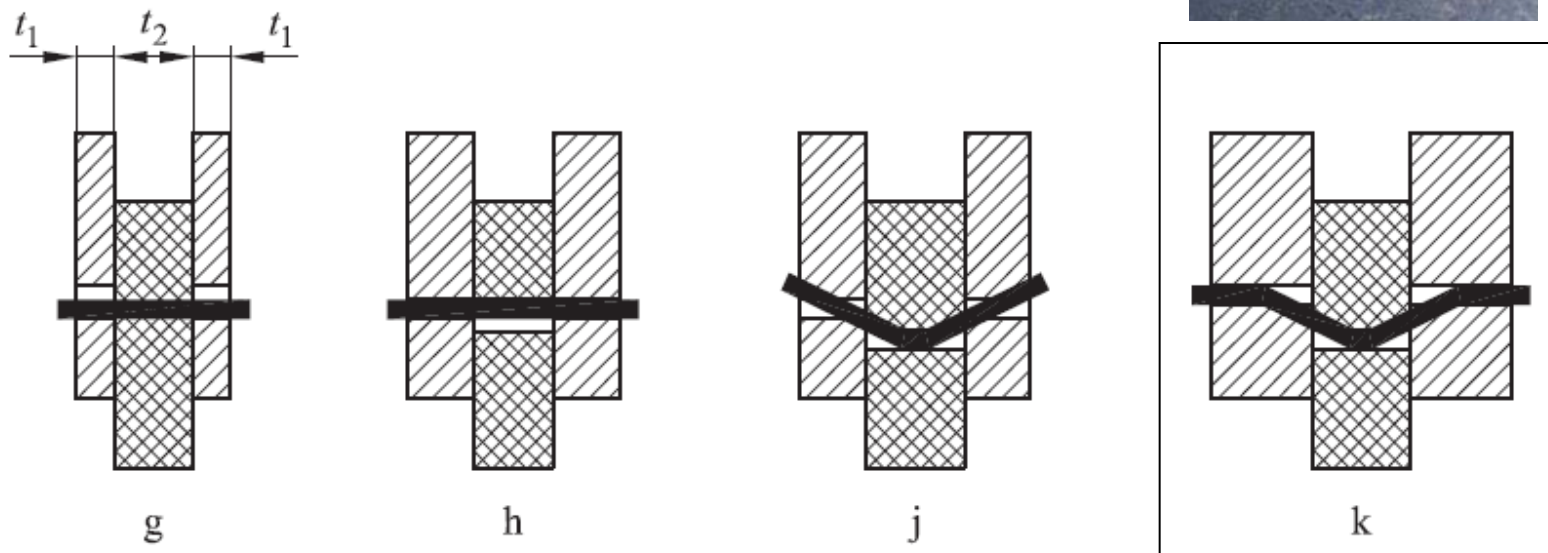
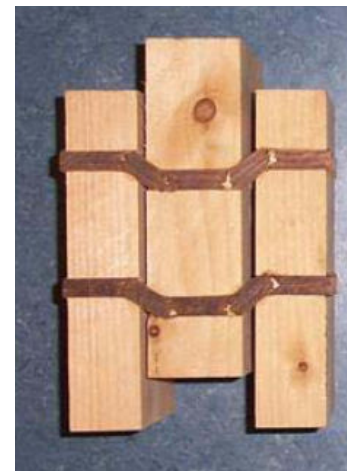
$$R = 2 \cdot k_{\text{mod}} \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_m} = 2 \cdot 0.8 \frac{5044}{1.5} = 5380 \text{ N} > 5301 \text{ N}$$

Verificato

## Giunto a raggiera

Nota:

Il modo di rottura in questo esempio è il modo "k".



Dei 4 modi di rottura che si possono manifestare in un'unione a 3 superfici di taglio, la rottura "k" è quella che assicura la plasticità dei giunti.

§8.2.2 EC5

Quando si progettano unioni in CD"A" o CD"B" si dovrà prestare attenzione al modo di rottura che avviene nei nodi perché nelle strutture in legno è nelle unioni che avviene la dissipazione dell'energia.

## Giunto a raggiera

Verifica in combinazione dei soli permanenti:

TRAVE		SLU	SLU-P	FUOCO	
Sforzo Normale	$N_T$	48260	30110	21760	N
Taglio	$T_T$	64610	40310	29140	N
Momento Flettente	$M$	1.32E+08	8.26E+07	5.97E+07	Nmm

PILASTRO		SLU	SLU-P	FUOCO	
Sforzo Normale	$N_P$	73540	45880	33160	N
Taglio	$T_P$	33090	20640	14920	N
Momento Flettente	$M$	1.32E+08	8.26E+07	5.97E+07	Nmm

Le azioni sollecitanti sono chiaramente inferiori, ma inferiore è anche la capacità portante del connettore.

						Azioni massime sul connettore	Angolo tra azione e fibratura del		Azioni massime sul connettore	Angolo tra azione e fibratura del	
	$F_{N,tr}$	$F_{N,pil}$	$F_{T,tr}$	$F_{T,pil}$	$F_M$	in asse Pilastro	pilastro	trave	in asse Trave	pilastro	trave
raggi	N	N	N	N	N	N	°	°	N	°	°
<b>r1</b>	279	425	373	191	2922	3142	82.23	5.23	3307	8.16	85.16
<b>r2</b>	279	425	373	191	2492	2717	81.00	4.00	2879	7.44	84.44
<b>r3</b>	279	425	373	191	2063	2293	79.33	2.33	2452	6.47	83.47

$$R = 2 \cdot k_{mod} \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_m} = 2 \cdot 0.6 \frac{5044}{1.5} = 4035 N > 3142 N$$

Verificato

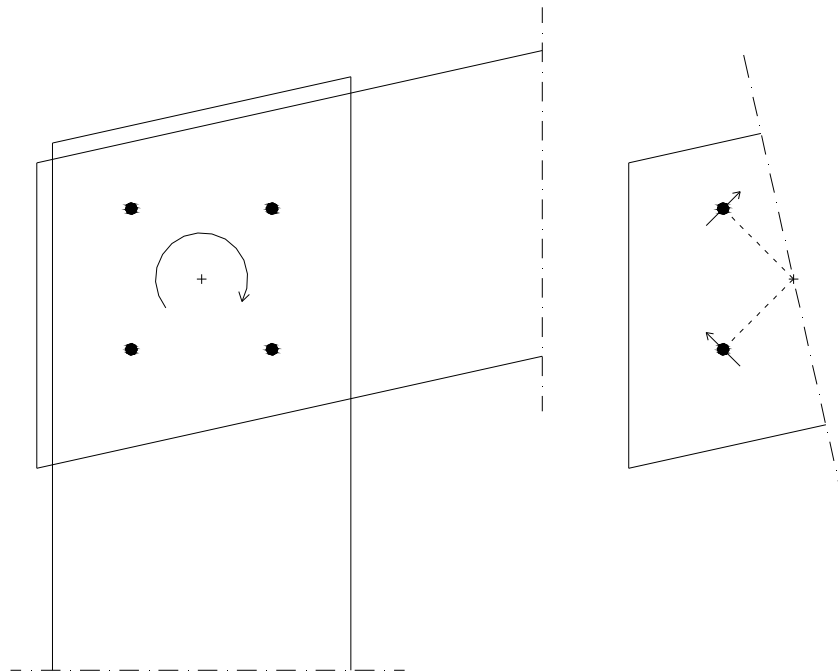
## Giunto a raggiera

### VERIFICA DEGLI SFORZI DI TAGLIO NEL GIUNTO

**Dovrà essere verificato il taglio nella trave e nel pilastro per una forza di taglio che si manifesta nel giunto e che è ben maggiore del taglio su i due elementi.**

L'azione sollecitante si ricava sezionando trave e pilastro nella mezzeria del giunto e imponendo l'equilibrio.

Per capire il perché, facciamo riferimento ad una condizione semplificata:  
Nodo con solo 4 spinotti e solo momento flettente



La trave trasmette al pilastro il Momento attraverso i 4 spinotti.

Le azioni sono ortogonali ai raggi che congiungono gli spinotti al baricentro dell'unione.

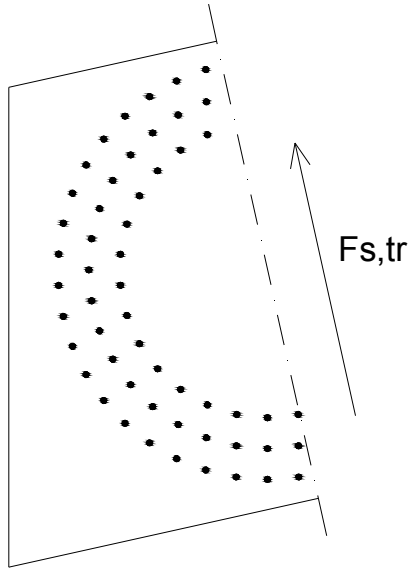
Se facciamo l'equilibrio; le componenti orizzontali si annullano ma quelle verticali si sommano.

Facendo l'equilibrio otteniamo il taglio nel giunto.



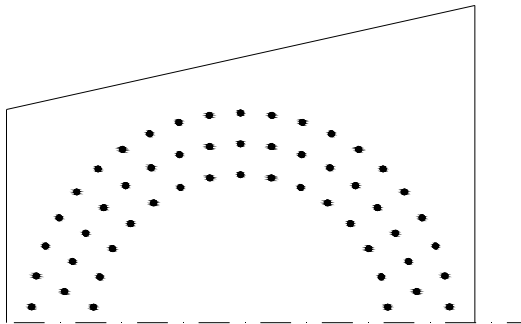
## Giunto a raggiera

### VERIFICA DEGLI SFORZI DI TAGLIO NEL GIUNTO



$$F_{s,tr} = \left( \frac{M_d}{\pi} \right) \cdot \left( \frac{n_e r_e + n_2 r_2 + n_3 r_3}{n_e r_e^2 + n_2 r_2^2 + n_3 r_3^2} \right) - \frac{T_T}{2}$$

$$F_{s,tr} = \left( \frac{1.32 \cdot 10^8}{\pi} \right) \cdot \left( \frac{42 \cdot 340 + 36 \cdot 290 + 30 \cdot 240}{42 \cdot 340^2 + 36 \cdot 290^2 + 30 \cdot 240^2} \right) - \frac{64610}{2} = 107667 N$$



$$F_{s,pil} = \left( \frac{M_d}{\pi} \right) \cdot \left( \frac{n_e r_e + n_2 r_2 + n_3 r_3}{n_e r_e^2 + n_2 r_2^2 + n_3 r_3^2} \right) - \frac{T_P}{2}$$

$$F_{s,pil} = \left( \frac{1.32 \cdot 10^8}{\pi} \right) \cdot \left( \frac{42 \cdot 340 + 36 \cdot 290 + 30 \cdot 240}{42 \cdot 340^2 + 36 \cdot 290^2 + 30 \cdot 240^2} \right) - \frac{33090}{2} = 123427 N$$

←  $F_{s,pil}$

## Giunto a raggiera

### VERIFICA DEGLI SFORZI DI TAGLIO NEL GIUNTO

La sezione resistente lato trave e pilastro è la stessa; 200x760mm.

