

**Università di Trieste**  
**Dipartimento di Ingegneria e Architettura**

**Corso di**  
**Costruzioni in Legno**  
**Parte 2**

***Prof. Ing. Natalino Gattesco***

---

**UNIONI**

**Per l'assemblaggio di strutture in legno è necessario utilizzare opportuni sistemi di unione che collegano fra loro gli elementi**

**Le tecniche di unione comunemente utilizzate si differenziano sia per il tipo di sollecitazione sia per i materiali utilizzati.**

**Le unioni si distinguono nelle seguenti due tipologie:**

**Unioni tradizionali della carpenteria lignea realizzate attraverso la lavorazione delle superfici di contatto (*trasmissione degli sforzi per contatto diretto*)**

**Unioni meccaniche di tipo moderno (*trasmissione degli sforzi attraverso l'inserimento di elementi metallici ed eventualmente con la presenza di adesivi*)**

# UNIONI

Le unioni meccaniche si possono suddividere in funzione della tipologia di connettore utilizzato

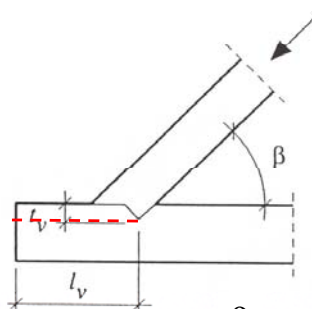
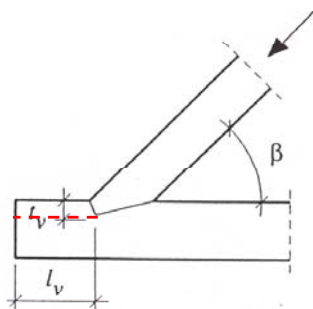
Connettori a gambo cilindrico (*chiodi, bulloni, spinotti, viti e cambre*)

Connettori metallici di superficie (*caviglie, anelli, piastre dentate*)

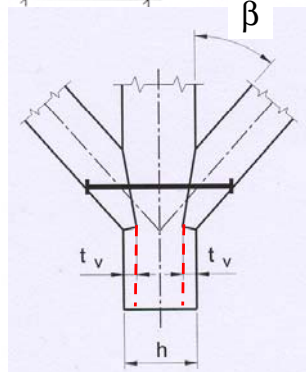
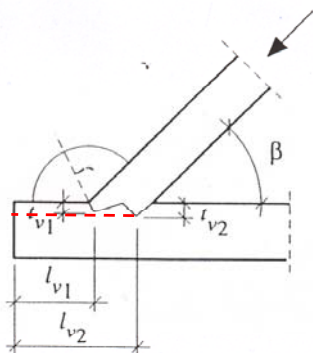
Elementi di acciaio incollati (*barre, piastre*)

Conessioni trave-soletta in calcestruzzo

## UNIONI DI CARPENTERIA



$$\begin{cases} t_v \leq \frac{h}{4} & \text{per } \beta \leq 50^\circ \\ t_v \leq \frac{h}{6} & \text{per } \beta > 60^\circ \end{cases}$$



$$t_v \leq \frac{h}{6} \quad \text{per dente simm.}$$

$$\begin{cases} t_{v1} \leq 0.8 t_{v2} \\ t_{v1} \leq t_{v2} - 10 \text{ mm} \end{cases}$$

# UNIONI DI CARPENTERIA

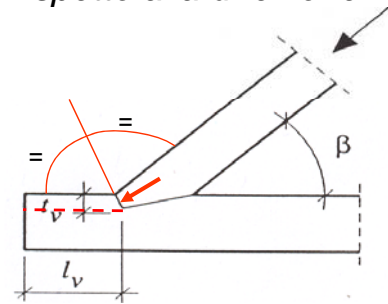
**Gli elementi strutturali convergenti nei nodi realizzati con unioni di carpenteria devono essere verificati tenendo conto dell'effettiva distribuzione delle sollecitazioni all'interno dell'unione stessa.**

*Esempio: verifiche necessarie per un collegamento ad incastro tra puntone e catena di una capriata in legno.*

## Verifica a compressione

*Se l'interfaccia frontale del puntone è bisettrice dell'angolo esterno formato da puntone e catena, l'angolo formato dalla forza rispetto alla direzione delle fibre è minimo e pari a  $\alpha = \beta/2$*

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{F_d \cos^2 \alpha}{b_{ef} t_v} \quad \sigma_{c,\alpha,d} \leq f_{c,\alpha,d}$$

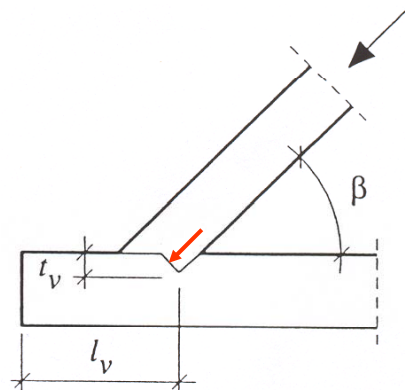


# UNIONI DI CARPENTERIA

## Verifica a compressione

*Se invece, come nel secondo caso, l'incastro è fatto sull'interno allora il taglio nel puntone è perpendicolare e l'angolo fra la forza e la direzione delle fibre è massimo e pari a  $\beta$*

$$\sigma_{c,\beta,d} = \frac{F_d \cos \beta}{b_{ef} t_v} \quad \sigma_{c,\beta,d} \leq f_{c,\beta,d}$$



# UNIONI DI CARPENTERIA

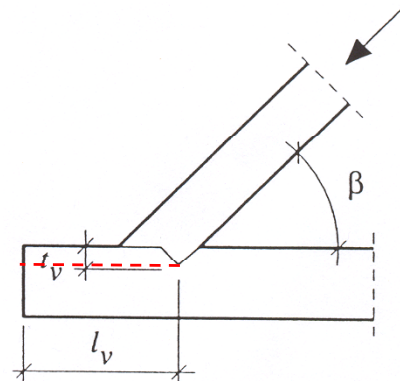
## Verifica a trazione della catena

Si verifica la catena a trazione nella sezione indebolita dall'intaglio

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_d \cos \beta}{b_{ef} (h - t_v)} \quad \sigma_{c,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

La verifica a scorrimento della sezione davanti all'intaglio consiste

$$\tau_d = \frac{F_d \cos \beta}{b_{ef} l_v} \quad \tau_d \leq f_{v,d}$$



La lunghezza  $l_v$  si calcola in modo che sia soddisfatta quest'ultima verifica.

# ESEMPIO DI NODO DI CAPRIATA

## Calcolo di una capriata

### Geometria

L=	7.0 m
i=	4.0 m
h=	1.60 m

### Dimensione delle sezioni

#### Puntone

$b_p =$	20 cm
$h_p =$	24 cm

#### Catena

$b_c =$	20 cm
$h_c =$	24 cm

### Classe di servizio

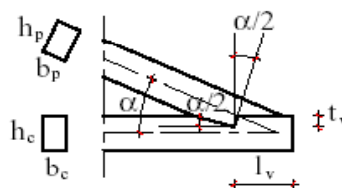
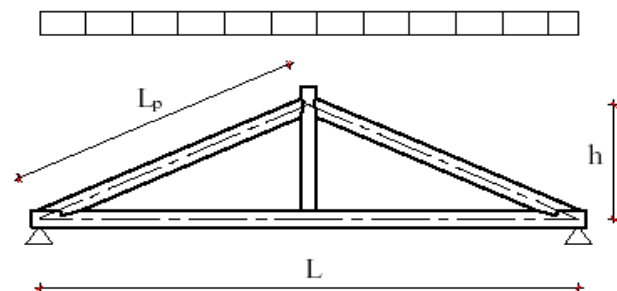
II

### Classe di durata del carico

Breve dur.

$k_{mod} =$

0.90



## ESEMPIO DI NODO DI CAPRIATA

### CARICHI :

#### Statici:

peso proprio	$G_{k1} =$	0.10	kN/m <sup>2</sup>
arcarecci	$G_{k2} =$	0.06	kN/m <sup>2</sup>
isolante	$G_{k3} =$	0.05	kN/m <sup>2</sup>
manto di copertura	$G_{k4} =$	0.60	kN/m <sup>2</sup>
carico permanente/m <sup>2</sup>	$G_k = \Sigma G_{ki} =$	0.81	kN/m <sup>2</sup>
carico variabile neve/m <sup>2</sup>	$Q_1 =$	1.60	kN/m <sup>2</sup>
carico permanente/m	$g_k = G_k * i =$	3.25	kN/m
carico variabile neve/m	$q_{k1} = Q_{k1} * i =$	6.40	kN/m

### Caratteristiche del materiale

Legno di abete classe C22

$f_{m,k} =$	22.0 MPa
$f_{c,0,k} =$	20.0 MPa
$f_{t,0,k} =$	13.0 MPa
$f_{c,90,k} =$	5.1 MPa
$f_{v,k} =$	2.4 MPa
$E_{0,m} =$	10000 MPa
$E_{0,k} =$	6700 MPa
$G_m =$	630 MPa
$\rho_m =$	340 kg/m <sup>2</sup>
$\rho_k =$	410 kg/m <sup>3</sup>
$\gamma_M =$	1.30 -

### CALCOLO SOLLECITAZIONI E VERIFICHE SLU:

#### Combinazione delle azioni

perm. + var. neve	$p = \gamma_g * g_k + \gamma_q * q_{k1} =$	14.15	kN/m	$\gamma_g = 1.40$	$\gamma_q = 1.50$
-------------------	--	-------	------	-------------------	-------------------

## ESEMPIO DI NODO DI CAPRIATA

### Calcolo delle sollecitazioni

$M_3 = p \cos^2 \alpha L_p^2 / 8$	21.67 kNm
$T_1 = p \cos^2 \alpha L_p / 2$	22.52 kN
$P_1 = (pL/2 - T_1 \cos \alpha) / \sin \alpha =$	69.85 kN
$P_2 = P_1 - p \sin \alpha \cos \alpha L_p =$	49.26 kN
$C = P_1 \cos \alpha - T_1 \sin \alpha =$	54.16 kN

### Verifica a taglio

$f_{v,d} = k_{mod} f_{v,k} / \gamma_M =$	1.66 MPa
$\tau_d = 1,5 T_1 / A_p =$	0.70 MPa
$\tau_d / f_{v,d} =$	<b>0.42 &lt; 1</b>

## ESEMPIO DI NODO DI CAPRIATA

### Verifica pressoflessione puntone

$\sigma_{c,0,d} = P_1 / (A_p) =$	1.46 MPa
$\sigma_{m,d} = M_3 / W_p =$	11.28 MPa
$f_{m,d} = k_{mod} f_{m,k} / \gamma_M =$	15.23 MPa
$f_{c,0,d} = k_{mod} f_{c,0,k} / \gamma_M =$	13.85 MPa
$i_{min} = \text{radq}(I_{pmin} / A_p) =$	5.77 cm
$L_p = \text{radq}(L^2 / 4 + h^2) =$	3.85 m
$\lambda = b L_p / i_{min} =$	66.7 cm
$\sigma_{c,crit} = \pi^2 E_{0,k} / \lambda^2 =$	14.87 MPa
$\lambda_{rel} = \text{radq}(f_{c,0,k} / \sigma_{c,crit}) =$	1.16
$\beta_c(\text{legno massiccio}) =$	0.20
$k = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel} - 0,5) + \lambda_{rel}^2) =$	1.24
$kc = 1 / (k + \text{radq}(k^2 - \lambda_{rel}^2)) =$	0.60
$\sigma_{c,0,d} / kc / f_{c,0,d} + \sigma_{m,d} / f_{m,d} =$	<b>0.92 &lt; 1</b>

## ESEMPIO DI NODO DI CAPRIATA

### Verifica giunto catena puntone

Verifica a compressione sul dente

$t_v =$	6.00 cm
$b_{eff} = \min(b_p; b_c) =$	20.00 cm
$\sigma_{c,\alpha,d} = P_1 \cos^2(\alpha/2) / b_{eff} / t_v =$	5.56 MPa
$f_{c,\alpha,d} = f_{c,0,d} / ((f_{c,0,d} / f_{c,90,d}) \sin^2(\alpha/2) + \cos^2(\alpha/2)) =$	12.23 MPa
$\sigma_{c,\alpha,d} / f_{c,\alpha,d} =$	<b>0.45 &lt; 1</b>

Verifica a taglio sul dente

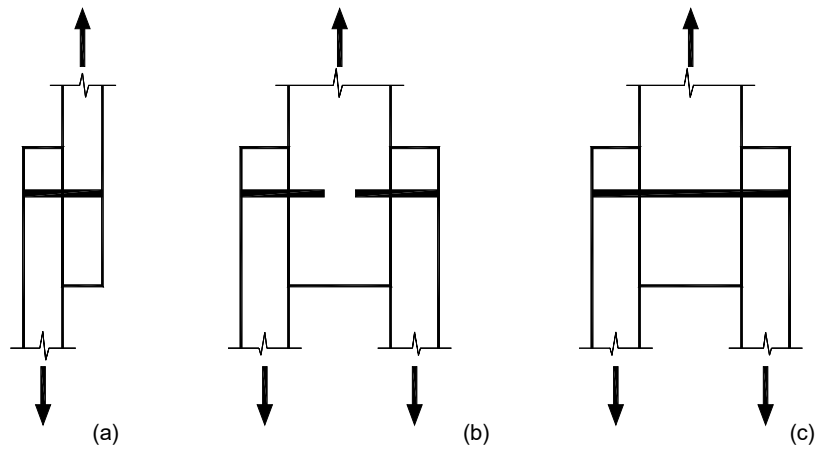
$l_v =$	30.00 cm
$\tau'_d = C / l_v / b_{eff} =$	0.90 MPa
$\tau'_d / f_{v,d} =$	<b>0.54 &lt; 1</b>

### Verifica catena

$f_{t,0,d} = k_{mod} f_{t,0,k} / \gamma_M =$	9.00 MPa
$\sigma_{t,0,d} = C / (h_c - t_v) / b_c =$	1.50 MPa
$\sigma_{t,0,d} / f_{t,0,d} =$	<b>0.17 &lt; 1</b>

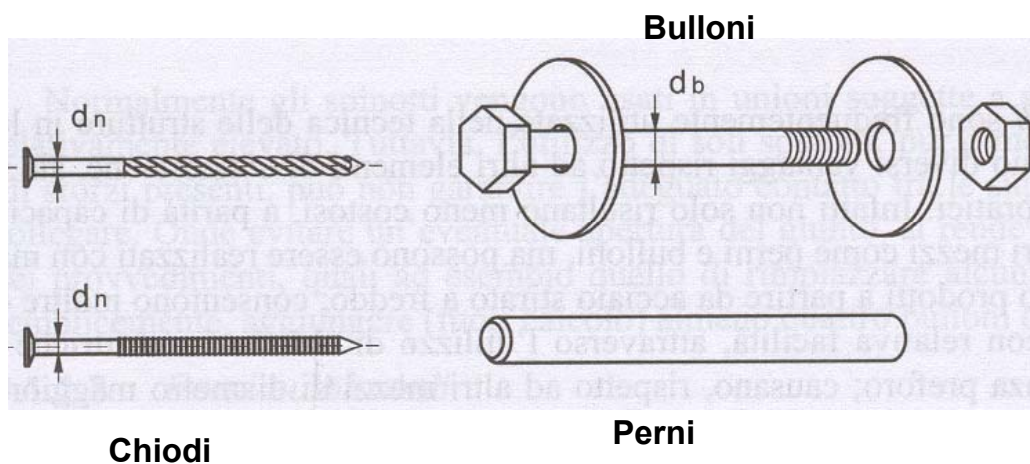
## UNIONI A GAMBO CILINDRICO

Nelle unioni a gambo cilindrico si definiscono i piani di taglio come il numero di sezioni efficaci per ciascun connettore

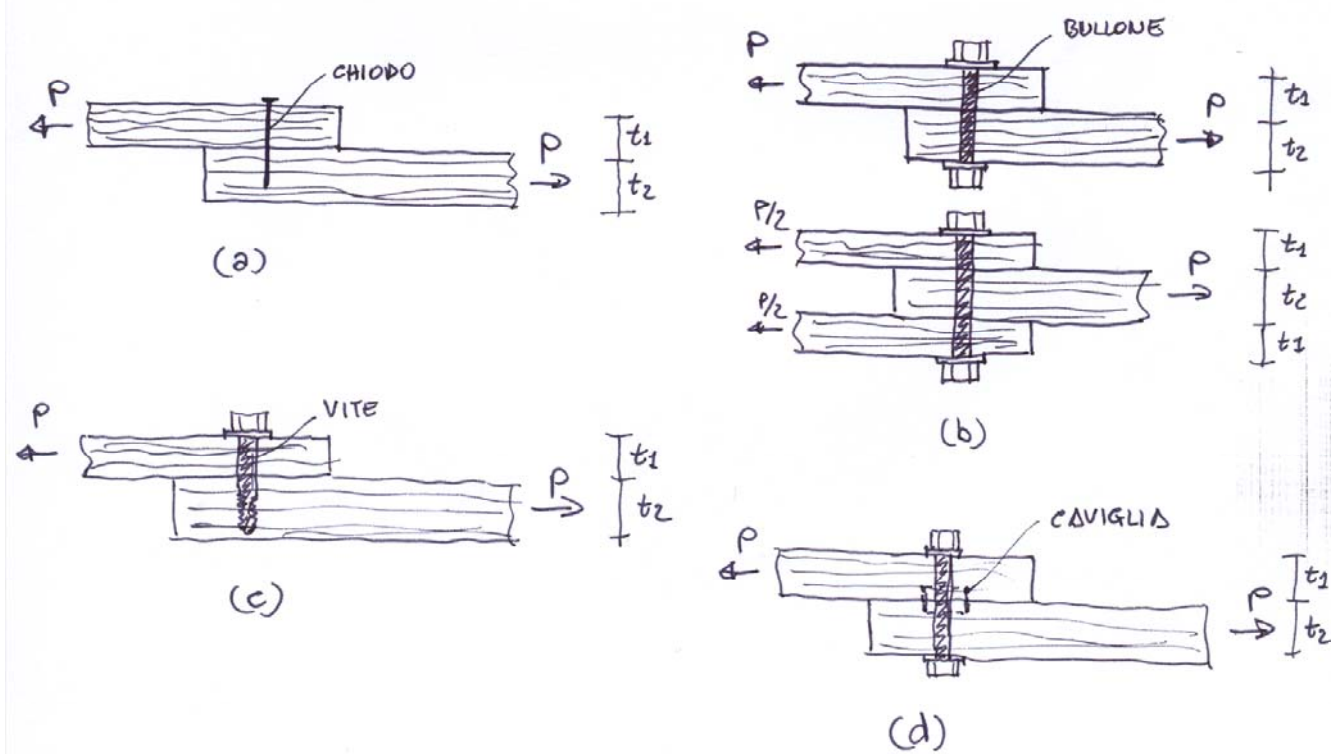


Unioni ad uno e a due piani di taglio

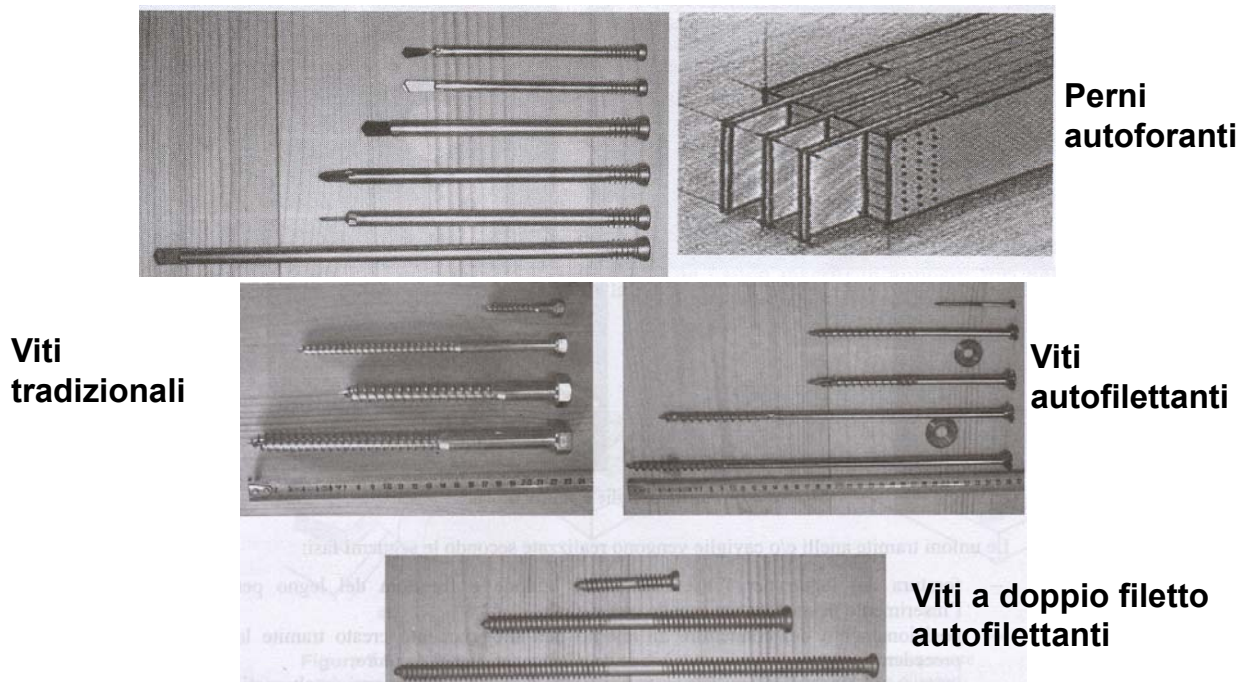
## UNIONI A GAMBO CILINDRICO



# UNIONI A GAMBO CILINDRICO



# UNIONI A GAMBO CILINDRICO





# PROGETTO UNIONI A GAMBO CILINDRICO

Nel progetto delle unioni è necessario determinare

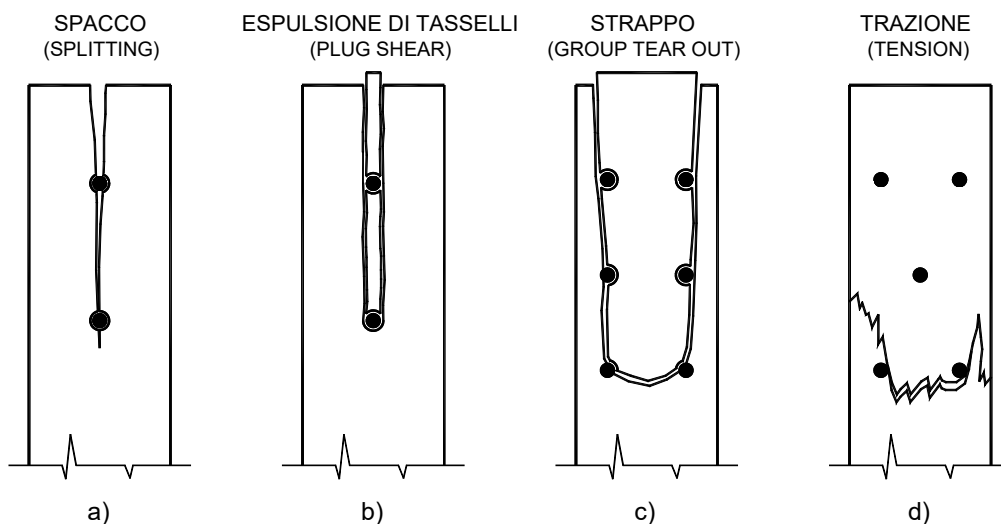
- CAPACITA' PORTANTE
- DEFORMABILITA' IN ESERCIZIO

La capacità portante a taglio si determina mediante EUROPEAN YIELD MODEL (EYM) (*no meccanismi fragili*)

Si considerano i possibili meccanismi di collasso facendo l'ipotesi di comportamento rigido-plastico sia per il legno che per il connettore e si determina il carico limite (Johansen 1949)

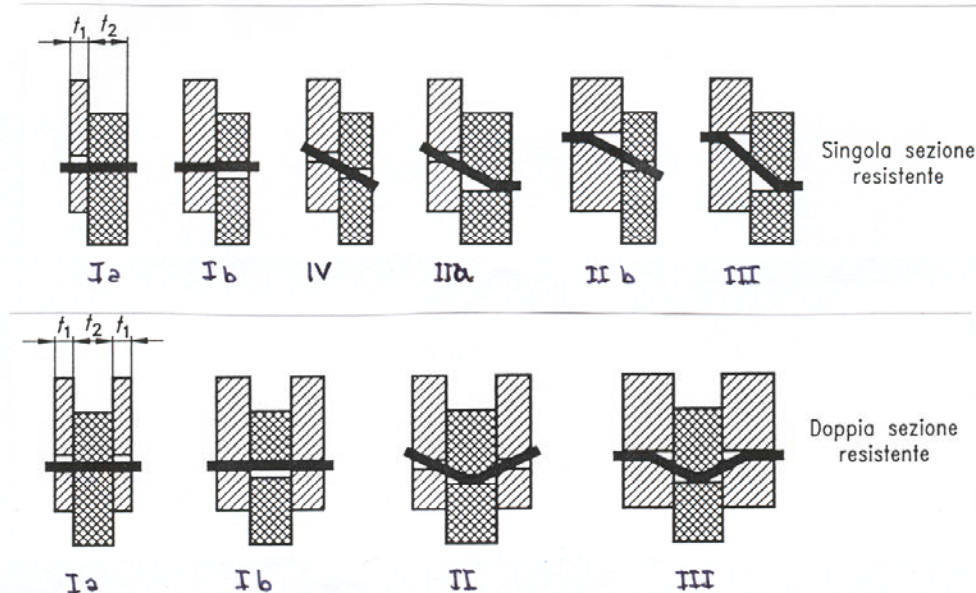
## MECCANISMI FRAGILI

E' da evitare la formazione di meccanismi fragili (*verifiche locali, rispetto distanze dai bordi e limitazione interasse*)



## POSSIBILI MECCANISMI DI COLLASSO

- Modo I - schiacciamento del legno davanti al connettore
- Modo II - contemporanea plasticizzazione del legno e formazione di una cerniera plastica nel connettore
- Modo III - contemporanea plasticizzazione del legno e formazione di due cerniere plastiche nel connettore
- Modo IV - schiacciamento del legno e rotazione rigida del connettore



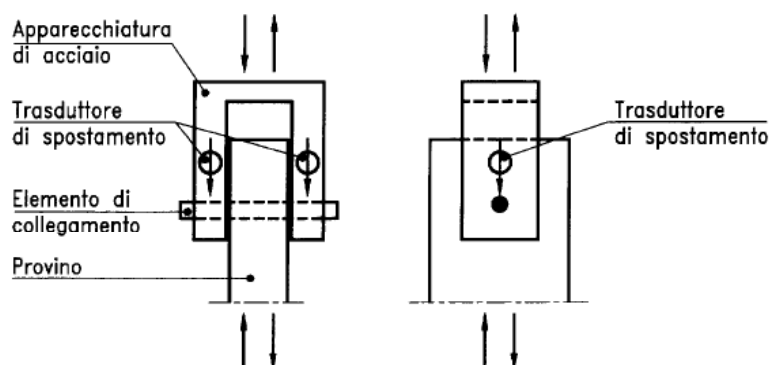
## FATTORI DA CUI DIPENDE LA CAPACITA' PORTANTE DI UN UNIONE

- **Tensione di rifollamento del legno** (*densità del legno, inclinazione con la direzione delle fibre, dimensione del connettore*)
- **Momento plastico del connettore**  $M_y$
- **Diametro e numero dei connettori**  $d, n$
- **Spessore degli elementi di unione**  $t_i$
- **Distanze fra i connettori e distanze dai bordi**  $a_1, a_2, a_3, a_4$

## TENSIONE DI RIFOLLAMENTO

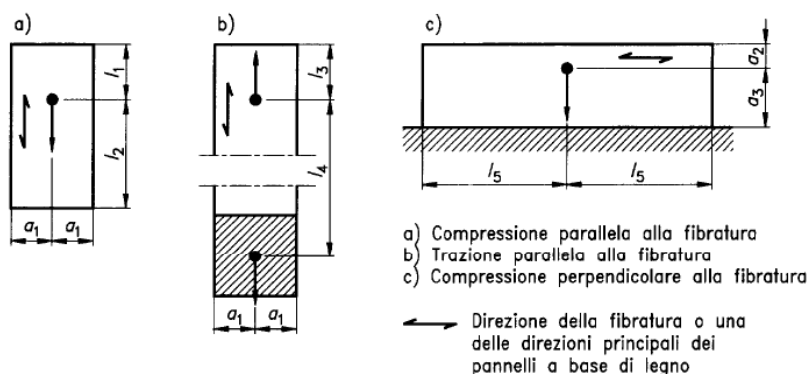
Nelle unioni tra elementi di legno eseguite con connettori meccanici la forza viene trasmessa attraverso le pareti di uno o più fori. Assume quindi notevole importanza valutare la resistenza al rifollamento delle pareti del foro.

Tale resistenza può essere determinata mediante prove sperimentali specifiche (UNI EN 383)



## TENSIONE DI RIFOLLAMENTO

Le dimensioni dei campioni di prova dipendono dalla direzione del carico rispetto alla direzione delle fibre del legno



Misura*	Chiodi - non preforati	Chiodi - preforati	Bulloni o spinotti	Materiale del provino
$a_1$	$5d$	$5d$	$3d$	Legno massiccio o pannelli a base di legno lamellare con un'unica direzione della fibratura
$l_1$	$20d$	$12d$	$7d$	
$l_2$	$20d$	$12d$	$7d$	
$l_3$	$20d$	$12d$	$7d$	
$l_4$	$40d$	$40d$	$30d$	
$a_2$	$5d$	$5d$	$2d$	Legno massiccio o prodotti di legno
$a_3$	$5d$	$5d$	$4d$	
$l_5$	$20d$	$12d$	$7d$	

## TENSIONE DI RIFOLLAMENTO

**Dipende dalla massa volumica del legno, dall'inclinazione con la direzione delle fibre e dalla dimensione del connettore**  
(nelle formule  $d$  va espresso in mm e  $\rho_k$  in  $\text{kg/m}^3$ )

$$f_{h,0,k} = 0.082(1 - 0.01d) \rho_k \quad \text{per sollecitazione parallela alle fibre}$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad \text{per sollecitazione inclinata - Hankinson}$$

$k_{90}$  è il rapporto tra la tensione di rifollamento in direzione parallela ed ortogonale alle fibre

$$k_{90} = 1.35 + 0.015d \quad \text{per legno di conifere - } \rho_k = 400 \text{ kg/m}^3$$

$$k_{90} = 0.90 + 0.015d \quad \text{per legno di latifoglie - } \rho_k = 800 \text{ kg/m}^3$$