Seguendo la formulazione delle NTC2008:

$$\tau_d = \frac{3 T}{2 bh} = \frac{3}{2} \cdot \frac{123427}{200 \cdot 760} = 1.21 N / mm^2 < f_{v,d} = 1.68 N / mm^2$$

Seguendo la formulazione dell' Eurocodice5:

$$\tau_d = \frac{3 T}{2 b_{ef} h} = \frac{3}{2} \cdot \frac{123427}{0.67 \cdot 200 \cdot 760} = 1.80 N / mm^2 > f_{v,d} = 1.68 N / mm^2$$

La resistenza a taglio però è valutata con  $\gamma_m = 1.45$ , come previsto dalle NTC2008,

se invece usiamo il  $\gamma_m = 1.25$  previsto dall' Eurocodice5

→  $f_{v,d} = 1.94 N / mm^2$



## Giunto a raggiera

### NUMERO EFFICACE DI SPINOTTI

Come per i bulloni, il numero efficace di spinotti allineati parallelamente alla fibratura, si valuta con la relazione:

$$n_{ef} = \min. \begin{cases} n \\ n^{0,9} \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \end{cases}$$

dove:

$a_1$  è la spaziatura fra bulloni in direzione della fibratura;

$d$  è il diametro del bullone;

$n$  è il numero di bulloni nella fila.

**Se nell'unione ci sono spinotti allineati alla direzione della fibratura della trave o del pilastro, si dovrà ridurre il numero degli spinotti da considerare nelle verifiche.**

**Tale riduzione va però applicata solo per la ripartizione dello sforzo normale.**

In alternativa, si posizionano gli spinotti in modo tale che non siano mai allineati lungo la fibratura, così possiamo considerare  $n = n_{ef}$

Oppure si distanziano gli spinotti in modo tale da ottenere:  $n = n_{ef}$

## Giunto a raggiera

### RIGIDEZZA E ROTAZIONE DEL GIUNTO

La rigidezza rotazionale del giunto è funzioni di:  $K_i$  = modulo di scorrimento dello spinotto i-esimo

Nella UNI 338 sono riportati solo i valori caratteristici della massa volumica del Legno Lamellare, mentre la tabella dei  $K_{ser}$  dell'EC5 li mette in funzione di  $\rho_m$ , dovremo fare riferimento alla tabella: 7.14 delle CNR-DT 206/2007

Tipo di connettore	Unioni legno-legno, legno-pannello	
Spinotti, bulloni calibrati*, viti, chiodi con preforatura	$\rho_k^{1.5} \cdot \frac{d}{20}$	$k_{ser} = 380^{1.5} \cdot 10 / 20 = 3704 N / mm$
Chiodi (senza preforatura)	$\rho_k^{1.5} \cdot \frac{d^{0.8}}{25}$	
Cambrette e graffe	$\rho_k^{1.5} \cdot \frac{d^{0.8}}{60}$	$\rho_k$ = massa volumica caratteristica
Anelli (tipo A secondo EN 912)		Avendo n. 2 piani di taglio:
Caviglie (tipo B secondo EN 912)	$0.6 \rho_k \cdot d_c$	
Piastre dentate singole (tipo C1-C9 secondo EN 912)	$0.3 \rho_k \cdot d_c$	$k_i = 2 \cdot k_{ser} = 7408 N / mm$
Piastre dentate doppie (tipo C10 e C11 secondo EN 912)	$0.45 \rho_k \cdot d_c$	

N.B. il modulo di scorrimento allo SLU deve essere assunto come:  $k_u = \frac{2}{3} k_{ser} = 2469 N / mm$

$$K_{r,E} = \sum_i k_{i,E} \cdot r_i^2 = 7408 \cdot (42 \cdot 340^2 + 36 \cdot 290^2 + 30 \cdot 240^2) = 7.12E + 10 Nmm$$

$$K_{r,U} = \sum_i k_{i,U} \cdot r_i^2 = 4939 \cdot (42 \cdot 340^2 + 36 \cdot 290^2 + 30 \cdot 240^2) = 4.75E + 10 Nmm$$

## Giunto a raggiera

### RIGIDEZZA E ROTAZIONE DEL GIUNTO

$\omega$  = rotazione angolare del giunto = variazione relativa dell'angolo tra i due elementi

Nota il momento flettente che agisce sul nodo allo SLE:  $M = 9.29E+07$  Nmm

$$M = \omega \cdot K_{r,E}$$

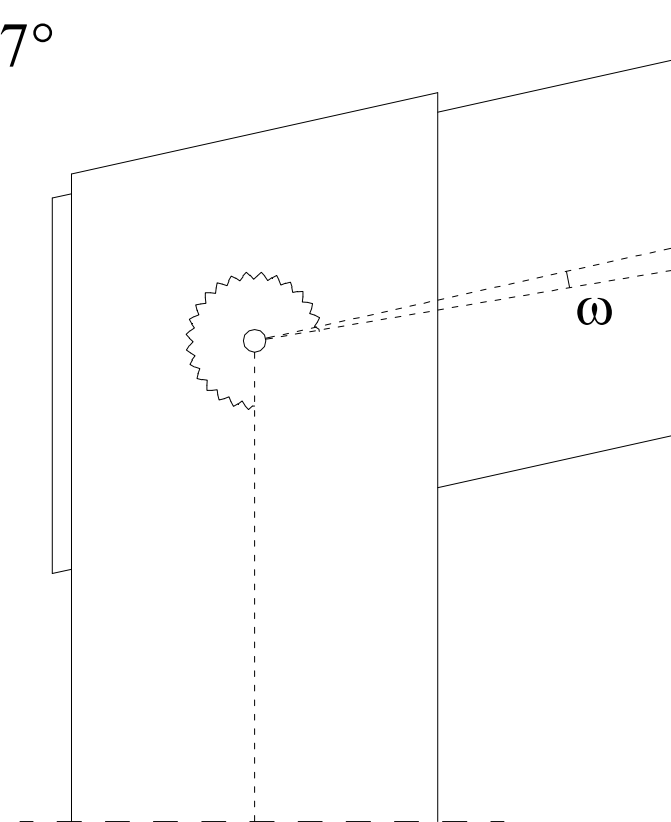
$$\omega = \frac{M}{K_{r,E}} = \frac{9.29E + 07}{7.12E + 10} = 1.30E - 03 rad = 0.07^\circ$$

#### §4.4.2 NTC2008

In presenza di giunti meccanici si deve, di regola, considerare l'influenza della deformabilità degli stessi.

#### §7.7.4 NTC2008

Nell'analisi della struttura si deve tener conto, di regola, della deformabilità dei collegamenti.

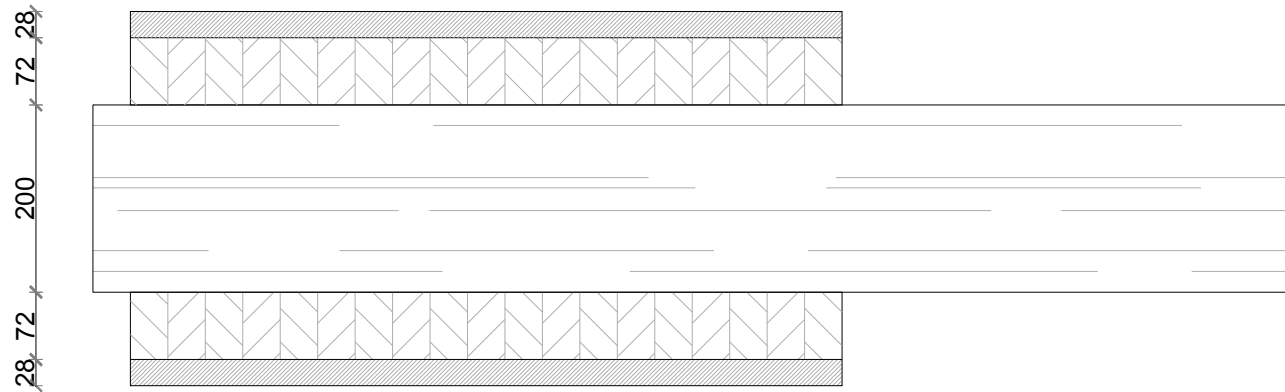


## Giunto a raggiera

### VERIFICA AL FUOCO DELL'UNIONE

Per prima cosa si controlla se con le sezioni ridotte, in combinazione eccezionale, la verifica è soddisfatta:

$$R30 \longrightarrow d_{ef} = d_{char} + k \cdot d = \beta \cdot t + 7 = 0.70 \cdot 30 + 7 = 28mm$$



Se nel calcolo della capacità portante del singolo connettore consideriamo lo spessore ridotto, pari a 72mm:

$$F_{v,Rk} = \min. \begin{cases} f_{h,1,k} t_1 d & (g) \\ 0,5 f_{h,2,k} t_2 d & (h) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta) M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (j) \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (k) \end{cases}$$

Modo (g)	N	19990.3
Modo (h)	N	18740.5
Modo (j)	N	7052.9
Modo (k)	N	5044.6

$$R = 2 \cdot k_{mod} \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_m} = 2 \cdot \frac{5044}{1.5} = 6725 N$$

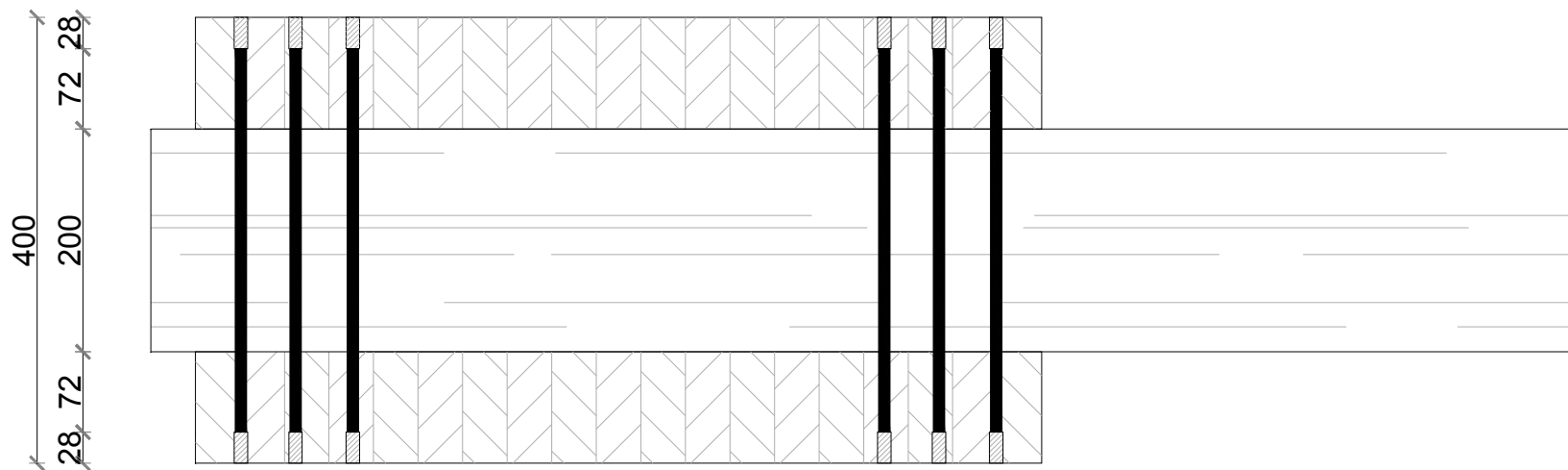
La capacità portante è aumentata perché:  $k_{mod} = 1$   
 Lo spessore ridotto del legno non riduce R  
 L'azione è diminuita perché comb. eccezionale.