## MOMENTO PLASTICO DEL CONNETTORE

$$M_{y,Rk} = \zeta \cdot \frac{f_{u,k} d^3}{6}$$

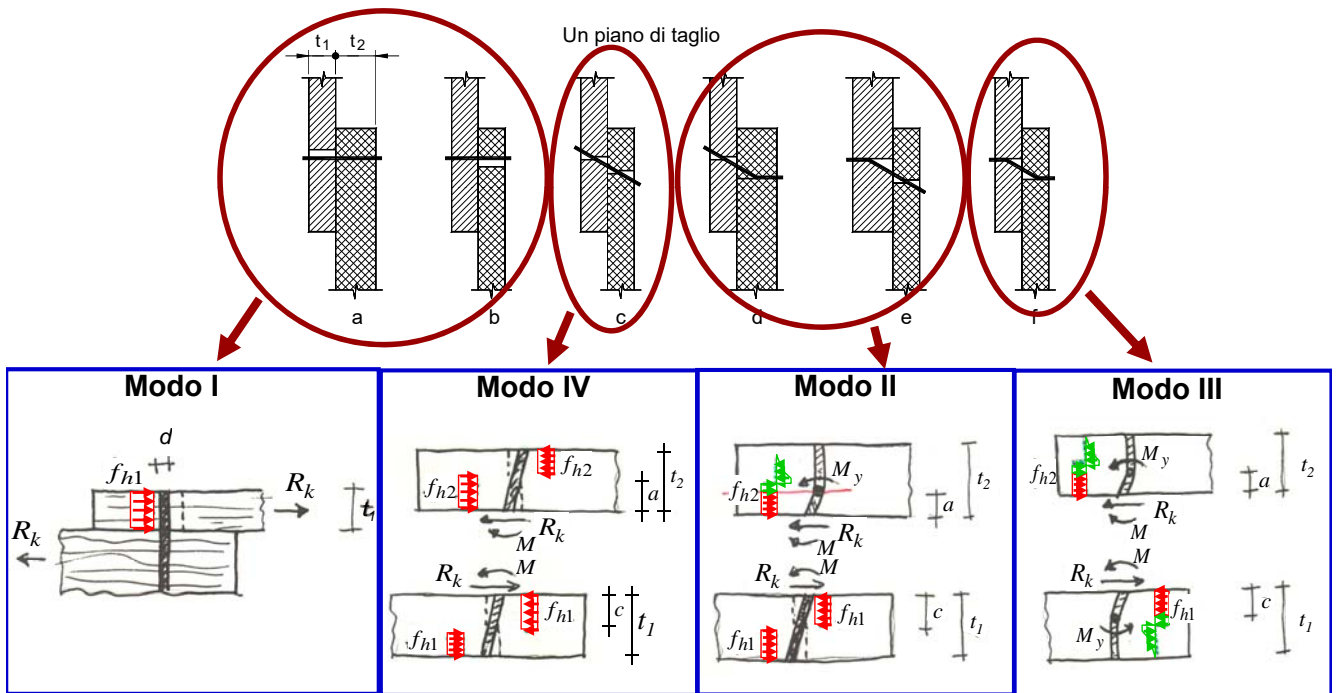
$$\zeta = 1.8 \cdot d^{-0.4} \quad \text{Per chiodi a gambo cilindrico, perni e bulloni}$$

$$f_{u,k} \quad \text{Tensione di rottura caratteristica dell'acciaio (MPa)}$$

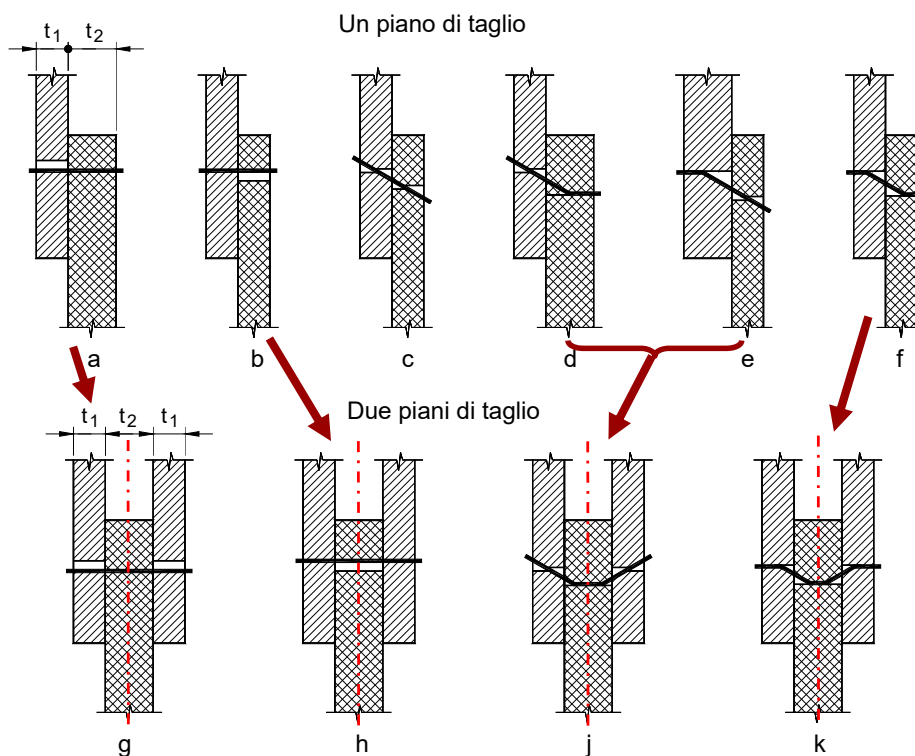
$$d \quad \text{Diametro del connettore (mm)}$$

$$M_{y,Rk} \quad \text{Momento resistente plastico del connettore (Nmm)}$$

# MODI DI COLLASSO UNIONI LEGNO-LEGNO



# MODI DI COLLASSO UNIONI LEGNO-LEGNO

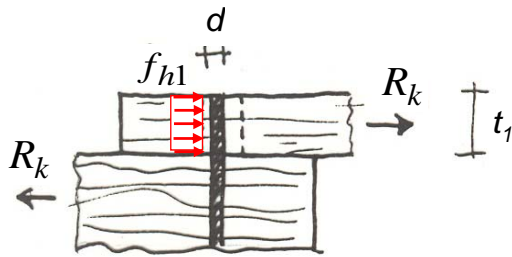


# CAPACITA' PORTANTE UNIONI LEGNO-LEGNO

## CAPACITA' PORTANTE UNIONI A SINGOLO CONNETTORE

### UNIONI LEGNO-LEGNO

Modo I – Plasticizzazione del legno davanti al connettore



$$R_k = f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d$$

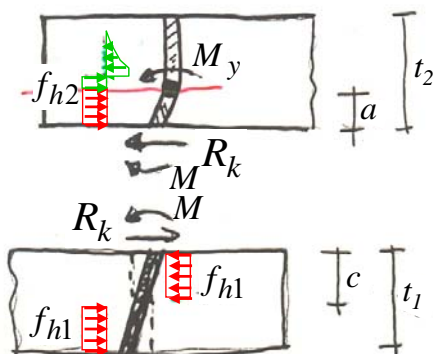
$$R_k = f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d$$

Il valore di calcolo della capacità portante si ricava con la relazione

$$R_d = R_k \frac{k_{mod}}{\gamma_m} \quad \gamma_m = 1.3$$

# CAPACITA' PORTANTE UNIONI LEGNO-LEGNO

MODO II – Schiacciamento del legno e formazione di una cerniera plastica nel gambo del connettore



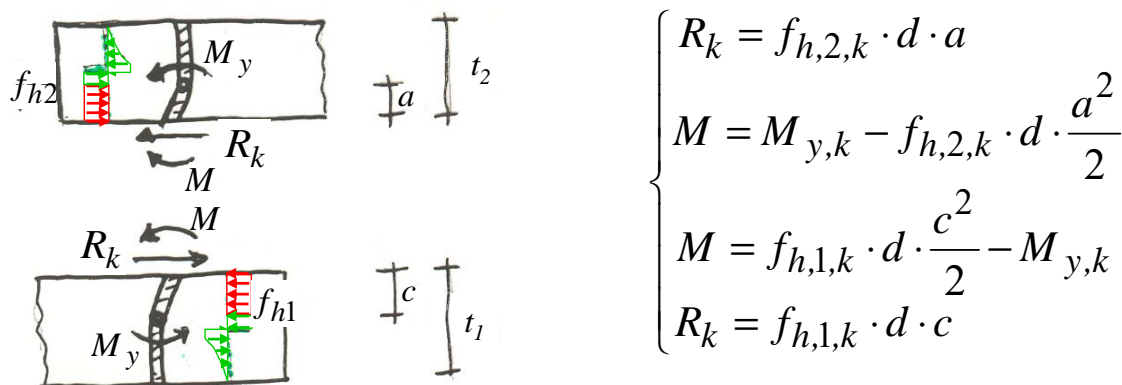
$$\begin{cases} R_k = f_{h,2,k} \cdot d \cdot (2a - t_2) \\ M = M_{y,k} - f_{h,2,k} \cdot d \cdot \frac{a^2}{2} \\ M = f_{h,1,k} \cdot d \cdot \left[ \frac{c^2}{2} - (t_1 - c) \left( c + \frac{t_1 - c}{2} \right) \right] \\ R_k = f_{h,1,k} \cdot d \cdot (2c - t_1) \end{cases}$$

ponendo  $\beta = f_{h2}/f_{h1}$  e risolvendo il sistema si ricava

$$R_k = \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta) M_{y,k}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right]$$

## CAPACITA' PORTANTE UNIONI LEGNO-LEGNO

MODO III – Schiacciamento del legno e formazione di due cerniere plastiche nel gambo del connettore

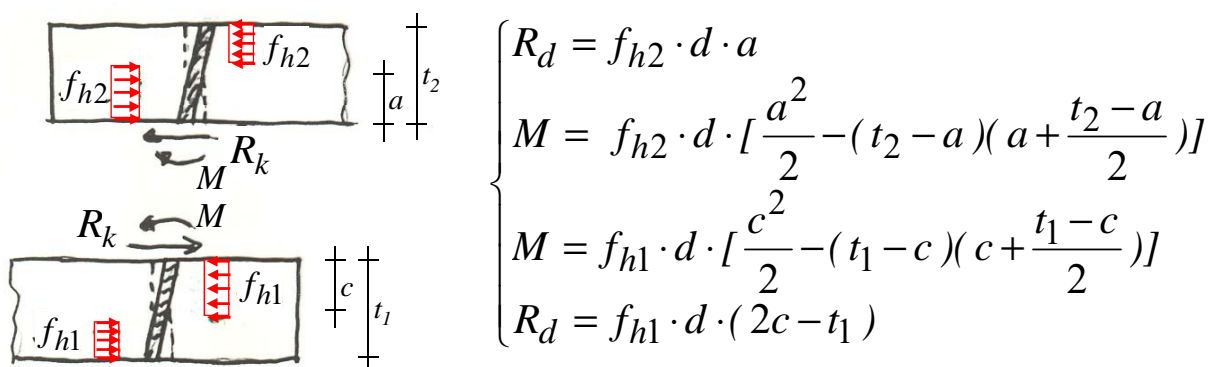


ponendo  $\beta = f_{h2}/f_{h1}$  e risolvendo il sistema si ricava

$$R_k = \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,k} f_{h,1,k} d}$$

## CAPACITA' PORTANTE UNIONI LEGNO-LEGNO

MODO IV – Rotazione rigida del connettore all'interno del legno (solo per unioni a due elementi).

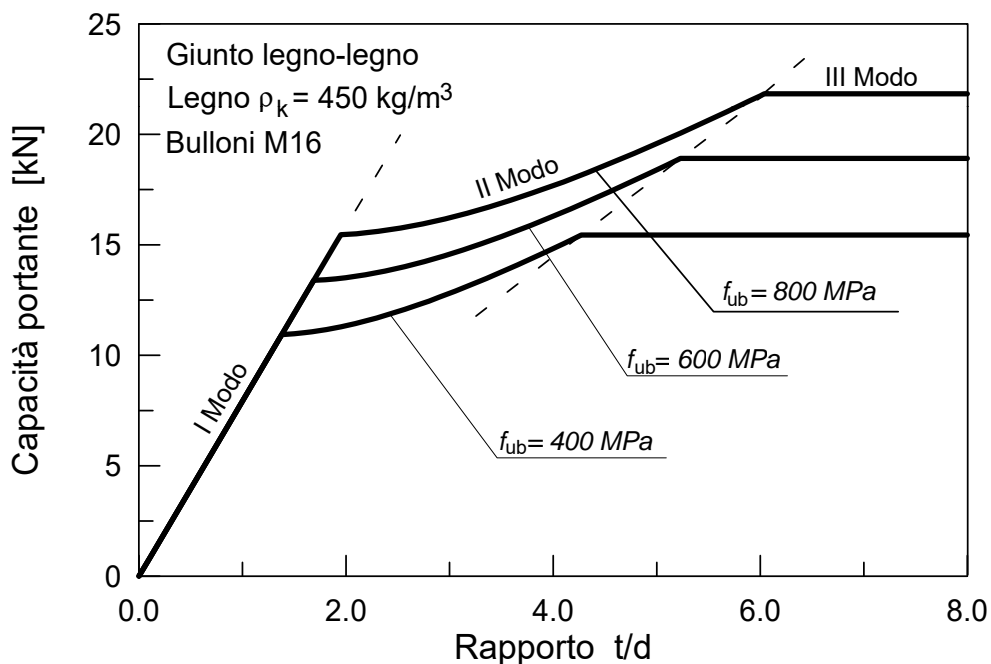


ponendo  $\beta = f_{h2}/f_{h1}$  e risolvendo il sistema si ricava

$$R_k = \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1+\beta} \left[ \sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[ 1 + \frac{t_2}{t_1} + \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right]} + \beta^3 \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 - \beta \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right]$$

# CAPACITA' PORTANTE UNIONI LEGNO-LEGNO

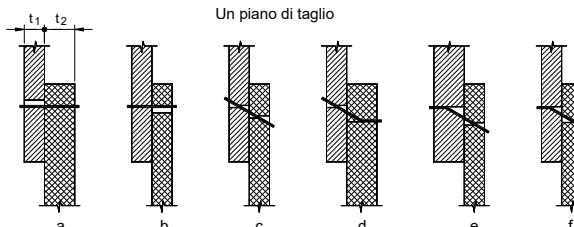
Nella figura è mostrato il limite inferiore della capacità portante al variare della dimensione dei mezzi di unione (rapporto spessore-diametro)



## CAPACITA' PORTANTE (Unioni a un piano di taglio)

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

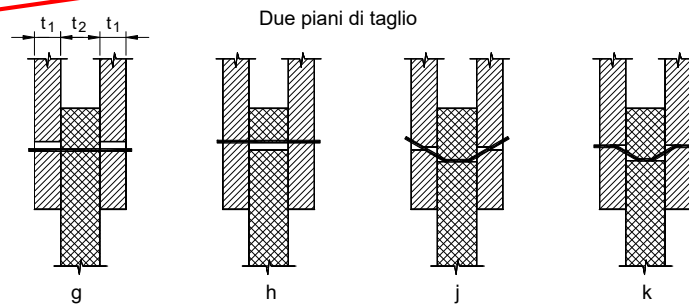
$F_{ax,Rk}$  è la resistenza caratteristica all'estrazione del mezzo di unione;





## CAPACITA' PORTANTE (Unioni a due piani di taglio)

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



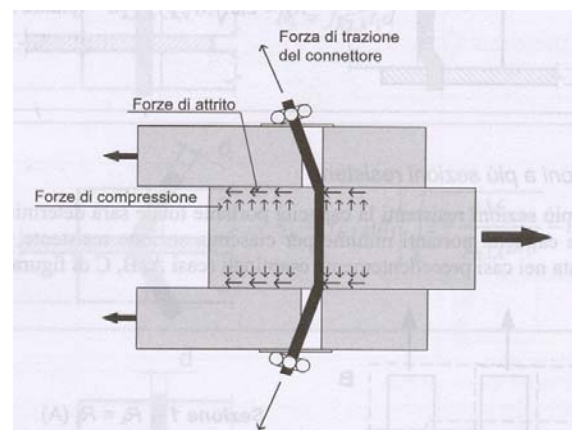
$F_{ax,Rk}$

è la resistenza caratteristica all'estrazione del mezzo di unione;

## CONTRIBUTO EFFETTO TIRANTE

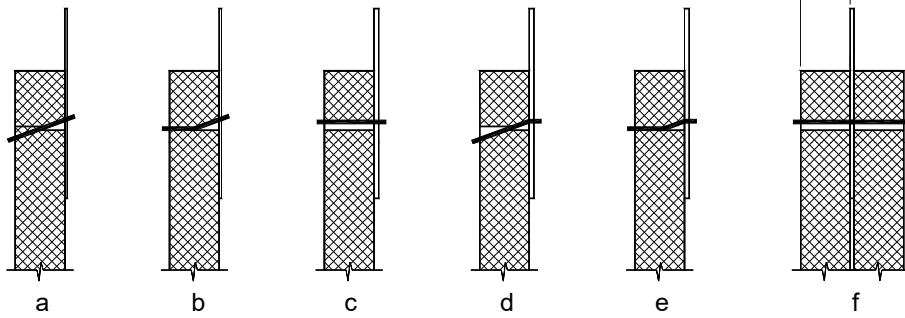
Il termine  $F_{ax,Rk}/4$  non deve superare i valori indicati sotto come percentuale del contributo di Johansen

Chiodi a gambo liscio	≤ 15%
Chiodi ad aderenza migliorata	≤ 50%
Viti	≤ 100%
Bulloni	≤ 25%
Spinotti	0%

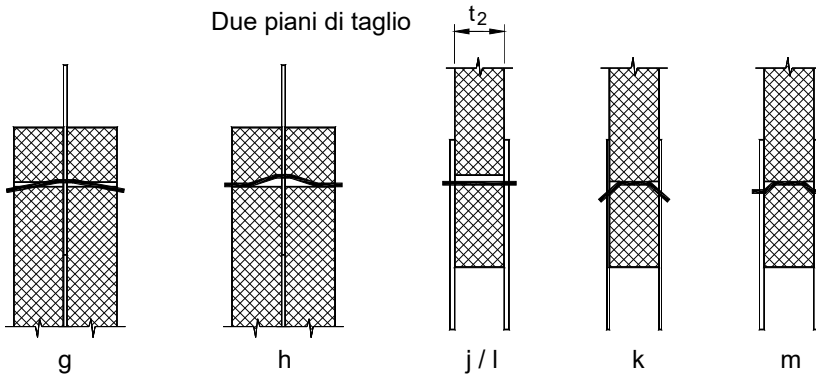


# MODI DI COLLASSO UNIONI LEGNO-ACCIAIO

Un piano di taglio



Due piani di taglio



## CAPACITA' PORTANTE (unioni a un piano di taglio)

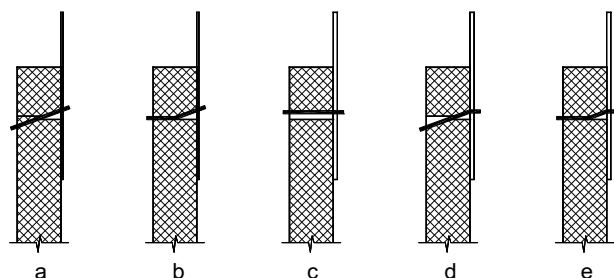
A) per unioni a singolo piano di taglio con piastra di acciaio *sottile*:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0,4 f_{h,k} t_1 d & \text{(a)} \\ 1,15 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(b)} \end{cases}$$

B) per unioni a singolo piano di taglio con piastra di acciaio *spessa*:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d & \text{(c)} \\ f_{h,k} t_1 d \left[ \sqrt{2 + \frac{4 M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(d)} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(e)} \end{cases}$$

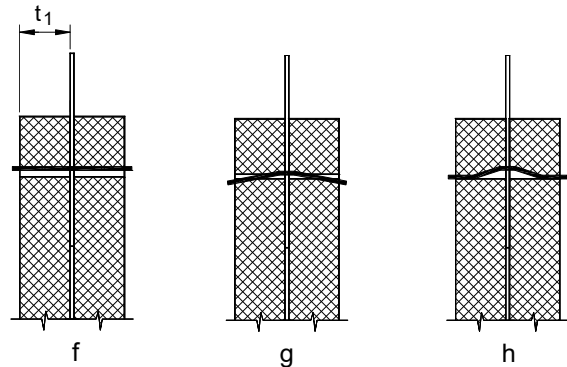
Un piano di taglio



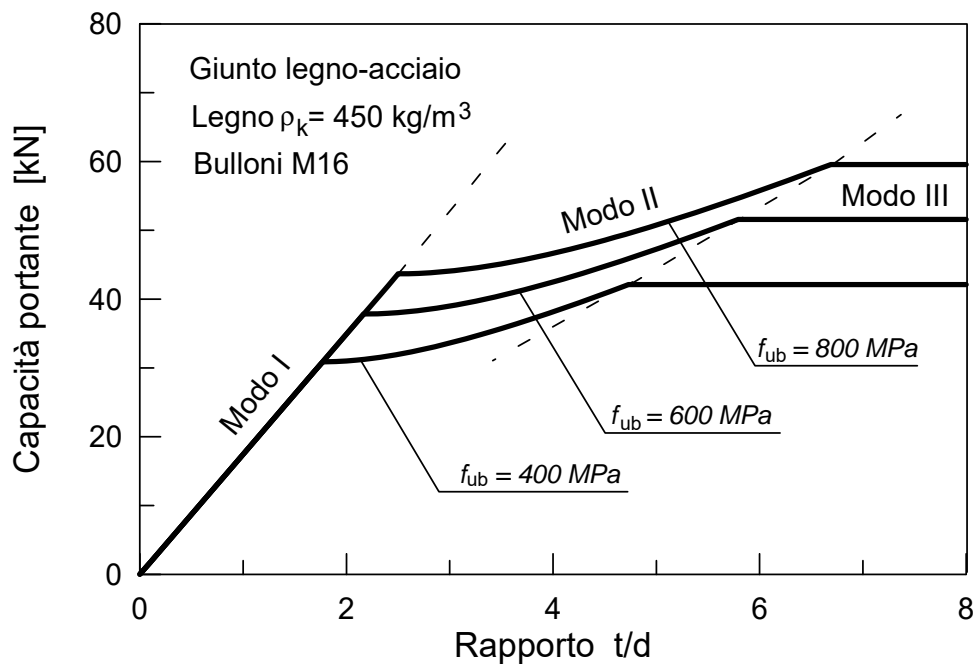
## CAPACITA' PORTANTE (unioni a due piani di taglio)

C) per unioni a doppio piano di taglio con piastra di acciaio di qualsiasi spessore posta in posizione centrale:

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



## CAPACITA' PORTANTE UNIONI LEGNO-ACCIAIO



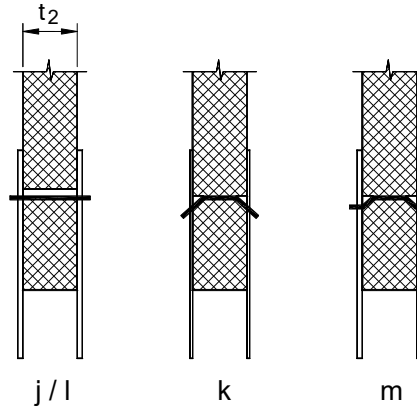
# CAPACITA' PORTANTE (unioni a due piani di taglio)

D) per unioni a doppio piano di taglio con piastre di acciaio *sottili* poste esternamente:

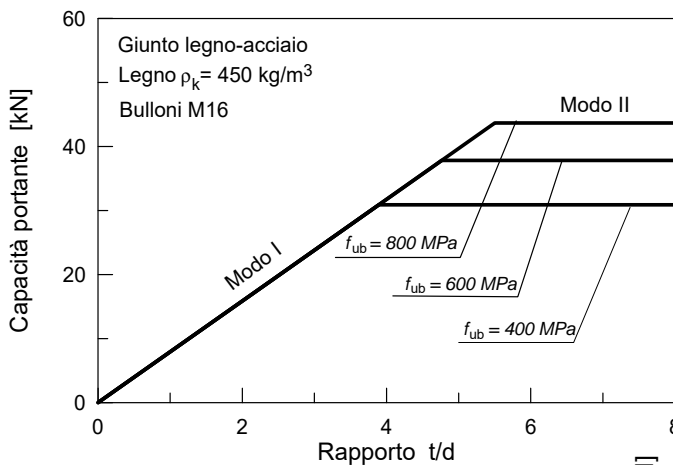
$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0,5 f_{h,2,k} t_2 d & \text{(j)} \\ 1,15 \sqrt{M_{y,k} f_{h,2,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(k)} \end{cases}$$

E) per unioni a doppio piano di taglio con piastre di acciaio *spesse* poste esternamente:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0,5 f_{h,2,k} t_2 d & \text{(l)} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,2,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(m)} \end{cases}$$

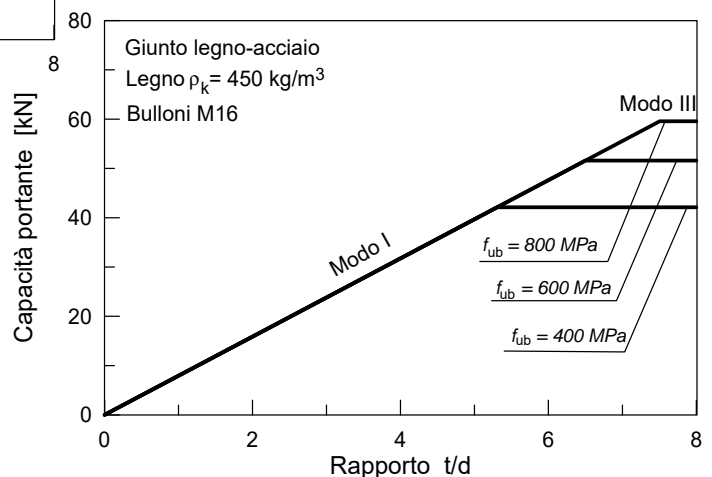


# CAPACITA' PORTANTE UNIONI LEGNO-ACCIAIO

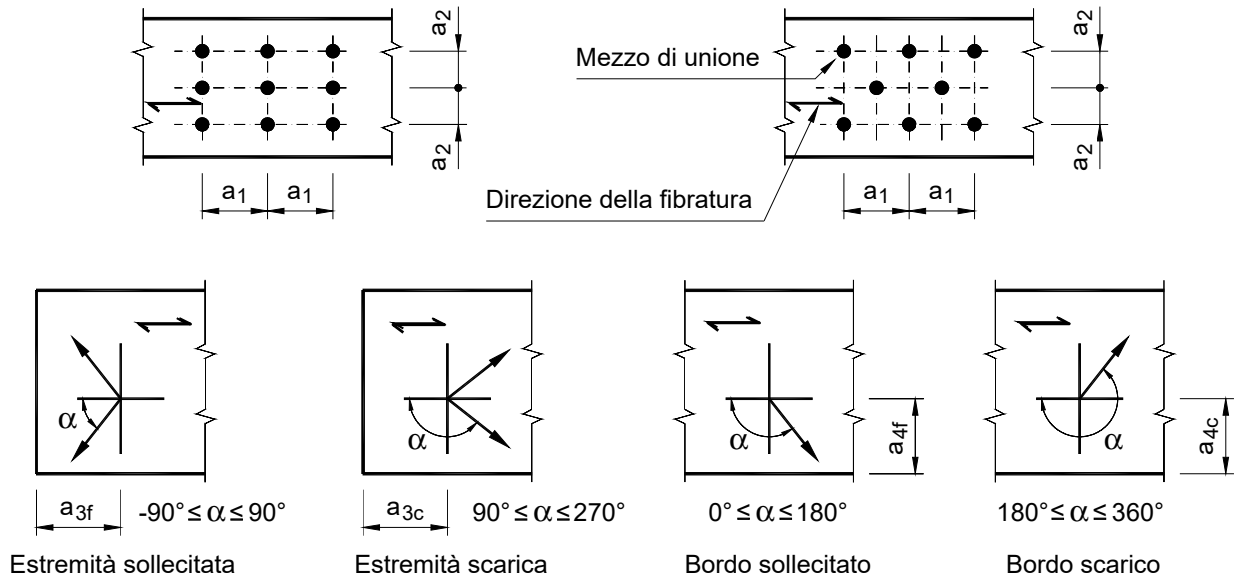


Piastre di unione sottili

Piastre di unione spesse



# DISTANZE MINIME TRA CONNETTORI



# DISTANZE MINIME TRA CHIODI

Interasse o distanza	Angolo $\alpha$ fra forza e direzione della fibratura	Interasse e distanze da bordi ed estremità per <b>CHIODI</b>		
		Senza preforatura		Con preforatura
		$\rho_k \leq 420$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$420 \leq \rho_k \leq 500$ [kg/m <sup>3</sup> ]	
$a_1$ (parall. alle fibre)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$d < 5$ mm: $(5 + 5  \cos \alpha ) d$ $d \geq 5$ mm: $(5 + 7  \cos \alpha ) d$	$(7 + 8  \cos \alpha ) d$	$(4 + 3  \cos \alpha ) d$
$a_2$ (perp. alle fibre)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	5 d	7 d	$(3 +  \sin \alpha ) d$
$a_{3,f}$ (estremità sollec.)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(10 + 5 \cos \alpha) d$	$(15 + 5 \cos \alpha) d$	$(7 + 5 \cos \alpha) d$
$a_{3,c}$ (estremità scarica)	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	10 d	15 d	7 d
$a_{4,f}$ (bordo sollecitato)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$d < 5$ mm: $(5 + 2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5$ mm: $(5 + 5 \sin \alpha) d$	$d < 5$ mm: $(7 + 2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5$ mm: $(7 + 5 \sin \alpha) d$	$d < 5$ mm: $(3 + 2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5$ mm: $(3 + 4 \sin \alpha) d$
$a_{4,c}$ (bordo scarico)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	5 d	7 d	3 d

## DISTANZE MINIME TRA BULLONI

Interasse o distanza	Angolo $\alpha$ fra forza e direzione della fibratura	Interasse e distanze da bordi ed estremità per <b>BULLONI</b>	
$a_1$ (parallelo alla fibratura)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4 + 3   \cos \alpha   ) d$	
$a_2$ (ortogonale alla fibratura)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	4d	
$a_{3,f}$ (estremità sollecitata)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	max	$\begin{cases} 7d \\ 80\text{mm} \end{cases}$
$a_{3,c}$ (estremità scarica)	$90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$	max	$\begin{cases} (1 + 6 \sin \alpha) d \\ 4d \end{cases}$
	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	4d	
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	max	$\begin{cases} (1 + 6   \sin \alpha   ) d \\ 4d \end{cases}$
$a_{4,f}$ (bordo sollecitato)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	max	$\begin{cases} (2 + 2 \sin \alpha) d \\ 3d \end{cases}$
$a_{4,c}$ (bordo scarico)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	3 d	

## DISTANZE MINIME TRA PERNI

Interasse o distanza	Angolo $\alpha$ fra forza e direzione della fibratura	Interasse e distanze da bordi ed estremità per <b>SPINOTTI</b>	
$a_1$ (parallelo 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	
$a_{3,f}$ (estremità sollecitata)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	max	$\begin{cases} 7d \\ 80\text{mm} \end{cases}$
$a_{3,c}$ (estremità scarica)	$90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$	max	$\begin{cases} (a_{3,t} \sin \alpha) d \\ 3d \end{cases}$
	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	3d	
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	max	$\begin{cases} (a_{3,t}   \sin \alpha   ) d \\ 4d \end{cases}$
$a_{4,f}$ (bordo sollecitato)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	max	$\begin{cases} (2 + 2 \sin \alpha) d \\ 3d \end{cases}$
$a_{4,c}$ (bordo scarico)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	3 d	

## TENSIONE DI RIFOLLAMENTO (chiodi)

### **Nel caso di unioni chiodate senza preforatura ( $d < 8$ mm)**

(per legno massiccio, lamellare e LVL)

(nelle formule  $d$  va espresso in mm e  $\rho_k$  in  $\text{kg/m}^3$ )

$$f_{h,0,k} = 0.82 \rho_k d^{-0.3}$$

### **Nel caso di pannelli di compensato**

$$f_{h,k} = 0.11 \rho_k d^{-0.3} \quad \text{per qualsiasi direzione dell'azione}$$