## Giunto a raggiera

### VERIFICA AL FUOCO DELL'UNIONE

La lunghezza degli spinotti dovrà essere ridotta di 28mm per lato.

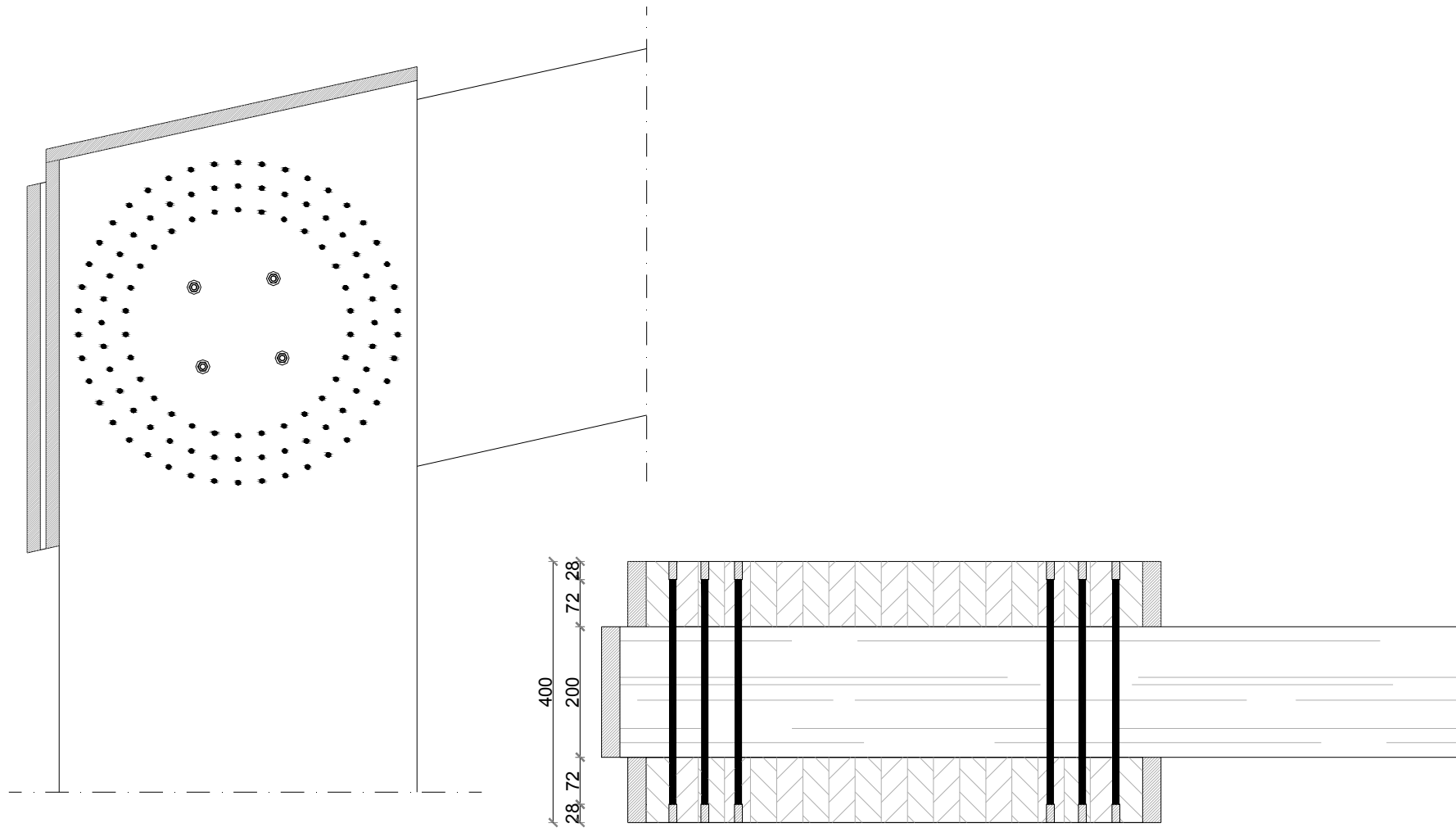
Le estremità dovranno essere protette con uno spessore di legno.



## Giunto a raggiera

### VERIFICA AL FUOCO DELL'UNIONE

Per effetto della carbonizzazione della trave e del pilastro anche ai bordi e alle estremità, non sono più rispettate le distanze minime, dovremo proteggere gli spinotti con uno spessore di legno di 28mm.





## Giunto a raggiera

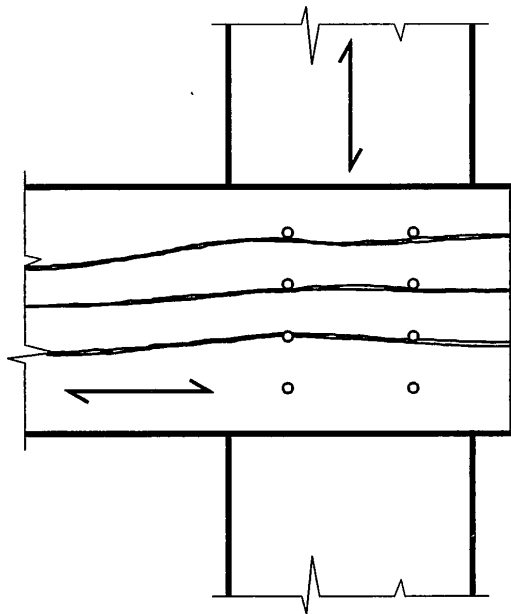
**Occorre prestare attenzione alle variazioni di umidità del legno** in opera e alle conseguenze che può comportare in termini di dilatazioni e contrazioni del materiale.

Nel caso di variazioni cicliche di umidità, si potranno formare degli stati di coazione ortogonali alla fibratura che possono rendere laschi i collegamenti o addirittura fenomeni fessurativi.

Tali fenomeni possono presentarsi nei collegamenti di elementi lignei con piastre di acciaio, ma anche nei collegamenti legno-legno nel caso in cui gli assi longitudinali sono ortogonali.

**Per impedire l'insorgere di tale fenomeno occorre:**

- utilizzare materiale con umidità prossima a quella di equilibrio con l'ambiente
- posizionare i connettori in modo tale da non attivare linee preferenziali di fenditura

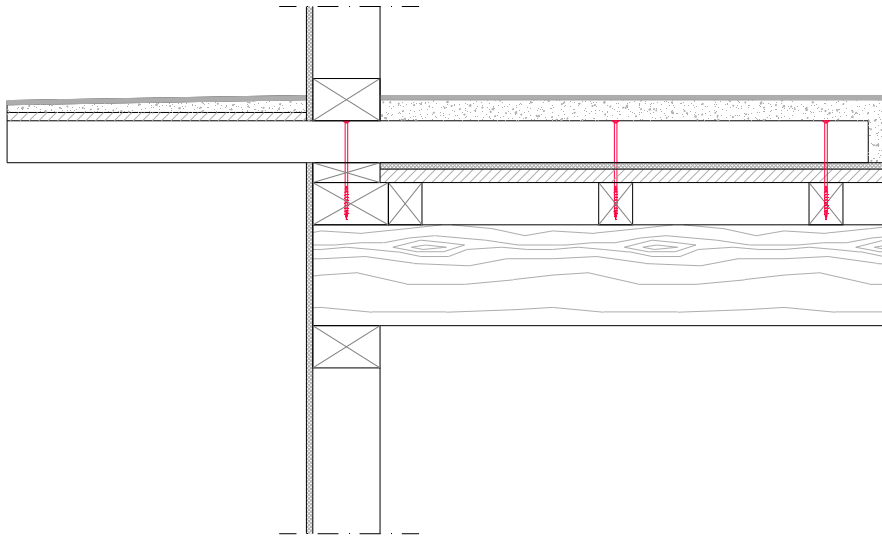


## Calcolo della vite caricata assialmente

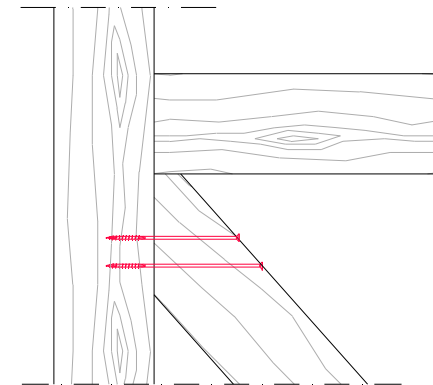
Il dimensionamento delle viti caricate assialmente è ben trattato nel capitolo 8.7.2. dell'EC5.  
Il loro funzionamento segue meccanismi di rottura diversi da quelli precedentemente visti, per viti che lavorano a taglio, inoltre si dovranno adottare spaziature e distanze dai bordi differenti.

**Casi tipici di utilizzo delle viti caricate assialmente sono:**

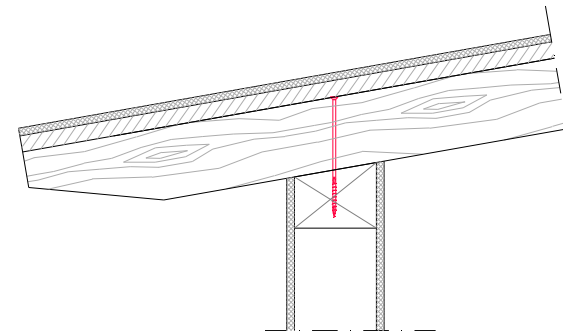
Per collegare elementi in aggetto



Per collegare diagonali di controventamento



Per contrastare il sollevamento dovuto al vento su travi e travetti di copertura



**In questi tre esempi le viti lavorano per azioni assiali di trazione.**

A compressione sono spesso utilizzate per aumentare la resistenza agli appoggi delle travi, data la bassa resistenza a compressione ortogonale alle fibre.