### **Nel caso di pannelli di fibre conformi alla EN 622-2**

$$f_{h,k} = 30 d^{-0.3} t^{0.6} \quad t \text{ è lo spessore del pannello}$$

### **Nel caso di pannelli in OSB**

$$f_{h,k} = 65 d^{-0.7} t^{0.1} \quad t \text{ è lo spessore del pannello}$$

## TENSIONE DI RIFOLLAMENTO (bulloni e perni)

### **Per legno massiccio, lamellare e LVL**

(nelle formule  $d$  va espresso in mm e  $\rho_k$  in  $\text{kg/m}^3$ )

$$f_{h,0,k} = 0.082(1 - 0.01d) \rho_k \quad \text{per azione parallela alle fibre}$$

### **Nel caso di pannelli di compensato**

$$f_{h,k} = 0.11(1 - 0.01d) \rho_k \quad \text{per qualsiasi direzione dell'azione}$$

### **Nel caso di pannelli di fibre conformi alla EN 622-2 e OSB**

$$f_{h,k} = 50 d^{-0.6} t^{0.2} \quad t \text{ è lo spessore del pannello}$$

## RESISTENZA ALL'ESTRAZIONE (chiodi)

***I chiodi a gambo liscio non devono essere utilizzati per resistere ad azioni assiali permanenti o di lunga durata***

***Per i chiodi infissi in direzione parallela alla fibratura è trascurabile la resistenza all'estrazione***

***Per chiodi ad aderenza migliorata si considera che solo la parte filettata è in grado di trasmettere carico assiale***

***Per i chiodi a gambo liscio, normalmente la profondità di infissione della punta non deve essere inferiore a 12d***

***Le chiodature oblique devono prevedere almeno due chiodi disposti simmetricamente rispetto all'asse di sollecitazione.***

## RESISTENZA ALL'ESTRAZIONE (chiodi)

***Per chiodi ortogonali alla fibratura e obliqui la resistenza vale***

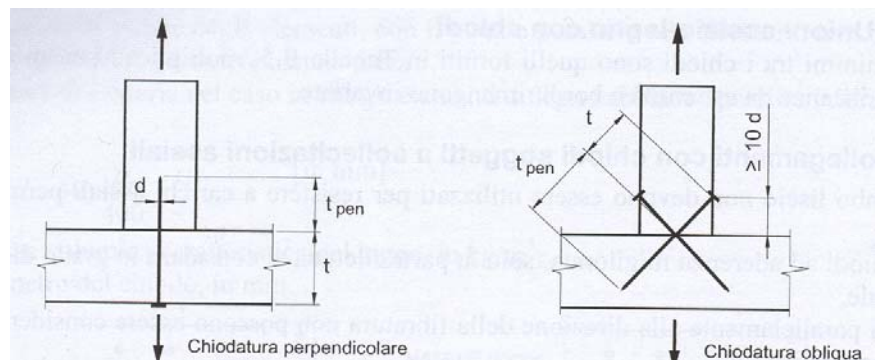
$$F_{ax,Rk} = \min \begin{cases} f_{ax,k} d t_{pen} & \text{per tutti i chiodi} \\ f_{ax,k} d t + f_{head,k} d_h^2 & \text{per chiodi a gambo liscio} \\ f_{head,k} d_h^2 & \text{per chiodi ad ader. migliorata} \end{cases}$$

$$f_{ax,k} = 20 \cdot 10^{-6} \rho_k^2$$

$$f_{head,k} = 70 \cdot 10^{-6} \rho_k^2$$

$t_{pen}$  lungh. di infissione

$d_h$  diametro della testa





## RESISTENZA ALL'ESTRAZIONE (bulloni)

**La capacità portante assiale è data dal valore minore fra**

- la resistenza a trazione del bullone  $F_{ax,k} = f_{u,k} \frac{\pi d^2}{4}$
- la resistenza a schiacciamento del legno sotto la rondella  $F_{ax,k} = \sigma_{c,90,k} A_r$

$$\sigma_{c,90,k} = 3.0 f_{c,90,k} \quad A_r = \frac{\pi(d_r^2 - d^2)}{4}$$

$d_r$  diametro della rondella

$$d_r = \min \begin{cases} 12t \\ 4d \end{cases} \quad \text{diametro rondella equivalente per unioni legno-acc.}$$

## SOLLECITAZIONI COMBinate (assiale-tagliante)

**Nel caso di chiodi a gambo liscio deve risultare**

$$\frac{F_{ax,d}}{F_{ax,Rd}} + \frac{F_{v,d}}{F_{v,Rd}} \leq 1$$

**Nel caso di chiodi ad aderenza migliorata o bulloni**

$$\left( \frac{F_{ax,d}}{F_{ax,Rd}} \right)^2 + \left( \frac{F_{v,d}}{F_{v,Rd}} \right)^2 \leq 1$$

$F_{ax,d}$  e  $F_{v,d}$  sono rispettivamente le azioni assiale e laterale

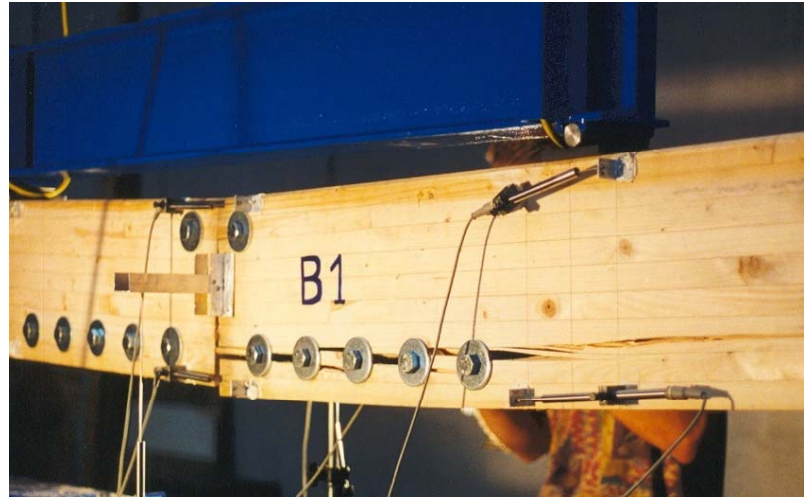
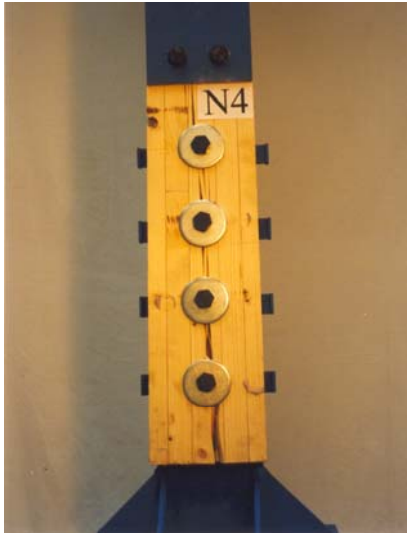
$F_{ax,Rd}$  e  $F_{v,Rd}$  sono le capacità portanti di progetto dell'unione caricata rispettivamente con solo carico assiale o laterale

## UNIONI A PIU' BULLONI

UNIONI MULTIPLE → EFFICACIA RIDOTTA BULLONI

$$F_m < n \cdot F_s$$

La rottura per splitting anticipa quella prevista da EYM



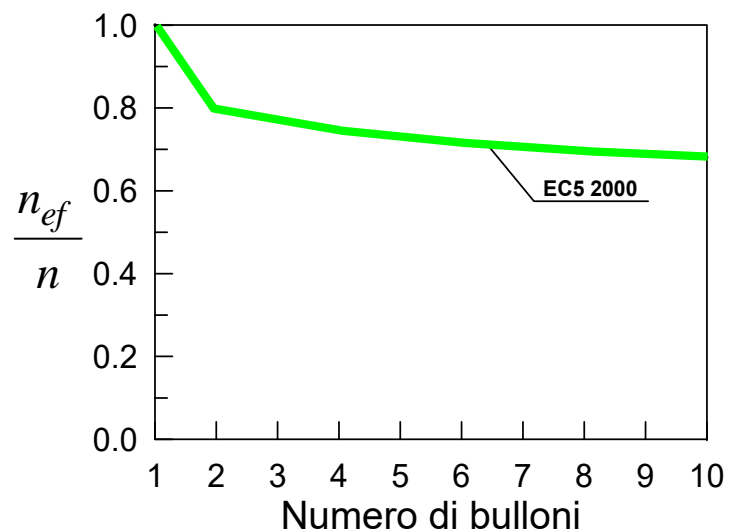
## UNIONI A PIU' BULLONI

UNIONI MULTIPLE → EFFICACIA RIDOTTA BULLONI

$$F_m = n_{ef} \cdot F_s$$

Viene introdotto il concetto di efficacia dei bulloni

$$n_{ef} = 4 \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \cdot n^{0.9}$$



# UNIONI CHIODATE MULTIPLE

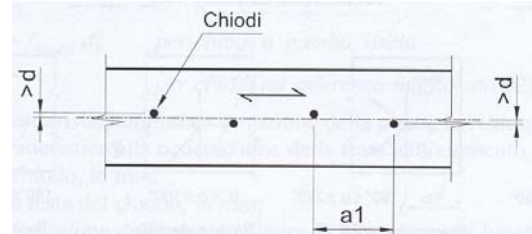
UNIONI MULTIPLE → EFFICACIA RIDOTTA CHIODI

$$F_m = n_{ef} \cdot F_s$$

$$n_{ef} = n^{k_{ef}}$$

Per disposizione sfalsata dei chiodi

$$F_m = n \cdot F_s$$

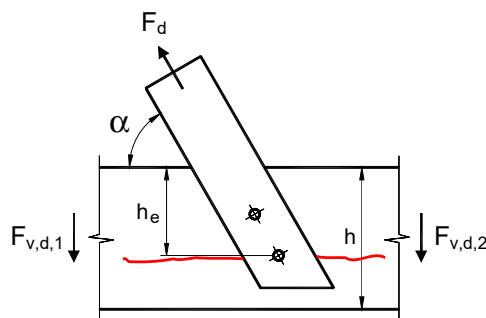
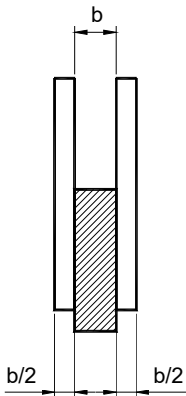


Interasse tra i chiodi	$k_{ef}$	
	Senza preforatura	Con preforatura
$a_1 \geq 14d$	1.00	1.00
$a_1 = 10d$	0.85	0.85
$a_1 = 7d$	0.70	0.70
$a_1 = 4d$	-	0.50

Per interassi intermedi è ammessa l'interpolazione lineare di  $k_{ef}$

# UNIONI SINGOLE E MULTIPLE

Quando la forza in un'unione provoca in un elemento forze di trazione in direzione perpendicolare alle fibre bisogna verificare che l'elemento non si rompa per spacco longitudinale (EC5)



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

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

$$F_d \sin \alpha = F_{v,d,1} + F_{v,d,2}$$

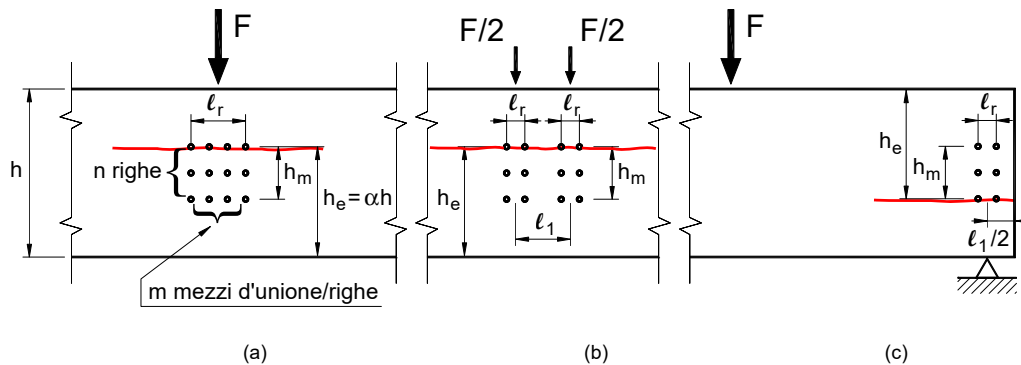
$$F_{90,Rk} = 14b \cdot \sqrt{\frac{h_e}{1 - \frac{h_e}{h}}}$$

## UNIONI SINGOLE E MULTIPLE

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

$$f_w = 1 + 0.75 \left( \frac{l_r + l_l}{h} \right) \leq 2$$

$$f_r = \begin{cases} 1 + 1.75 \frac{n h_m / 1000}{1 + n h_m / 1000} & \text{conn. cilind.} \\ 1.55 & \text{piastre dent.} \end{cases}$$



## UNIONI CON CAMBRETTE E GRAFFE

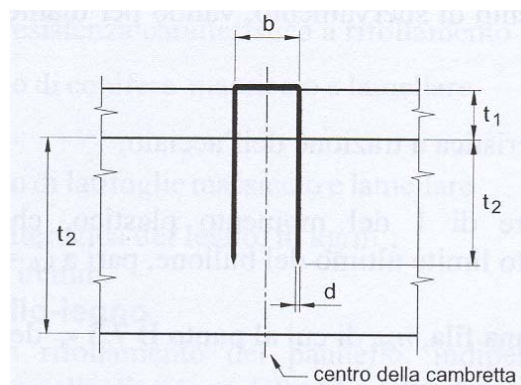
Si trattano come le unioni chiodate. La capacità portante di ogni cambretta può essere considerata come quella di due chiodi aventi pari diametro, purché l'angolo fra la testa della graffa e la fibratura sia maggiore di 30°.

La tensione di rifollamento deve essere determinata sperimentalmente.

La larghezza della testa  $b$  deve essere maggiore o uguale a  $6d$ .