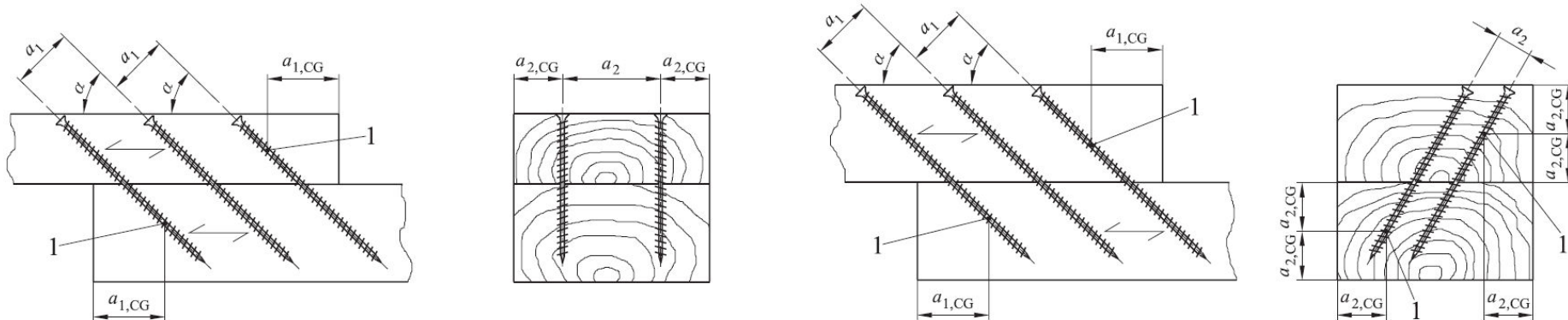
## Calcolo della vite a tiro

Per la verifica della resistenza delle viti caricate assialmente, si deve tener conto dei seguenti modi di rottura:

- la rottura a estrazione della parte filettata della vite;
- la rottura allo strappo della testa della vite;
- la rottura per attraversamento dell'elemento da parte della testa della vite;
- la rottura a trazione della vite;
- la rottura a instabilità della vite sottoposta a carico di compressione;
- la rottura lungo il perimetro di un gruppo di viti utilizzate in congiunzione con piastre di acciaio.

Purché lo spessore del legno sia  $t \geq 12d$ , la spaziatura delle viti e dai bordi è:

Spaziatura minima della vite in un piano parallelo alla fibratura	Spaziatura minima della vite perpendicolare a un piano parallelo alla fibratura	Distanza minima dall'estremità del baricentro della parte filettata della vite nell'elemento	Distanza minima dal bordo del baricentro della parte filettata della vite nell'elemento
$a_1$	$a_2$	$a_{1,CG}$	$a_{2,CG}$
$7d$	$5d$	$10d$	$4d$



La penetrazione minima della parte filettata della vite, dal lato della punta, è di 6 diametri.

## Calcolo della vite a tiro

Come per le viti caricate a taglio, anche per le viti caricate assialmente, la capacità portante sarà pari alla minore delle capacità portanti dei vari meccanismi di rottura.

**La capacità caratteristica a estrazione  $F_{ax,k,Rk}$**  ha due diverse formulazioni a seconda che siano o no verificate le seguenti condizioni:

$$6mm \leq d \leq 12mm$$

$$0.6 \leq \frac{d_1}{d} \leq 0.75$$

se sono vere  
entrambe

$$F_{ax,k,Rk} = \frac{n_{ef} f_{ax,k} d l_{ef} k_d}{1,2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha}$$

se non sono vere  
entrambe

$$F_{ax,\alpha,Rk} = \frac{n_{ef} f_{ax,k} d l_{ef}}{1,2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \left( \frac{\rho_k}{\rho_a} \right)^{0,8}$$

d = diametro esterno della parte filettata  
 $d_1$  = diametro interno della parte filettata  
 $\rho_k$  = massa volumica caratteristica  
 $\rho_a$  = massa volumica associata a  $f_{ax,k}$

$l_{ef}$  = lunghezza di penetrazione della parte filettata  
 $\alpha$  = angolo tra l'asse della vite e fibratura  
 $k_d = \min(d/8 ; 1)$

Nel primo caso la **resistenza caratteristica a estrazione, perpendicolare alla fibratura  $f_{ax,k}$**  potrà essere valutata con la relazione:

$$f_{ax,k} = 0,52 d^{-0,5} l_{ef}^{-0,1} \rho_k^{0,8}$$

Nel secondo caso dovremo utilizzare valori di  $f_{ax,k}$  dedotti da prove sperimentali, il che ci obbliga a farceli fornire dal produttore delle viti.

## Calcolo della vite a tiro

In entrambi i casi, per valutare la **resistenza caratteristica all'attraversamento**  $F_{ax,\alpha,Rk}$  dell'elemento da parte della vite, la relazione è:

$$F_{ax,\alpha,Rk} = n_{ef} f_{head,k} d_h^2 \left( \frac{\rho_k}{\rho_a} \right)^{0,8}$$

$d_h$  = diametro della testa della vite

$f_{head,k}$  = è il parametro caratteristico all'attraversamento dell'elemento da parte della vite determinato in conformità alla EN 14592 per la massa volumica  $\rho_a$  associata;

In entrambi i casi, per valutare la **resistenza caratteristica a trazione della connessione**  $F_{t,Rk}$ , la relazione è:

$$F_{t,Rk} = n_{ef} f_{tens,k} \quad \text{con} \quad n_{ef} = n^{0,9}$$

$f_{tens,k}$  = è la capacità caratteristica a trazione della vite determinata in conformità alla EN 14592.

Anche per  $f_{head,k}$  e  $f_{tens,k}$  si dovrà far riferimento a valori sperimentali associati ad una determinata massa volumica.

Dal calcolo si ottengono valori di capacità portante molto elevate, è bene quindi confrontarli con i valori sperimentali della specifica vite.

## Calcolo della vite a tiro

Esempio – Calcolo capacità portante

**Vite HBS  $\phi 8 \times 160$**

Legno Lamellare GL24 h

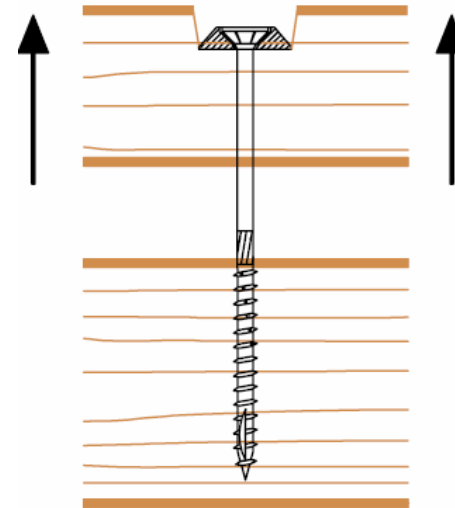
Classe di servizio 1

Classe di durata del carico Istantaneo  $\longrightarrow k_{mod} = 1$

Rondella  $\phi 25 \text{ mm}$

Lunghezza penetrazione parte filettata = 80mm

Angolo tra l'asse della vite e fibratura =  $90^\circ$



Diametro nominale della vite = diametro esterno della filettatura	d	8.0	mm
Diametro del nocciolo = diametro interno alla filettatura	$d_1$	5.4	mm
Diametro del gambo liscio	$d_s$	5.8	mm
Diametro della testa	$d_h$	14.5	mm
Lunghezza della parte filettata	$l_{filetto}$	80	mm

$$6\text{mm} \leq d \leq 12\text{mm} \quad \longrightarrow \quad 6\text{mm} \leq 8 \leq 12\text{mm}$$

$$0.6 \leq d_1 / d \leq 0.75 \quad \longrightarrow \quad 0.6 \leq 0.675 \leq 0.75 \quad \longrightarrow \quad \text{Caso 1}$$

$$f_{ax,k} = 0.52 \cdot d^{-0.5} \cdot l_{ef}^{-0.1} \cdot \rho_k^{0.8} = 0.52 \cdot 8^{-0.5} \cdot 80^{-0.1} \cdot 380^{0.8} = 13.74 \text{ N} / \text{mm}^2$$

$$k_d = \min(d / 8; 1) = \min(8 / 8; 1) = 1$$

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

## Calcolo della vite a tiro

$$F_{ax,k,Rk} = \frac{n_{ef} \cdot f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef} \cdot k_d}{1.2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} = \frac{1 \cdot 13,74 \cdot 8 \cdot 80 \cdot 1}{1} = 8793N$$

In questo caso il valore misurato di  $f_{ax,k}$  è superiore a quello calcolato.

Viti HBS  $\phi$  8 – valori misurati con prove sperimentali

Denominazione	$f_{ax,k}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\rho_{k, faxk}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$f_{head,k}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\rho_{k, head}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$f_{tens,k}$ (KN)	$f_{tor,k}/R_{tor,MW}$	$\rho_{k, tor}$ (kg/m <sup>3</sup> )
vite $\phi$ 8,0x80 HBS	15.80	410	12.50	440	24.50	2.96	500
vite $\phi$ 8,0x100 HBS	15.80	410	12.50	440	24.50	2.96	500
vite $\phi$ 8,0x120 HBS	15.80	410	12.50	440	24.50	2.96	500
vite $\phi$ 8,0x140 HBS	15.80	410	12.50	440	24.50	2.96	500
vite $\phi$ 8,0x160 HBS	15.80	410	12.50	440	24.50	2.96	500
vite $\phi$ 8,0x180 HBS	15.80	410	12.50	440	24.50	2.96	500
vite $\phi$ 8,0x200 HBS	15.80	410	12.50	440	24.50	2.96	500
vite $\phi$ 8,0x220 HBS	15.80	410	12.50	440	24.50	2.96	500
vite $\phi$ 8,0x240 HBS	15.80	410	12.50	440	24.50	2.96	500
vite $\phi$ 8,0x260 HBS	15.80	410	12.50	440	24.50	2.96	500
vite $\phi$ 8,0x280 HBS	15.80	410	12.50	440	24.50	2.96	500
vite $\phi$ 8,0x300 HBS	15.80	410	12.50	440	24.50	2.96	500
vite $\phi$ 8,0x320 HBS	15.80	410	12.50	440	24.50	2.96	500
vite $\phi$ 8,0x340 HBS	15.80	410	12.50	440	24.50	2.96	500
vite $\phi$ 8,0x360 HBS	15.80	410	12.50	440	24.50	2.96	500
vite $\phi$ 8,0x380 HBS	15.80	410	12.50	440	24.50	2.96	500
vite $\phi$ 8,0x400 HBS	15.80	410	12.50	440	24.50	2.96	500

## Calcolo della vite a tiro

Per valutare la capacità portante nei rimanenti meccanismi resistenti dovremo per forza far riferimento alla tabella precedente.