Il momento plastico da usare nelle formule per la capacità portante vale

$$M_{y,Rk} = 0.2 f_{uk} d^3$$

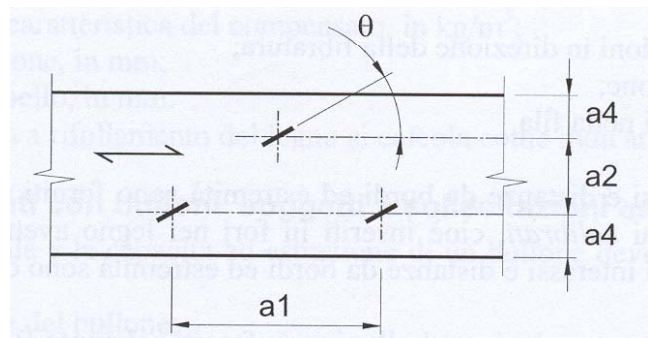
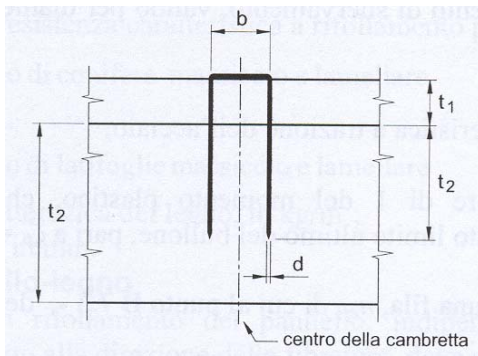


$$b \geq 6d$$

$$t_2 \geq 14d$$

# UNIONI CON CAMBRETTE E GRAFFE

*Interasse e distanza da bordi ed estremità di cambrette o graffe*



Interasse o distanza (figg. 3.21 - 3.24)	Angolo $\alpha$ fra forza e direzione della fibratura	Interasse e distanze da bordi ed estremità, valori minimi
$a_1$ (parallela alla fibratura): per $\theta \geq 30^\circ$ per $\theta < 30^\circ$	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(10 + 5 \left  \cos \alpha \right ) d$ $(15 + 5 \left  \cos \alpha \right ) d$
$a_2$ (ortogonale alla fibratura)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	15 d
$a_{3,f}$ (estremità sollecitata)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(15 + 5 \left  \cos \alpha \right ) d$
$a_{3,c}$ (estremità scarica)	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	15 d
$a_{4,f}$ (bordo sollecitato)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(15 + 5 \left  \sin \alpha \right ) d$
$a_{4,c}$ (bordo scarico)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	10 d

# UNIONI CON VITI

*La resistenza a taglio viene determinata come per i bulloni considerando un diametro equivalente  $d_{ef}$*

$d_{ef} = d$  Per viti con gambo liscio avente  $l > 4d$

$d_{ef} = 1.1d_n$  Per viti con gambo filettato e diametro nucleo  $d_n$

$n_{ef} = n^{0.9}$  Per più viti allineate nella direzione delle fibre

# UNIONI CON VITI

La resistenza allo sfilamento per carico assiale si determina con la relaz.

$$F_{ax,\alpha,Rk} = n_{ef} (\pi d l_{ef})^{0.8} f_{ax,\alpha,k}$$

$l_{ef}$  è la lunghezza della parte filettata meno una volta il diam. della vite  $d$

$$f_{ax,k} = 3.6 \cdot 10^{-3} \rho_k^{1.5}$$

$d$  è il diametro lordo del filetto

$f_{ax,k}$  resistenza sfilamento perpendicolare

$$f_{ax,\alpha,k} = \frac{f_{ax,k}}{\sin^2 \alpha + 1.5 \cos^2 \alpha}$$

$F_{ax,\alpha,k}$  resistenza sfilamento inclinata di  $\alpha$

$$n_{ef} = n^{0.9}$$

$n_{ef}$  numero efficace di viti

# UNIONI CON VITI

**Interasse e distanze da bordi ed estremità (viti caricate assialmente)**

Viti infisse	Interasse minimo	Minima distanza dal bordo
Ad angolo retto rispetto alla fibratura	4d	4d
Parallelamente alla fibratura	4d	2.5d

**Per viti caricate trasversalmente si adottano interasse e distanze valide per i bulloni.**

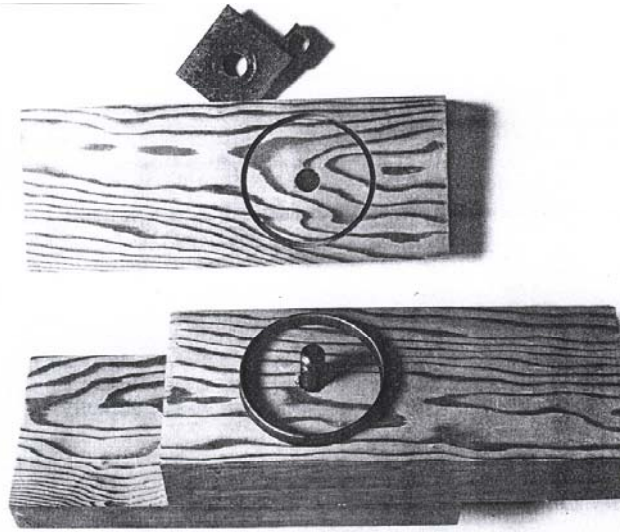
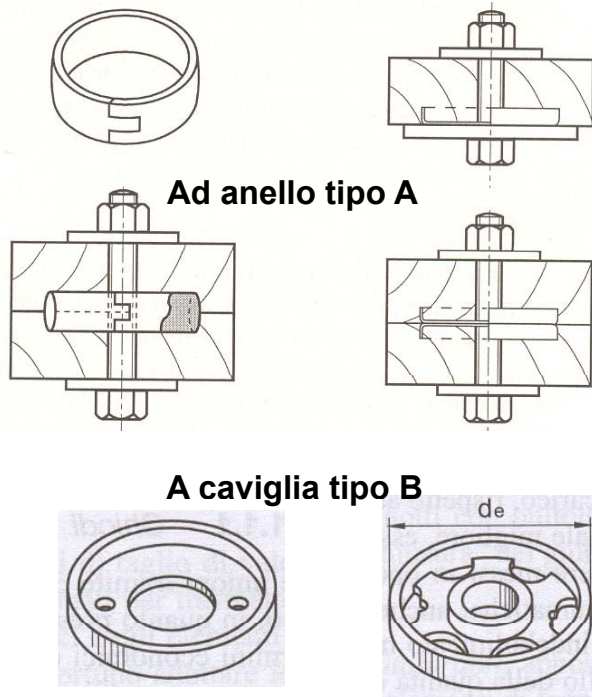
**Verifica per azioni combinate taglio-trazione**

$$\left( \frac{F_{ax,d}}{F_{ax,Rd}} \right)^2 + \left( \frac{F_{v,d}}{F_{v,Rd}} \right)^2 \leq 1$$

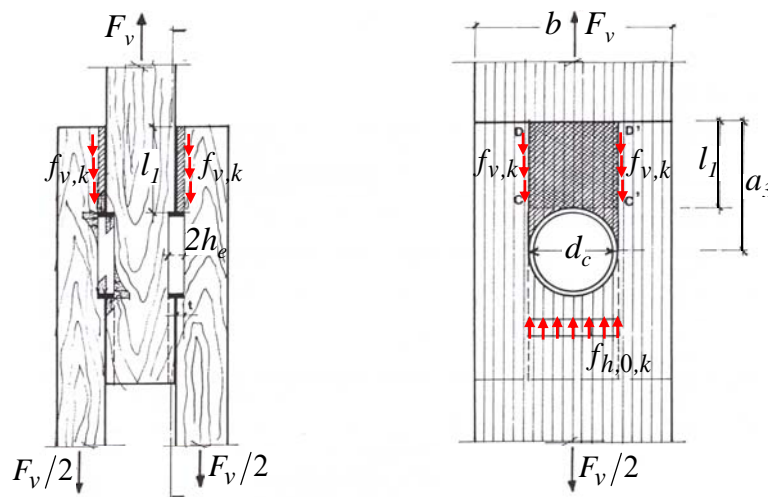


# UNIONI AD ANELLO

(EN 912: A1,A2,A3,A4,A5,A6, B1,B2,B3,B4)



## CAPACITA' PORTANTE UNIONI AD ANELLO



$$F_{v,0,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,0,k} \cdot d_c \cdot h_e \\ f_{v,k} \cdot l_1 \cdot (d_c + 2h_e) \end{cases}$$

Resistenza a rifollamento  
(per ogni sezione resistente)

Resistenza a scorrimento  
(per ogni sezione resistente)

## CAPACITA' PORTANTE UNIONI AD ANELLO

$$F_{v,0,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} k_1 k_2 k_3 k_4 (35d_c^{1.5}) \\ k_1 k_3 h_e (31.5d_c) \end{array} \right.$$

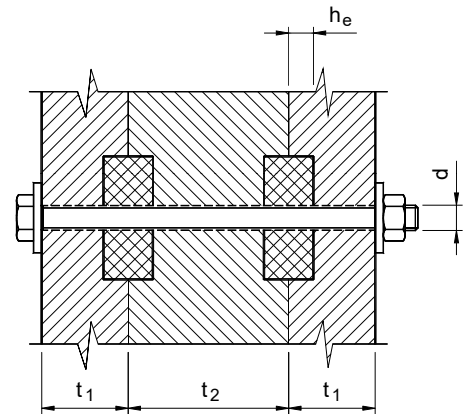
$$k_1 = \min \left\{ 1,00; \frac{t_1}{3h_e}; \frac{t_2}{5h_e} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} k_2 = \min \left\{ 1,25; \frac{a_{3,t}}{2d_c} \right\} \quad \text{Unioni singole, forza tra } -30^\circ \text{ e } +30^\circ \\ k_2 = \min \left\{ 1,00; \frac{a_{3,t}}{2d_c} \right\} \quad \text{Unioni multiple, forza tra } -30^\circ \text{ e } +30^\circ \\ k_2 = 1,00 \quad \text{Altri casi} \end{array} \right.$$

$$k_3 = \min \left\{ 1,75; \frac{\rho_k}{350} \right\}$$

$$k_4 = 1,00 \quad \text{Unioni legno-legno}$$

$$k_4 = 1,10 \quad \text{Unioni acciaio-legno}$$



## CAPACITA' PORTANTE UNIONI AD ANELLO

Per una forza che agisce in direzione inclinata rispetto alla fibratura si considera la relazione

$$F_{v,\alpha,Rk} = \frac{F_{v,0,Rk}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

$$k_{90} = 1.3 + 0.001d_c$$

Se si hanno più anelli allineati nella direzione delle fibre e sono caricati nella direzione delle fibre si deve tener conto di una efficacia ridotta

$$n_{ef} = 2 + \left(1 - \frac{n}{20}\right)(n - 2)$$



# UNIONI AD ANELLO

## Calcolo capacità portante unione ad anello

Numero caviglie	4
Diametro $d_c$	84 mm
Semialtezza indentazione $h_e$	15 mm
Diametro bullone di serraggio	14 mm

### Elementi in legno da unire

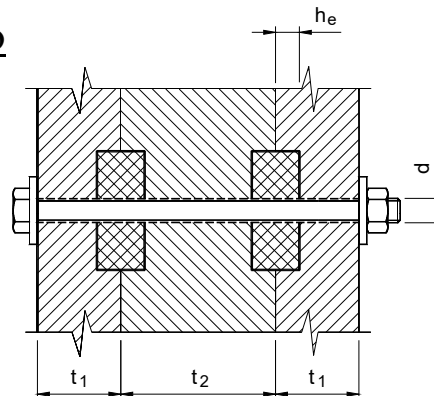
Spessore laterali $t_1$	60 mm
Spessore centrale $t_2$	110 mm
Massa volumica legno $\rho_k$	380 kg/m <sup>3</sup>

### Parametri per caviglia monograppante

$k_1$	1
$a_{3t}$	168
$k_2$	1
$k_3$	1,086
$k_4$	1,000

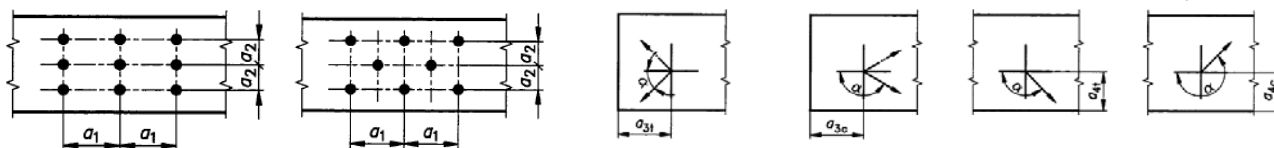
$F_{V,Rk}$	29255 N
------------	---------

<b>Resistenza unione</b>	<b>117,02 kN</b>
--------------------------	------------------



Si può tener conto anche del contributo di capacità portante del bullone.

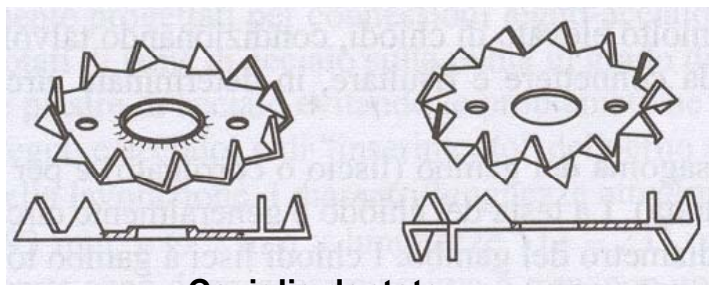
## DISTANZE UNIONI AD ANELLO



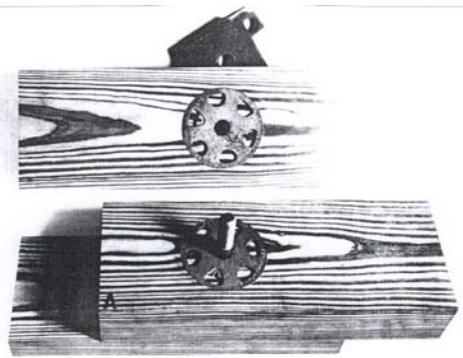
Interasse o distanza	Angolo $\alpha$ fra forza e direzione della fibratura	Interasse e distanze da bordi ed estremità per ANELLI
$a_1$ (parallelo alla fibratura)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(1,2 + 0,8   \cos \alpha  ) d_c$
$a_2$ (ortogonale alla fibratura)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$1,2 d_c$
$a_{3,f}$ (estremità sollecitata)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$1,5 d_c$
$a_{3,c}$ (estremità scarica)	$90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$	$(0,4 + 1,6 \sin \alpha) d_c$
	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	$1,2 d_c$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(0,4 + 1,6   \sin \alpha  ) d_c$
$a_{4,f}$ (bordo sollecitato)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(0,6 + 0,2 \sin \alpha) d_c$
$a_{4,c}$ (bordo scarico)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$0,6 d_c$

# CAPACITA' PORTANTE UNIONI DENTATE

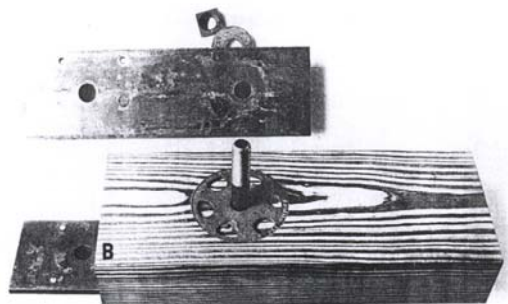
(EN 912: C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8,C9,C10,C11)



Caviglie dentate



Piastre punzonate



# CAPACITA' PORTANTE UNIONI DENTATE

La capacità portante di unioni con caviglie dentate è data dalla relazione seguente, alla quale va aggiunta la capacità portante del bullone

$$F_{V,Rk} = 18k_1k_2k_3d_c^{1,5} \quad \begin{array}{l} \text{Monograppante} \\ \text{C2,C4,C7,C9,C11} \end{array}$$

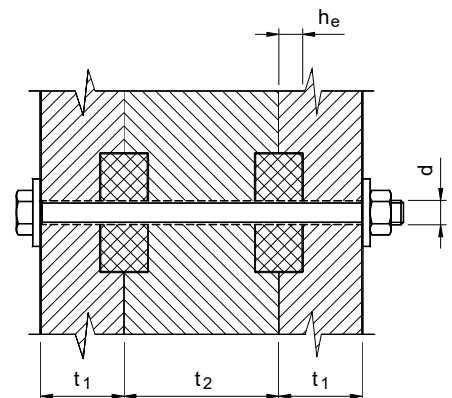
$$F_{V,Rk} = 25k_1k_2k_3d_c^{1,5} \quad \begin{array}{l} \text{bi-grappante} \\ \text{C1,C3,C5,C6,C8,C10} \end{array}$$

$$k_1 = \min\left\{1; \frac{t_1}{3h_e}; \frac{t_2}{5h_e}\right\} \quad k_3 = \min\left\{1,5; \frac{\rho_k}{350}\right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} k_2 = \min\left\{1; \frac{a_{3,t}}{1,5d_c}\right\} \\ k_2 = \min\left\{1; \frac{a_{3,t}}{2,0d_c}\right\} \end{array} \right. \quad a_{3,t} = \max\{1,1d_c; 7d; 80mm\} \quad \text{per elementi da C1 a C9}$$

$$a_{3,t} = \max\{1,5d_c; 7d; 80mm\} \quad \text{per elementi C10 a C11}$$

$$t_1 > 2,25h_e \quad t_2 > 3,75h_e$$



# CAPACITA' PORTANTE UNIONI DENTATE

## Calcolo capacità portante unione a caviglie

Numero caviglie	4
Diametro $d_c$	84 mm
Semialtezza indentazione $h_e$	15 mm
Diametro bullone di serraggio	20 mm

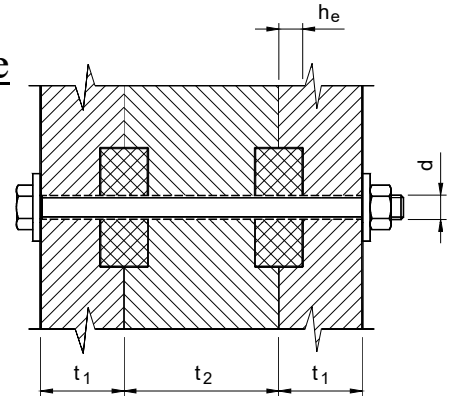
### Elementi in legno da unire

Spessore laterali $t_1$	60 mm
Spessore centrale $t_2$	110 mm
Massa volumica legno $\rho_k$	380 kg/m <sup>3</sup>

### Parametri per caviglia monograppante

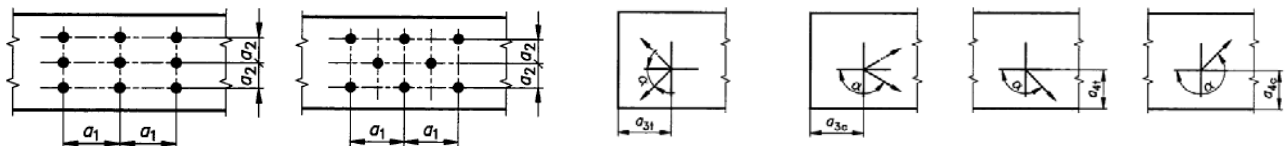
$k_1$	1
$a_{3t}$	140
$k_2$	1
$k_3$	1,086
$F_{V,Rk}$	15046 N

**Resistenza unione 60,18 kN**



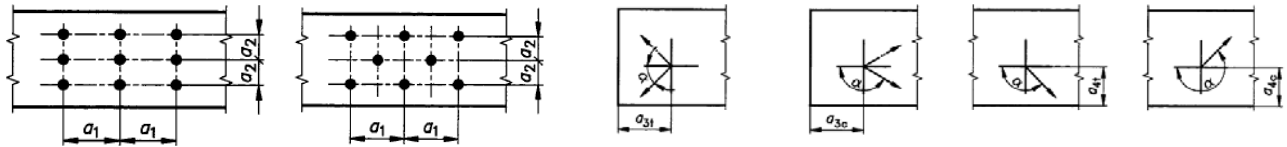
Si può tener conto anche del contributo di capacità portante del bullone.

## DISTANZE UNIONI DENTATE



Interasse o distanza	Angolo $\alpha$ fra forza e direzione della fibratura	Interasse e distanze da bordi ed estremità (da C1 a C9)
$a_1$ (parallelo alla fibratura)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(1,2 + 0,3   \cos \alpha  ) d_c$
$a_2$ (ortogonale alla fibratura)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$1,2 d_c$
$a_{3,f}$ (estremità sollecitata)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$2 d_c$
$a_{3,c}$ (estremità scarica)	$90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$	$(0,9 + 0,6 \sin \alpha) d_c$
	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	$1,2 d_c$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(0,9 + 0,6   \sin \alpha  ) d_c$
$a_{4,f}$ (bordo sollecitato)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(0,6 + 0,2 \sin \alpha) d_c$
$a_{4,c}$ (bordo scarico)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$0,6 d_c$

## DISTANZE UNIONI DENTATE



Interasse o distanza	Angolo $\alpha$ fra forza e direzione della fibratura	Interasse e distanze da bordi ed estremità (C10, C11)
$a_1$ (parallelo alla fibratura)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(1,2 + 0,8   \cos \alpha  ) d_c$
$a_2$ (ortogonale alla fibratura)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$1,2 d_c$
$a_{3,f}$ (estremità sollecitata)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$2 d_c$
$a_{3,c}$ (estremità scarica)	$90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$	$(0,4 + 1,6 \text{ sen} \alpha) d_c$
	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	$1,2 d_c$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(0,4 + 1,6   \text{sen} \alpha  ) d_c$
$a_{4,f}$ (bordo sollecitato)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(0,6 + 0,2 \text{ sen} \alpha) d_c$
$a_{4,c}$ (bordo scarico)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$0,6 d_c$

## UNIONI MULTIPLE AD ANELLO E DENTATE

$$F_m = n_{ef} \cdot F_s$$

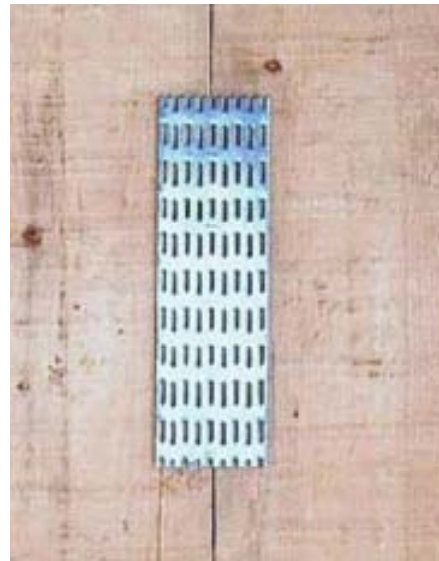
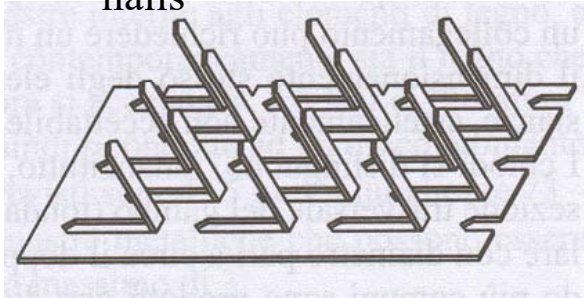
$$n_{ef} = \left[ 2 + \left( 1 - \frac{n}{20} \right) (n - 2) \right] \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \frac{\alpha}{90}$$

$\alpha$  inclinazione della forza rispetto alla direzione della fibratura

# PIASTRE PUNZONATE O CHIODATE

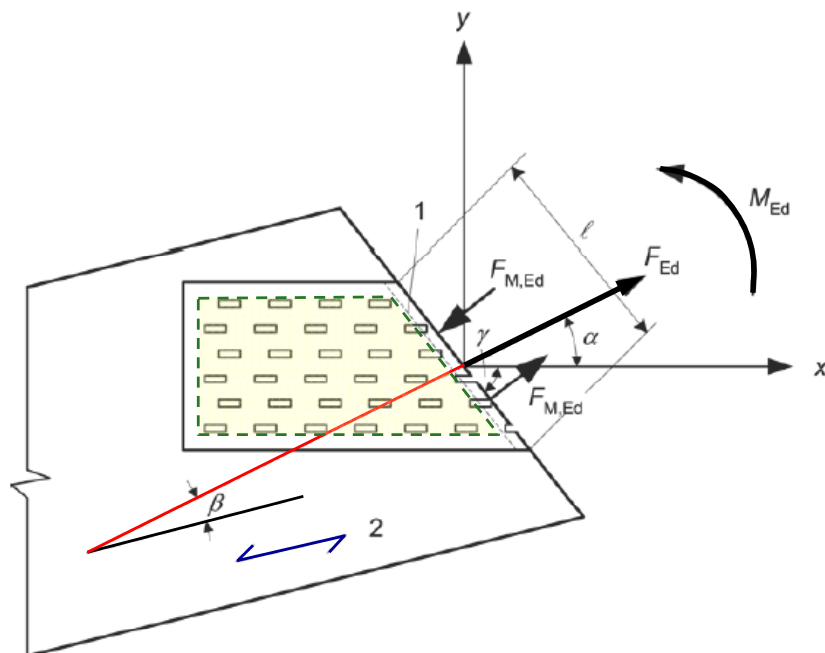
(UNI EN 1075-2002)

Gang  
nails



# PIASTRE PUNZONATE O CHIODATE

(UNI EN 1075-2002)



# PIASTRE PUNZONATE O CHIODATE

(UNI EN 1075-2002)

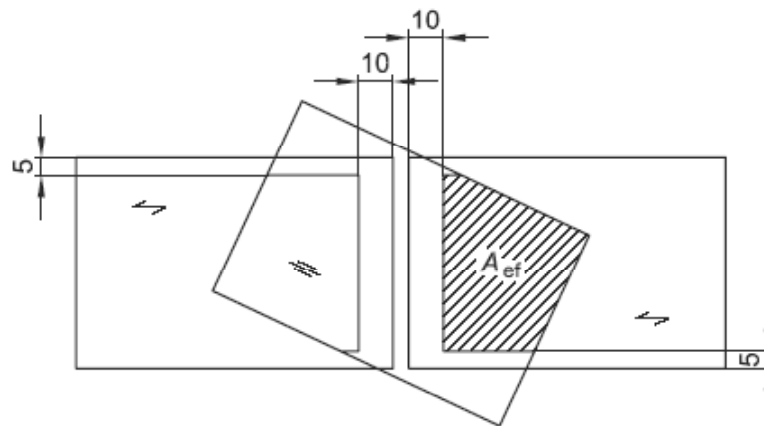
Definizione dell'area efficace dell'elemento di collegamento

Legenda

↔ Direzione della fibratura

≡ Asse maggiore dell'elemento di collegamento

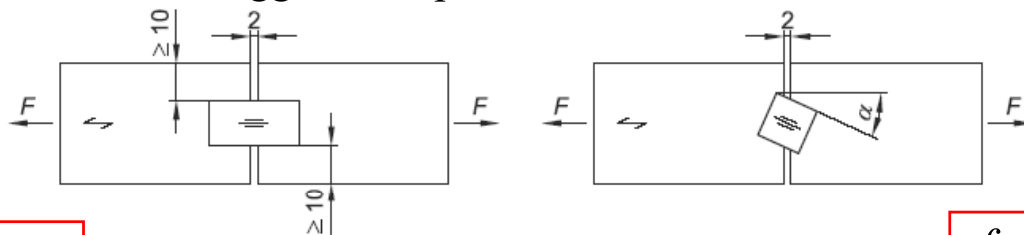
Dimensioni in mm



# PIASTRE PUNZONATE O CHIODATE

(UNI EN 1075-2002)

Resistenza di ancoraggio della piastra

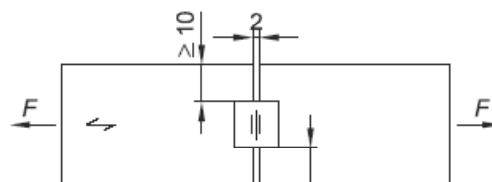


$f_{a,0,0,k}$

a)  $\alpha = 0^\circ, \beta = 0^\circ$

b)  $0^\circ < \alpha < 90^\circ, \beta = 0^\circ$

$f_{a,\alpha,0,k}$



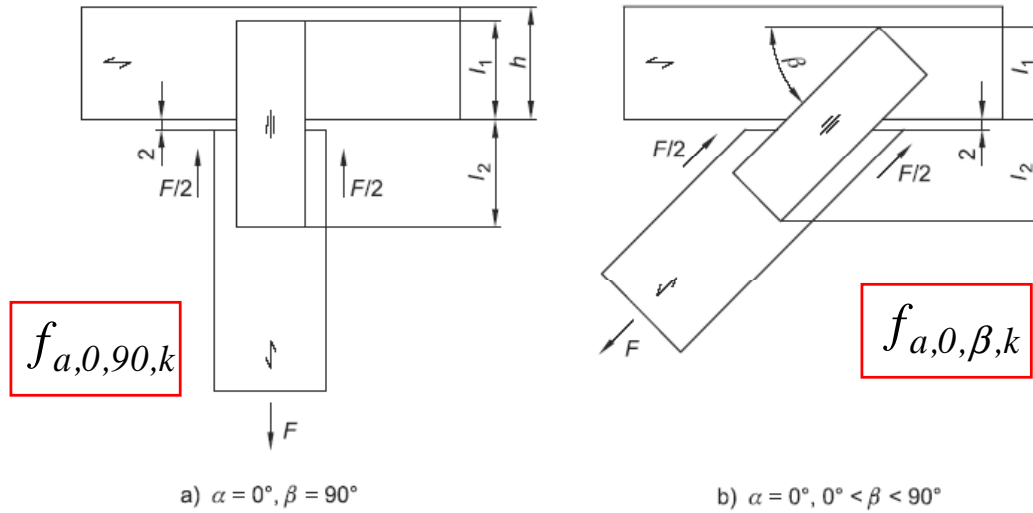
$f_{a,90,0,k}$

c)  $\alpha = 90^\circ, \beta = 0^\circ$

# PIASTRE PUNZONATE O CHIODATE

(UNI EN 1075-2002)

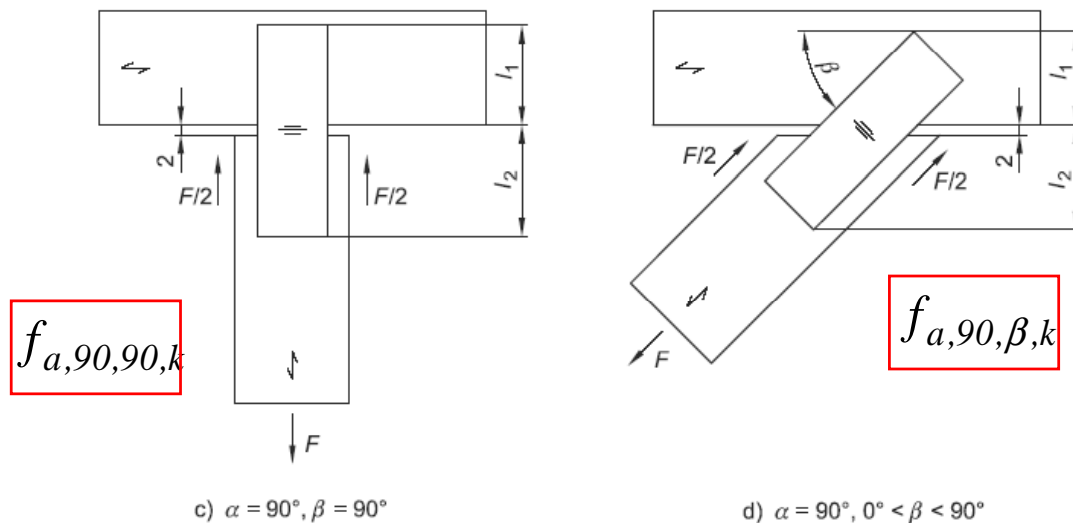
## Resistenza di ancoraggio della piastra



# PIASTRE PUNZONATE O CHIODATE

(UNI EN 1075-2002)

## Resistenza di ancoraggio della piastra



## Resistenza di ancoraggio della piastra secondo vari valori di $\alpha$ e $\beta$ .

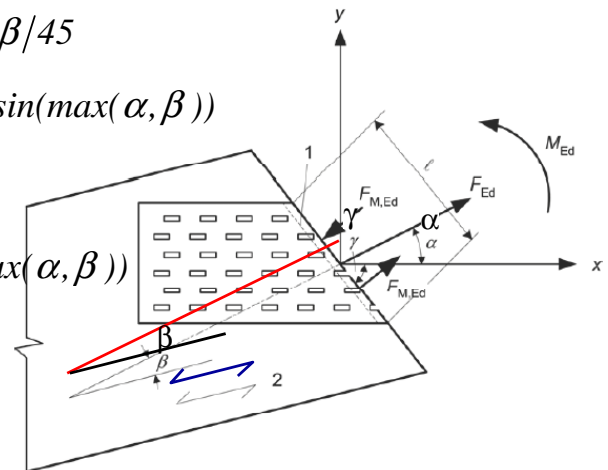
$$f_{a,\alpha,\beta,d} = \max \begin{cases} f_{a,\alpha,0,d} - (f_{a,\alpha,0,d} - f_{a,90,90,d}) \beta / 45 \\ f_{a,\alpha,0,d} - (f_{a,\alpha,0,d} - f_{a,90,90,d}) \sin(\max(\alpha, \beta)) \end{cases}$$

se  $\beta \leq 45^\circ$  altrimenti

$$f_{a,\alpha,\beta,d} = f_{a,\alpha,0,d} - (f_{a,\alpha,0,d} - f_{a,90,90,d}) \sin(\max(\alpha, \beta))$$