$\rho_{head,k} = 440 \text{ kg/m}^3$  ; massa volumica associata nella valutazione di  $f_{head,k}$

$f_{head,k} = 12.50 \text{ N/mm}^2$

$$F_{ax,\alpha,Rk} = n_{ef} \cdot f_{head,k} \cdot d_h^2 \cdot \left( \frac{\rho_k}{\rho_a} \right)^{0.8} = 1 \cdot 12.50 \cdot 14.50^2 \cdot \left( \frac{380}{440} \right)^{0.8} = 2337N$$

$f_{tens,k} = 24500 \text{ N}$

$$F_{t,Rk} = n_{ef} \cdot f_{tens,k} = 24500N$$

$$F_k = \min\{F_{ax,k,Rk}; F_{ax,\alpha,Rk}; F_{t,Rk}\} = \min\{8793; 2337; 24500\} = 2337N$$

$$F_d = \frac{k_{mod} \cdot F_k}{\gamma_m} = \frac{1 \cdot 2337}{1.5} = 1558N$$



## Calcolo della vite a tiro

Per sfruttare al meglio una vite caricata a tiro è necessario aumentare la resistenza all'attraversamento **aumentando la sezione di testa con una rondella**.

La norma non dice a quale valore di  $f_{head}$  riferirsi nel caso si utilizzi una rondella ma da un punto di vista teorico sembra più giusto utilizzare la formulazione **prevista per i bulloni caricati assialmente**.

Se usiamo la rondella standard ( $\phi = 25 \text{ mm}$ ), la capacità portante diventa:

$$F_{ax,k} = \frac{\pi D^2}{4} f_{c,90,k}^* = 3976 N$$

$$f_{c,90,k}^* = 3 \cdot f_{c,90,k} = 8.10 N / mm^2 \quad = \text{resistenza a compressione sull'area di contatto}$$

**Aumenta di circa il 70%**

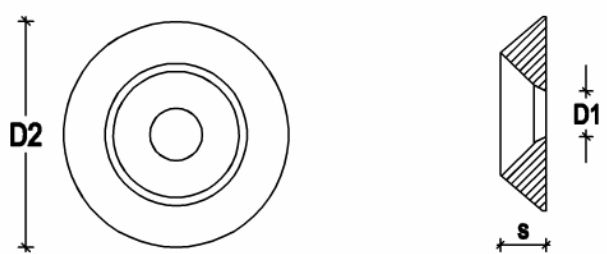
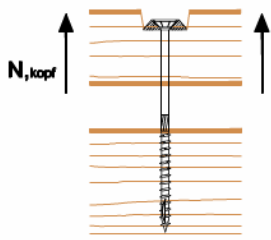
Valori ben superiori, ma coerenti con le prove sperimentali si hanno se manteniamo la stessa formulazione della vite senza rondella:

$$F_{ax,\alpha,Rk} = n_{ef} \cdot f_{head,k} \cdot d_h^2 \cdot \left( \frac{\rho_k}{\rho_a} \right)^{0.8} = 1 \cdot 12.50 \cdot 25^2 \cdot \left( \frac{380}{440} \right)^{0.8} = 6948 N$$



## Calcolo della vite a tiro

Nelle tabelle di portata del produttore la vite ha una capacità portante, se dotata di rondella, pari a:

						Penetrazione testa con rondella		
								
HBS		Rondella	D1 [mm]	D2 [mm]	s [mm]	DIN 1052:1988 zul $N_{rkopf}$ [kN]	DIN 1052:2004 $R_{ax,k}^{(2)}$ [kN]	EN 1995:2004 $R_{ax,k}^{(2)}$ [kN]
Ø 6	Z-9.1-731	M6	7,5	20,0	4,0	2,00	4,62	4,62
Ø 8	Z-9.1-731	M8	8,5	25,0	5,0	3,13	7,22	7,22
Ø 10	Z-9.1-731	M10	11,0	32,0	6,0	5,12	11,83	11,83
Ø 12	Z-9.1-731	M12	14,0	37,0	7,5	6,85	15,81	15,81

$$F_k = \min\{F_{ax,k,Rk}; F_{ax,\alpha,Rk}; F_{t,Rk}\} = \min\{8793; 6948; 24500\} = 6948N$$

$$F_d = \frac{k_{mod} \cdot F_k}{\gamma_m} = \frac{1 \cdot 6948}{1.5} = 4632N$$

Calcolata con  $f_{head}$  della vite

Le viti caricate assialmente dovranno essere inserite con angolo con la fibratura non inferiore a 30°

## Rinforzo agli appoggi

Nella verifica della compressione all'appoggio di una trave è frequente riscontrare tensioni superiori ai limiti.

Esiste la possibilità di aumentare sia la resistenza a compressione del legno:

con il coefficiente  $1.25 < k_{c,90} < 1.75$

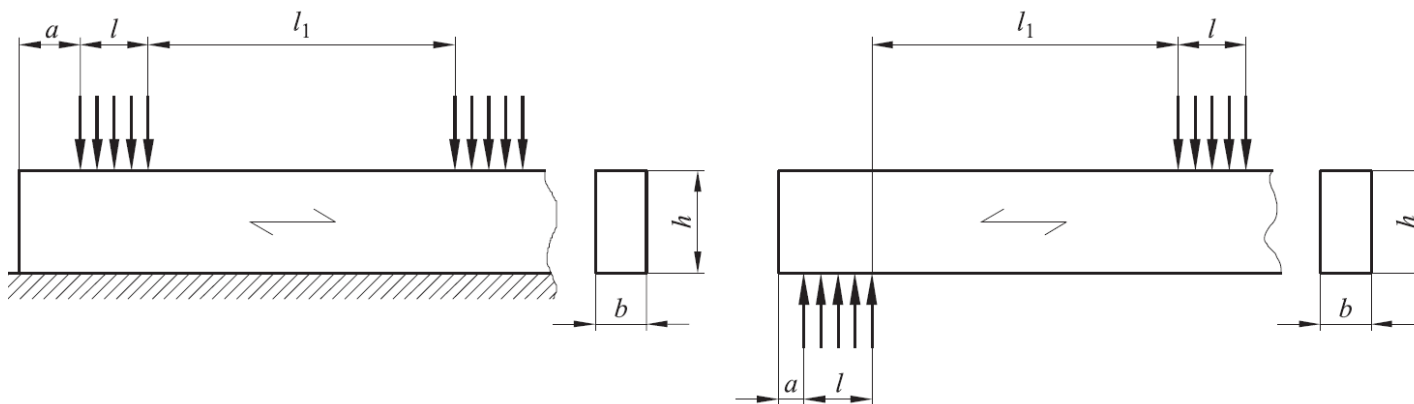
E l'area di contatto soggetta a compressione ortogonale, considerando un area efficace.

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}}$$

$k_{c,90}$  = coefficiente di confinamento; tiene conto della configurazione di carico, della possibilità di rottura per spacco, nonché del grado di deformazione a compressione.

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

$A_{ef}$  è valutata aumentando la lunghezza di contatto di  $l_{ef} = \min ( 30\text{mm}; a; l; l_1/2 )$



## Rinforzo agli appoggi

Se non verifica la compressione e se la superficie di appoggio non può essere aumentata esistono dei metodi di rinforzo che permettono di aumentarne la capacità portante.

Si inseriscono viti a tutto filetto trasversalmente alle fibre per diffondere il carico su una superficie maggiore. Per garantire la trasmissione uniforme del carico si interpone anche una piastra di acciaio.

La capacità portante dipende da 3 meccanismi di rottura:

- Resistenza a compressione del legno
- Resistenza per sprofondamento delle viti
- Resistenza per instabilità delle viti

$$F_c \leq \min \begin{cases} n \cdot R_d + k_{c,90} \cdot A_{ef,1} \cdot f_{c,90,d} \\ k_{c,90} \cdot A_{ef,2} \cdot f_{c,90,d} \end{cases}$$

$n$  = numero di viti

$R_d$  = capacità portante della vite

$k_{c,90}$  = coefficiente di confinamento

$A_{ef,1}$  = Area efficace sulla superficie di contatto

$$= l_{ef,1} \times b$$

$A_{ef,2}$  = Area efficace alla quota della punta delle viti

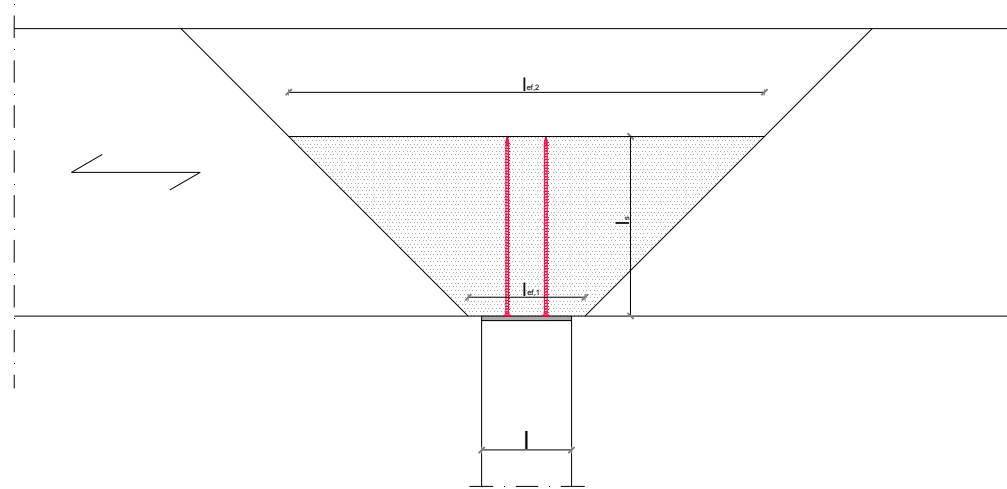
$$= l_{ef,2} \times b$$

$b$  = larghezza dell'appoggio = larghezza della trave

$l_{ef,1}$  =  $l + \Delta l$  (lunghezza efficace relativa al piano di appoggio);  $\Delta l = \min\{l; 30mm\}$

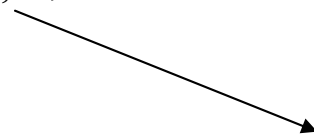
$l_{ef,2}$  =  $l + \Delta l$  (lunghezza efficace relativa al piano  $A_2$  in prossimità della punta delle viti);  $\Delta l = \min\{l_s + l; l_s + 30mm\}$

$l_s$  = lunghezza della parte filettata della vite



## Rinforzo agli appoggi

$$R_d = \min\{R_{ax,d}; R_{c,d}\}$$



SPROFONDAMENTO  
DELLE VITI

$$R_{ax,d} = f_{1,d} \cdot d \cdot l_s$$



INSTABILITÀ DELLE VITI

$$R_{c,d} = k_c \cdot N_{pl,d}$$

## Rinforzo agli appoggi

Capacità portante della vite:  $R_d = \min\{R_{ax,d}; R_{c,d}\}$

Dove:

$$R_{ax,d} = f_{1,d} \cdot d \cdot l_s$$



$f_{1,d}$  = resistenza di progetto a estrazione del gambo della vite  
 $d$  = diametro della vite  
 $l_s$  = lunghezza della parte filettata della vite

Valori caratteristici in N/mm<sup>2</sup> dei parametri di estrazione del gambo secondo DIN 1052

Classe di resistenza	$f_{1,k}$
1	$60 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$
2	$70 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$
3	$80 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2$

$$f_{1,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{1,k}}{\gamma_m}$$

Il valore caratteristico della massa volumica  $\rho_k$  è espresso in kg/m<sup>3</sup>, comunque  $\leq 500$  kg/m<sup>3</sup>

$$R_{c,d} = k_c \cdot N_{pl,d}$$



$$N_{pl,d} = \frac{N_{pl,k}}{\gamma_m} \cong \frac{(0.7 \cdot d)^2 \pi \cdot f_{y,k}}{4 \cdot \gamma_m}$$

$$k_c = 1 \quad \text{per} \quad \lambda \leq 0.2$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_k^2}} \quad \text{per} \quad \lambda > 0.2$$

$$\lambda_k = \sqrt{\frac{N_{pl,k}}{N_{crit}}} \quad \longrightarrow \quad N_{crit} = (0.32 \cdot \rho_k \cdot EJ)^2$$

$$k = 0.5 \cdot [1 + 0.49 \cdot (\lambda_k - 0.2) + \lambda_k^2]$$

$k_c$  = coefficiente critico della vite inserita nel legno

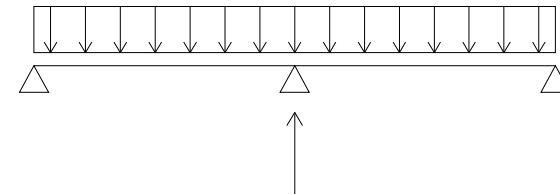
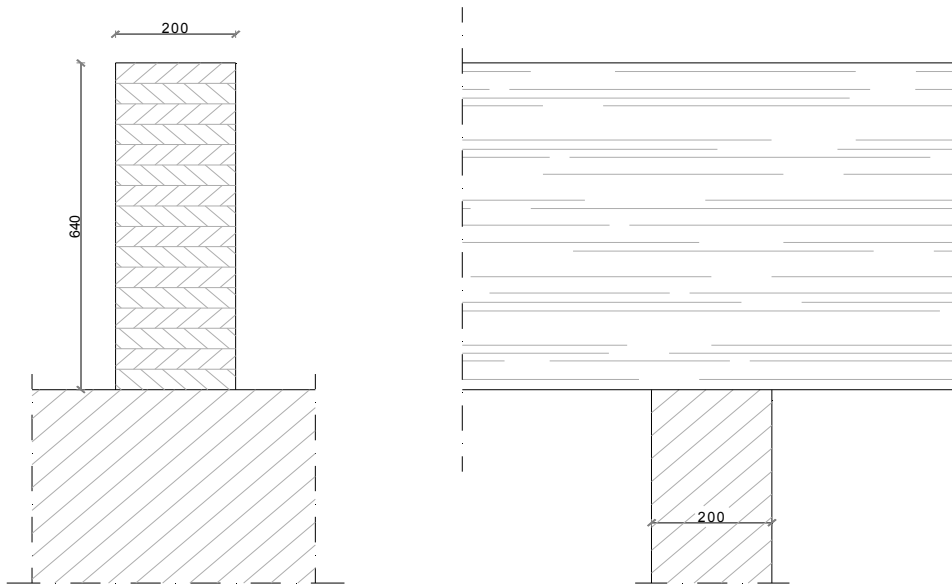
$N_{pl,d}$  = valore di progetto della forza normale in campo plastico del nocciolo della vite

## Rinforzo agli appoggi

Esempio:

Trave in L.L. GL24h 200x640, appoggiata su una parete in c.a.  $s = 200\text{mm}$ .

Classe di servizio 1, Carico di breve durata.



Trave su 3 appoggi

Luce = 10m

Carico distribuito  $q = 10\,000\text{ N/m}$

Reazione all'appoggio intermedio

$V = 5/4ql = 125\,000\text{ N}$

Compressione ortogonale alla fibratura all'appoggio:

$$A_{eff} = L_{eff} \cdot b = (200 + 30 + 30) \times 200 = 52000\text{ N}$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{V}{A_{eff}} = \frac{125000}{52000} = 2.40\text{ N/mm}^2 > k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} = 1.5 \times \frac{0.8 \times 2.70}{1.45} = 2.23\text{ N/mm}^2$$

Dobbiamo allora rinforzare l'appoggio con delle viti.

## Rinforzo agli appoggi

Introduciamo n. 4 viti a tutto filetto  $\phi 11 \times 400$

Le distanze tra le viti e delle viti dai bordi sono verificate:

Distanza tra due viti in direzione longitudinale

Distanza tra due viti in direzione trasversale

Distanza dai bordi laterali

$$a_1 > 5\phi = 55 \text{ mm}$$

$$a_2 > 4\phi = 44 \text{ mm}$$

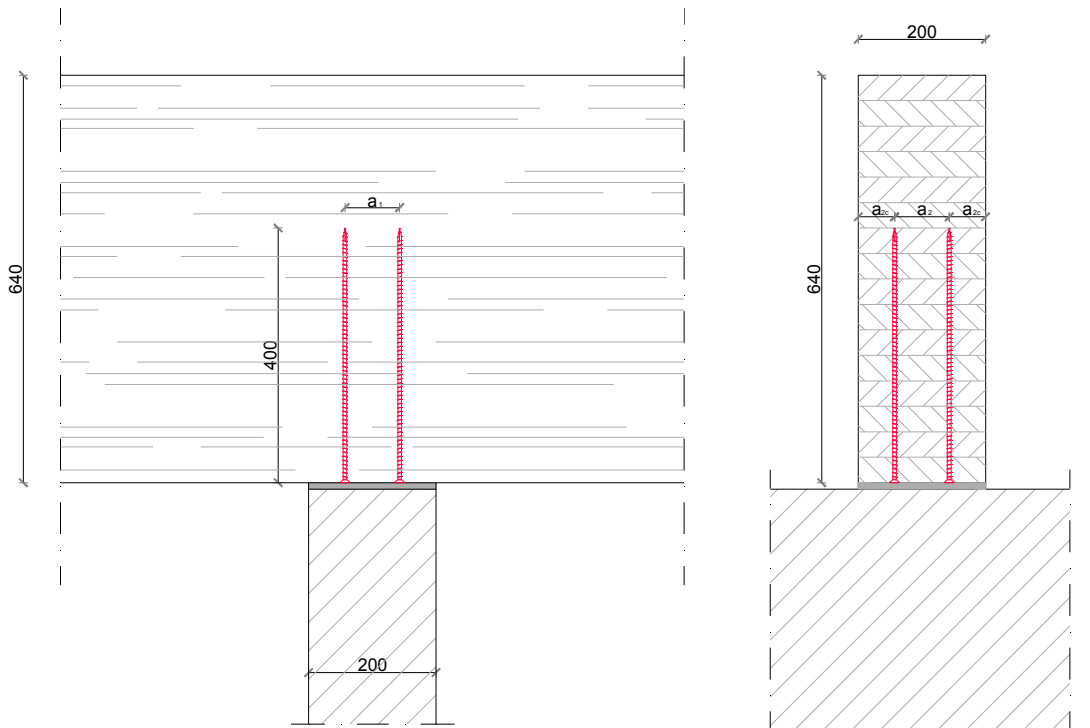
$$a_{2c} > 2.5\phi = 27.5 \text{ mm}$$

$$F_c \leq \min \begin{cases} n \cdot R_d + k_{c,90} \cdot A_{ef,1} \cdot f_{c,90,d} \\ k_{c,90} \cdot A_{ef,2} \cdot f_{c,90,d} \end{cases}$$

$$n = 4$$

$R_d$  = capacità portante della vite

$$K_{c,90} = 1.50$$





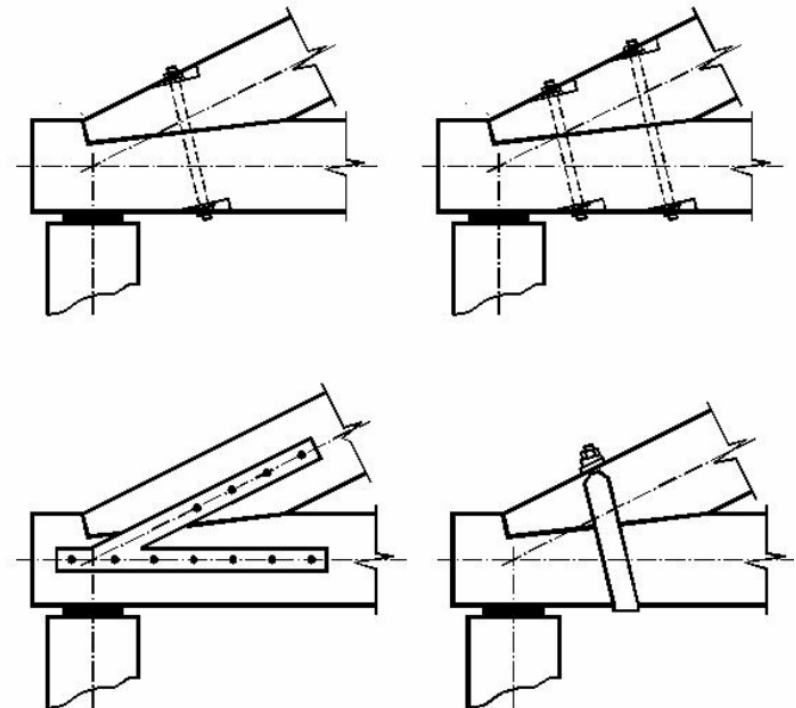
## Rinforzo agli appoggi

RINFORZO CON VITI A TUTTO FILETTO DELL'APPOGGIO			
Reazione all'appoggio	$R_{v,calc}$	12500	daN
Classe di durata del carico	Media Durata		
Classe di servizio della struttura	1		
Materiale delle lamelle del solaio	GL24h		
Larghezza base appoggio (lunghezza parete)	$b_{app}$	200	mm
Lunghezza appoggio (spessore parete)	$l_{app}$	200	mm
Altezza della Trave	$h_{sol}$	640	mm
Coefficiente di confinamento	$k_{c,90}$	1.5	
Resistenza di progetto a compressione $_I_$ alle fibre	$f_{c,90,d}$	1.49	N/mm <sup>2</sup>
Massa volumica caratteristica	$\rho_k$	380	Kg/m <sup>3</sup>
Lunghezza massima delle viti	$l_{vite,max}$	610	mm
Lunghezza delle viti	$l_{vite}$	400	mm
Diametro delle viti	$\phi_{vite}$	11	mm
Classe di resistenza delle viti	classe 3		
Resistenza caratteristica ad estrazione delle viti	$f_{1,k,vite}$	11.552	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica a snervamento delle viti	$f_{y,k,vite}$	1000	N/mm <sup>2</sup>
Numero massimo di viti // alla fibratura	$n_{max,viti//}$	2	n
Numero massimo di viti $_I_$ alla fibratura	$n_{max,viti_I_}$	4	n
Numero di viti // alla fibratura assegnato	$n_{viti//}$	2	n
Numero di viti $_I_$ alla fibratura assegnato	$n_{viti_I_}$	2	n
Lunghezza efficace relativa al piano di appoggio	$l_{ef,1}$	260	mm
Lunghezza efficace relativa al piano della punta della vite	$l_{ef,2}$	1060	mm
Area efficace relativa al piano d'appoggio	$A_{ef,1}$	52000	mm <sup>2</sup>
Area efficace relativa al piano della punta della vite	$A_{ef,2}$	212000	mm <sup>2</sup>
Resistenza di progetto delle viti	$f_{y,d,vite}$	6.16	N/mm <sup>2</sup>
Forza normale caratteristica in campo plastico della vite	$N_{pl,k}$	46566.3	N
Forza normale caratteristica in campo plastico della vite	$N_{pl,d}$	42333.0	N
Forza normale critica della vite	$N_{crit,G/E,k}$	65745.6	N
Snellezza relativa della vite	$\lambda_k$	0.842	
Coefficiente k della vite	k	1.011	
Coefficiente critico della vite	$\kappa_c$	0.636	
Capacità portante assiale di progetto della vite	$R_{vite,d}$	26927	N
Resistenza assiale a compressione della vite	$R_{ax,d}$	27109	N
Resistenza ultima ad instabilità della vite nel legno	$R_{c,d}$	26927	N
<b>Capacità portante di progetto dell'appoggio rinforzato</b>	<b><math>R_{app,d}</math></b>	<b>223900.89</b>	<b>N</b>
Reazione all'appoggio	$R_{v,calc}$	125000	N
Verifica dell'appoggio rinforzato	$R_{v,calc}/R_{app,d}$	0.558	<=1 OK

## UNIONI DI CARPENTERIA TRADIZIONALE

Sono comunemente chiamati nodi ad incastro solo per il fatto che sugli elementi vengono effettuate particolari lavorazioni volte alla trasmissione degli sforzi senza l'ausilio di connettori metallici.

In realtà proprio per il loro comportamento monolatero devono essere previsti altri presidi che impediscano separazioni, dislocazioni o disassamenti. §7.7.5.2 NTC2008

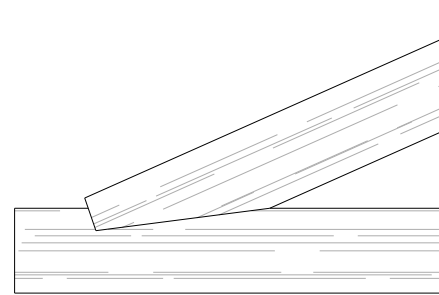


## UNIONI DI CARPENTERIA TRADIZIONALE

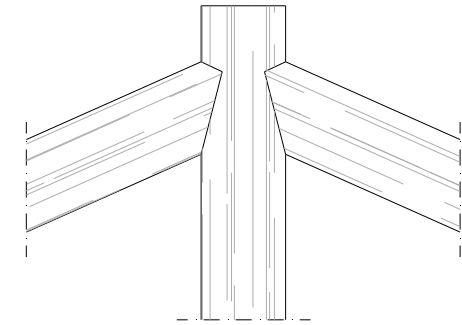
Nel progettare un nodo di carpenteria è fondamentale definire correttamente il flusso delle forze che vi convergono ed i meccanismi di rottura che tali azioni possono innescare.

### Occorre controllare:

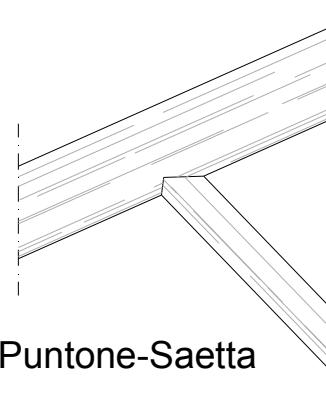
- gli stati di tensione ortogonali alla fibra
- gli stati di tensione tangenziali
- resistenza delle sezioni ridotte
- l'innescarsi fenomeni fessurativi
- le eccentricità nella trasmissione degli sforzi
- fenomeni di ritiro del materiale



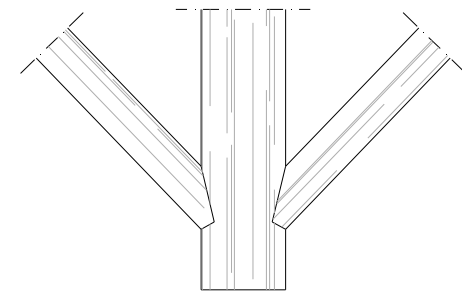
Puntone-Catena



Puntone-Monaco



Puntone-Saetta



Monaco-Saetta

Le unioni più comunemente utilizzate sono quelle che collegano gli elementi di una capriata tradizionale.

Si dimensionano tutti con gli stessi principi.

## Unione puntone-catena

Esempio secondo le CNR-DT 206/2007

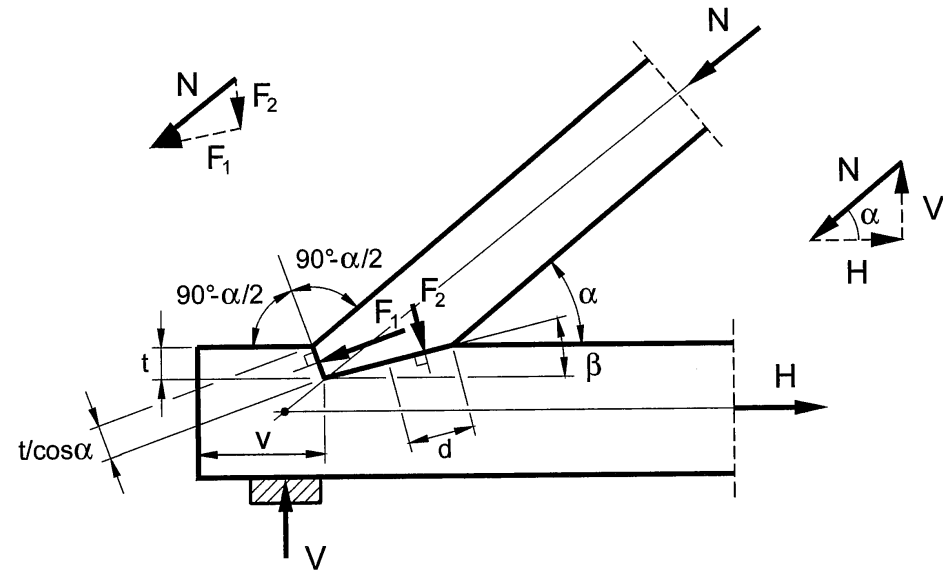
Dati:

$\alpha$  = angolo tra i due elementi

V = reazione vincolare

N = compressione sul puntone

H = trazione sulla catena



L'attrito tra i due elementi non si considera nel calcolo, ne consegue che lo sforzo normale del puntone si trasferirà alla catena tramite le azioni  $F_1$  e  $F_2$  ortogonali alle due superfici di contatto.

La profondità dell'intaglio deve soddisfare le condizioni:

$$t \leq \begin{cases} h/4 & \alpha \leq 50^\circ \\ h/6 & \alpha \leq 60^\circ \end{cases} \longrightarrow \text{CNR-DT 206/2007 §7.7}$$

h = altezza della catena

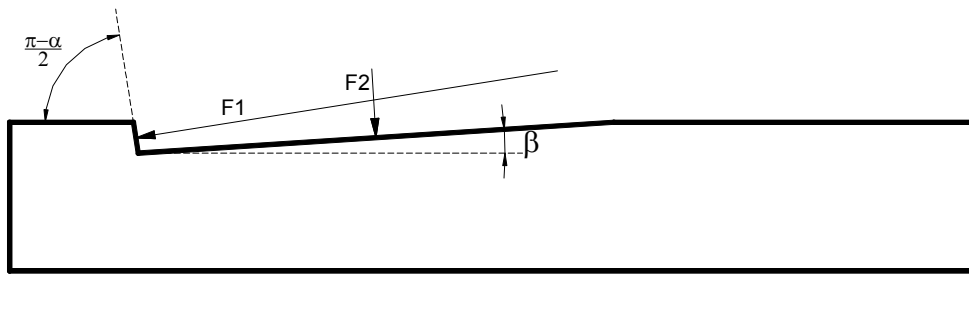
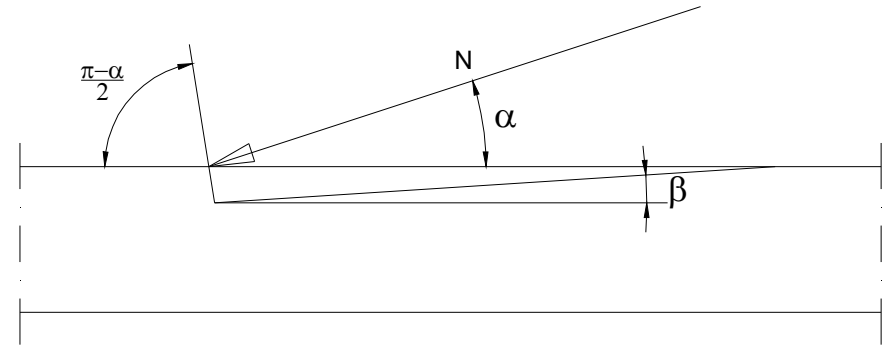
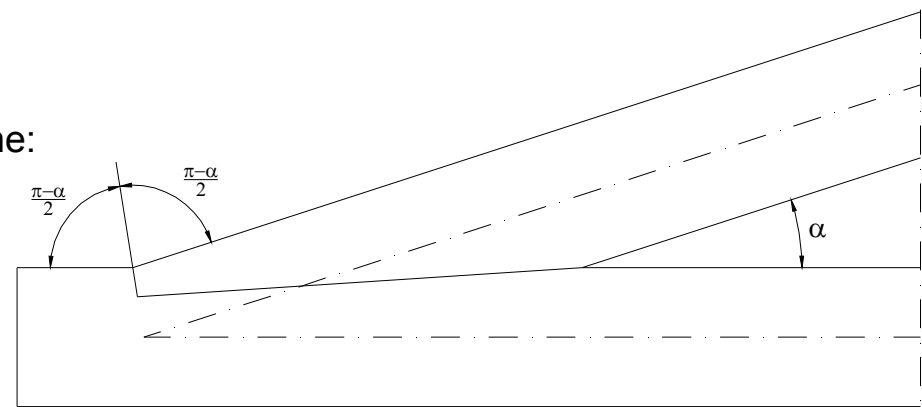
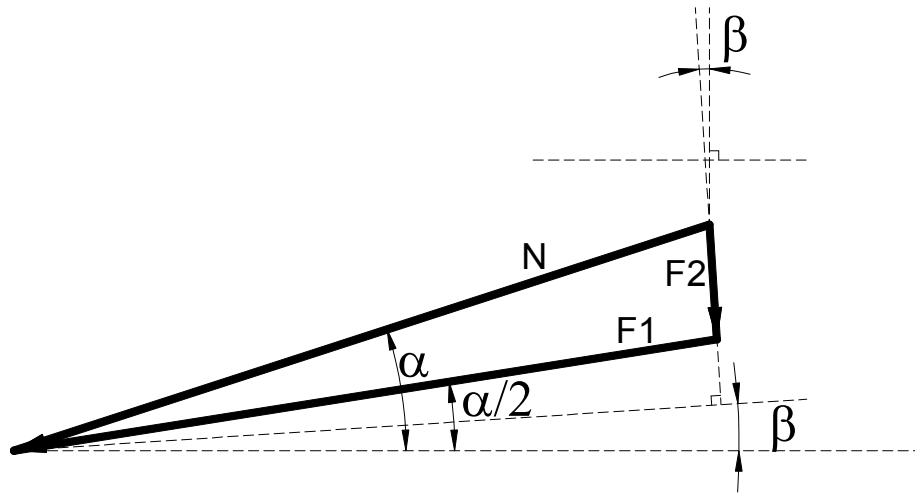
$\alpha$  = angolo tra i due elementi

Il valore di progetto della capacità portante dell'unione si determina sulla base del valore di progetto della resistenza a compressione della superficie frontale del dente, con riferimento a quanto previsto per gli stati di sollecitazione di compressione inclinati rispetto alla fibratura.

La componente parallela alla fibratura della catena è equilibrata da tensioni di taglio uniformemente distribuite.

## Unione puntone-catena

Lo sforzo normale trasmesso dal puntone si scompone:



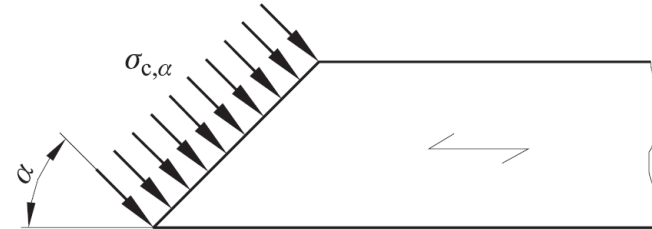
$$F_1 = N \cdot \cos \frac{\alpha}{2} - N \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \tan \left( \frac{\alpha}{2} - \beta \right)$$

$$F_2 = \frac{N \cdot \sin \left( \frac{\alpha}{2} \right)}{\cos \left( \frac{\alpha}{2} - \beta \right)}$$

## Unione puntone-catena

Le tensioni di compressione inclinate rispetto alla fibratura di un angolo  $\alpha$  si verificano con la relazione:

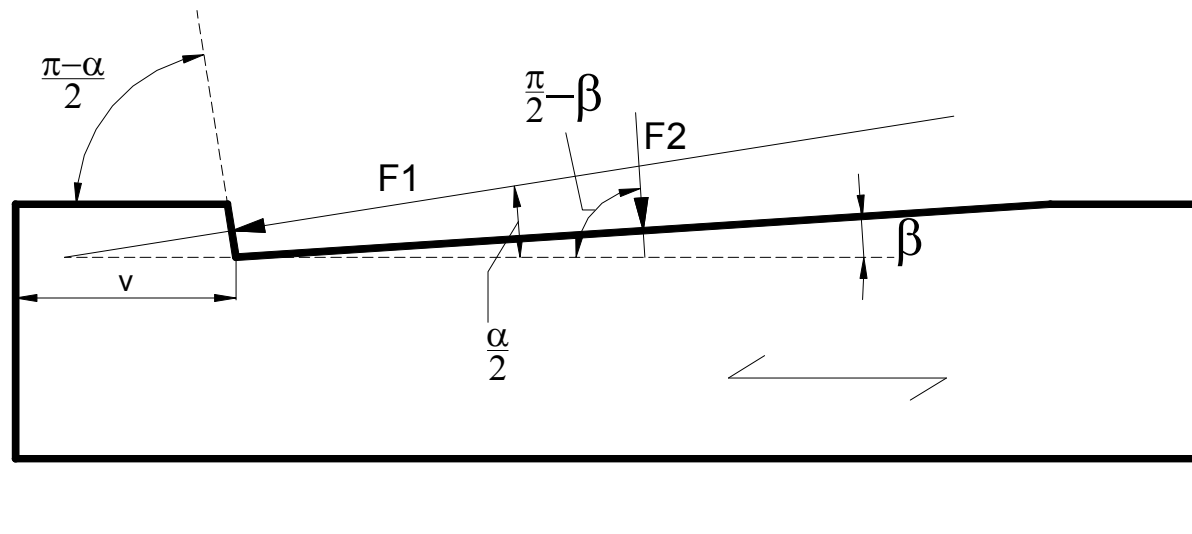
$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$



L'angolo di inclinazione delle due componenti di N rispetto alla fibratura risulta pari a:

$$\alpha_{F1} = \frac{\alpha}{2}$$

$$\alpha_{F2} = \frac{\pi}{2} - \beta$$



### §7.7.6 NTC2008

I giunti di carpenteria non presentano rischi di rottura fragile se la verifica per tensioni tangenziali, condotta in accordo con il § 4.4, è soddisfatta utilizzando un ulteriore coefficiente parziale di sicurezza pari a 1,3.

$$\tau_{\max} = [N \cdot \cos \alpha / (b \cdot v)] \cdot 1.3 < f_{v,d}$$

## Unione puntone-catena

### Esempio:

Legno massiccio C24

Classe di servizio 1

Azione di breve durata (neve)  $k_{mod} = 0.9$

Puntone 160x240mm

Catena 160x240mm

Angolo tra puntone e catena  $\alpha = 18^\circ$

Lunghezza del tacco  $v = 200$  mm

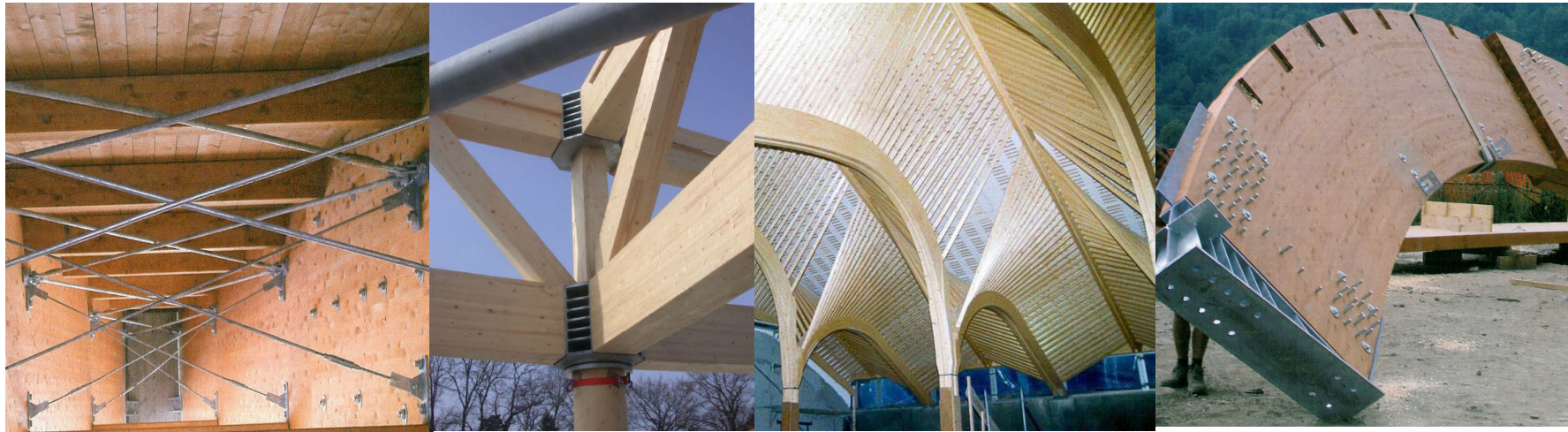
Profondità del dente  $t = 50$  mm  $< h/4 = 60$ mm

N	38000 N			
$\alpha$	0.3142 rad		18 °	
$\beta$	0.0649 rad		3.72 °	
$F_1$	36982.79 N			
$F_2$	5969.84 N			
$k_{c,90}$	1.25			
$f_{c,0,d}$	12.60 N/mm <sup>2</sup>			
$f_{c,90,d}$	1.50 N/mm <sup>2</sup>			
$\alpha_{F1}$	0.1571 rad			
$B_1$	160 mm			
$H_1$	50.6 mm			
$f_{c,\alpha,d,1}$	11.053 N/mm <sup>2</sup>			
$\sigma_{c,\alpha,d,1}$	4.568 N/mm <sup>2</sup>	OK	$F_{1d,lim}$	89484 N
F.S.	2.42		$N_{lim}$	91945 N
$\alpha_{F2}$	1.5059 rad			
$B_2$	160 mm			
$H_2$	770 mm			
$f_{c,\alpha,d,2}$	1.882 N/mm <sup>2</sup>			
$\sigma_{c,\alpha,d,2}$	0.048 N/mm <sup>2</sup>	OK	$F_{2d,lim}$	231831 N
F.S.	38.83		$N_{lim}$	1475679 N
v	200 mm			
T	36140 N			
$f_{v,d}$	1.50 N/mm <sup>2</sup>			
$\tau_{max}$	1.47 N/mm <sup>2</sup>	OK	$F_{t,lim}$	36923 N
F.S.	1.02		$N_{lim}$	38823 N
$F_d$	38823 N			



ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI PISTOIA

## GRAZIE PER L'ATTENZIONE



*Pistoia 12-11-2010*

*Ing. Leonardo Negro*



*LegnoPiù s.r.l. - Via Borgo Valsugana, 11 - 59100 Prato  
leonardo.negro@strutturedilegno.it - www.strutturedilegno.it*