I valori  $f_{a,\alpha,0,d}$  e  $f_{a,90,90,d}$  si ricavano da prove sperimentali che possono permettere di ricavare le relazioni

$$f_{a,\alpha,0,d} = \max \begin{cases} f_{a,0,0,d} + k_1 \alpha & \alpha \leq \alpha_0 \\ f_{a,0,0,d} + k_1 \alpha_0 + k_2 (\alpha - \alpha_0) & \alpha_0 < \alpha \leq 90^\circ \end{cases} \quad \begin{cases} k_1 \\ k_2 \end{cases} \text{ sperim.}$$



# UNIONI A PIASTRA PUNZONATA

## Verifica ancoraggio piastra

$$\tau_F = \frac{F_{A,Ed}}{A_{ef}}$$

$$W_p = \frac{A_{ef} d}{4}$$

$$d = \sqrt{\left(\frac{A_{ef}}{h_{ef}}\right)^2 + h_{ef}^2}$$

$$\tau_M = \frac{M_{A,Ed}}{W_p}$$

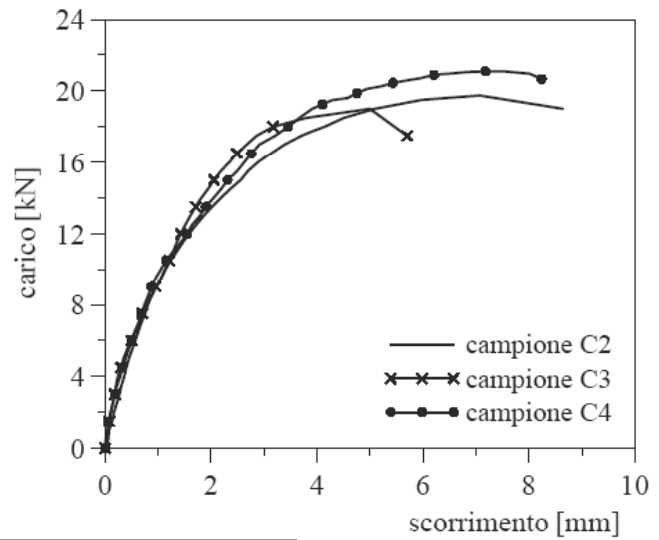
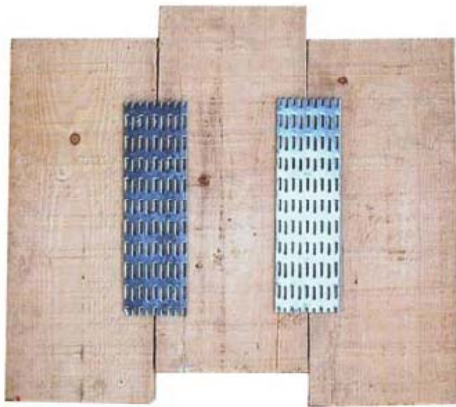
$$\left(\frac{\tau_{F,d}}{f_{a,\alpha,\beta,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{M,d}}{f_{a,0,0,d}}\right)^2 \leq 1$$





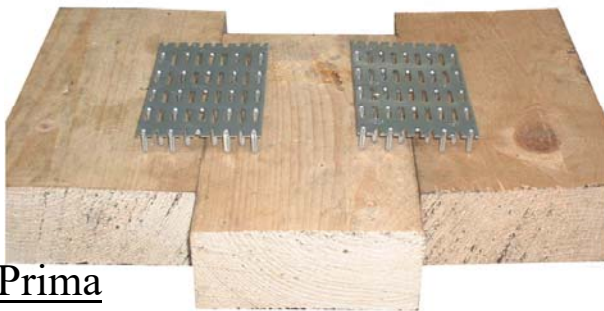
## ESEMPIO PIASTRA PUNZONATA

Piastre 75x250x1.5 mm



	Campione C2	Campione C3	Campione C4
$k_{ps}$ (kN/mm)	9.31	8.91	9.16
$F_{pu}$ (kN)	19.8	19.0	21.0

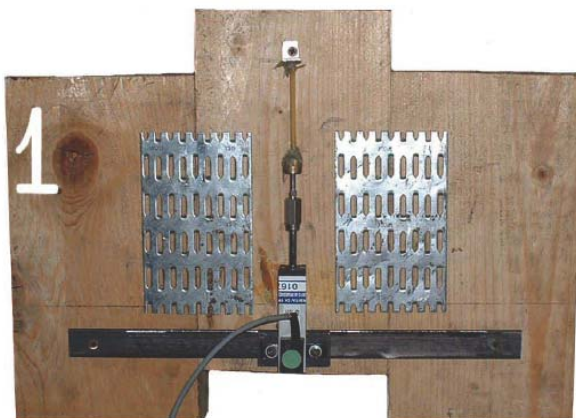
## ESEMPIO PIASTRA PUNZONATA



Prima  
dell'applicazione



Dopo la prova



Campione di prova

## RIGIDEZZA DELLE UNIONI CON MEZZI MECCANICI

***I moduli di scorrimento istantaneo  $K_{ser}$  per ciascuna sezione resistente e per singolo mezzo di unione, sotto i carichi di esercizio***

Tipo di connettore	Unioni legno-legno, legno-pannello
Spinotti, bulloni calibrati*, viti, chiodi con preforatura	$\rho_m^{1.5} \cdot \frac{d}{23}$
Chiodi (senza preforatura)	$\rho_m^{1.5} \cdot \frac{d^{0.8}}{30}$
Cambrette e graffe	$\rho_m^{1.5} \cdot \frac{d^{0.8}}{80}$
Anelli (tipo A secondo EN 912) Caviglie (tipo B secondo EN 912)	$\rho_m \cdot \frac{d_c}{2}$
Piastre dentate singole (tipo C1-C9 secondo EN 912)	$1.5 \rho_m \cdot \frac{d_c}{4}$
Piastre dentate doppie (tipo C10 e C11 secondo EN 912)	$\rho_m \cdot \frac{d_c}{2}$

\* La deformazione dovuta ai giochi meccanici deve essere assegnata separatamente (comunque con valore non inferiore a 1mm)

## RIGIDEZZA DELLE UNIONI CON MEZZI MECCANICI

***Per unioni legno-acciaio con elementi a diretto contatto, nel caso di piastre esterne spesse e fori calibrati il valore di  $K_{ser}$  ottenuto utilizzando le relazioni di tabella e  $\rho_k$  del legno, può essere raddoppiato.***

$$K_{ser,steel} = 2 K_{ser,wood}$$

***Per tener conto dei fenomeni lenti (viscosità, umidità) il valore di  $K_{ser}$  per i carichi quasi-permanenti viene ridotto***

$$K_{ser,\infty} = \frac{K_{ser,in}}{1 + k_{def}}$$

**Quindi**

$$s = \frac{(G_k + Q_k)}{K_{ser,in}} + \frac{(G_k + \psi_2 Q_k)}{K_{ser,in}} k_{def}$$

## UNIONI CON BARRE INCOLLATE

Negli ultimi anni si è sviluppato un crescente interesse nei confronti delle unioni realizzate mediante barre o piastre d'acciaio, inserite in apposite sedi ricavate negli elementi in legno da unire, e solidarizzate ad essi mediante adesivi.

Rispetto alle tradizionali unioni bullonate è possibile realizzare un collegamento di migliore valenza architettonica, e con minori problemi di durabilità.



## UNIONI CON BARRE INCOLLATE

*Sono unioni che prevedono l'inserimento di barre di acciaio (filettate o nervate) entro fori praticati nel legno e solidarizzate mediante resina epossidica.*

*La capacità portante della connessione per azioni assiali è limitata da una delle seguenti cause di collasso*

- rottura della barra*
- perdita di aderenza all'interfaccia tra la barra e la resina*
- sfilamento della barra per cedimento all'interfaccia resina-legno*
- rottura per trazione di una porzione di legno che circonda la barra*

*I meccanismi successivi al primo sono tutti di tipo fragile, per cui devono essere evitati.*

*Bisogna fare in modo che la capacità portante minore sia data dalla rottura della barra.*

## UNIONI CON BARRE INCOLLATE (Barre sollecitate parallelamente al proprio asse)

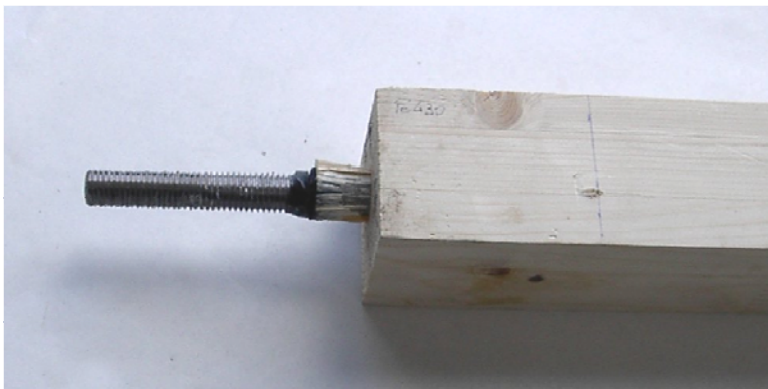
### a) Rottura a trazione della barra d'acciaio



$$F_{ax,Rd} = f_{yd} A_{res}$$

## UNIONI CON BARRE INCOLLATE (Barre sollecitate parallelamente al proprio asse)

### b) Rottura per scorrimento del legno all'interfaccia con l'adesivo



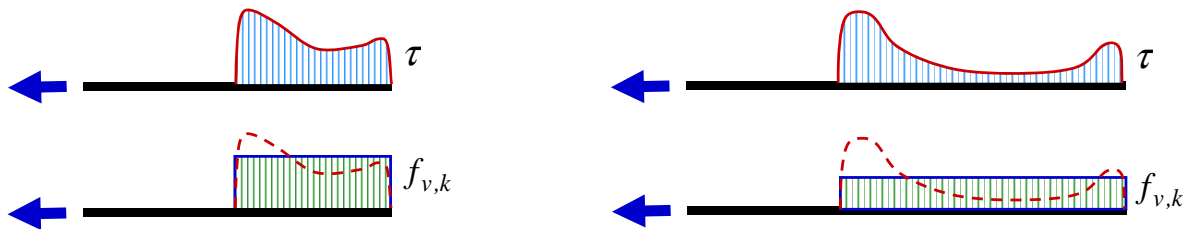
$$F_{ax,Rd} = \pi d_{eq} l_{ad} f_{vd}$$

$$d_{eq} = \min \begin{cases} \text{diam. foro} \\ 1.10 d \end{cases}$$

# ROTTURA PER SCORRIMENTO

Valori caratteristici della resistenza a scorrimento equivalente

Resistenza della linea di incollaggio $f_{v,k}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Lunghezza incollata effettiva $l_{ad}$ della barra d'acciaio [mm]		
	$\leq 250$	$250 < l_{ad} \leq 500$	$500 < l_{ad} \leq 1000$
	4.0	$5.25 - 0.005 l_{ad}$	$3.5 - 0.0015 l_{ad}$



Nel caso di barra inclinata di  $\alpha$  rispetto alla fibratura si ha:

$$f_{v,\alpha,k} = f_{v,k} \cdot (\sin^2 \alpha + 1.5 \cos^2 \alpha)$$

## UNIONI CON BARRE INCOLLATE (Barre sollecitate parallelamente al proprio asse)

c) Rottura completa o parziale dell'elemento ligneo per trazione



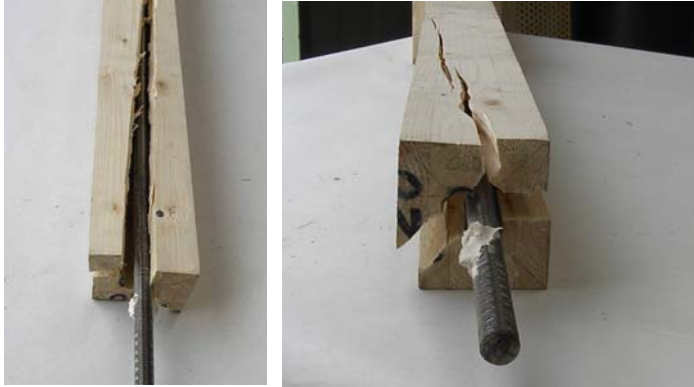
$$F_{ax,Rd} = f_{t,0d} \cdot A_{eff}$$

$A_{eff}$  è l'area efficace della sezione resistente di legno

# UNIONI CON BARRE INCOLLATE

## (Barre sollecitate parallelamente al proprio asse)

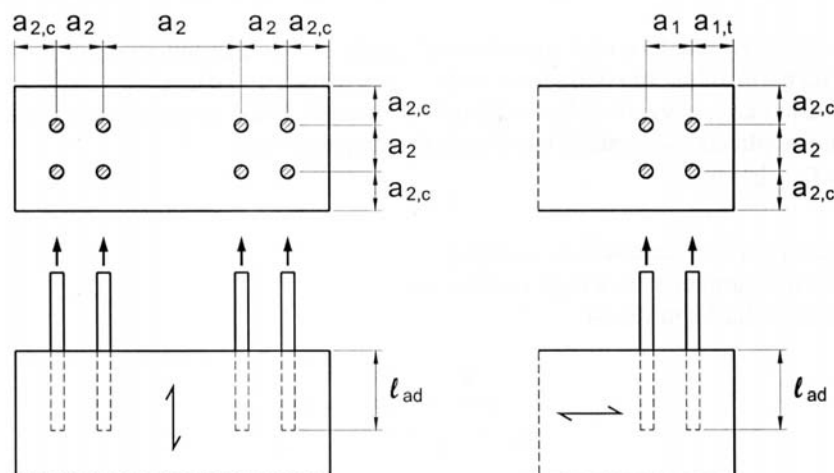
### d) Rottura per spacco nella direzione della barra



Per evitare la formazione di fessure di spacco nella direzione della barra è necessario rispettare adeguati interassi fra le barre e distanze minime delle stesse dai bordi

## DISTANZE MINIME TRA LE BARRE

Barre d'acciaio incollate parallele alla direzione della fibratura	$a_2 = 5 \cdot d$
	$a_{2,c} = 2,5 \cdot d$
	$a_1 = 4 \cdot d$
Barre d'acciaio incollate ortogonali alla direzione della fibratura	$a_2 = 4 \cdot d$
	$a_{1,t} = 4 \cdot d$
	$a_{2,c} = 2,5 \cdot d$





## UNIONI CON BARRE INCOLLATE (Barre sollecitate perpendicolarmente al proprio asse)

Per la determinazione della capacità portante a taglio valgono le prescrizioni relative agli spinotti.

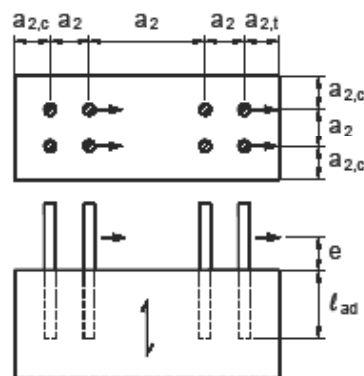
Nelle equazioni è da intendere come diametro  $d$ :

- *Diametro nominale delle barre lisce o ad aderenza migliorata;*
- *90% del diametro nominale per barre filettate.*

La lunghezza minima di ancoraggio  $l_{ad,min}$  deve essere pari a:

$$l_{ad,min} = \max \begin{cases} 0.5 d^2 \\ 10 d \end{cases} \quad (\text{in mm})$$

## DISTANZE DAL BORDO E INTERASSE BARRE (Barre sollecitate perpendicolarmente al proprio asse)



**Tabella 7-13**-Distanze minime di barre d'acciaio incollate e sollecitate ortogonalmente all'asse

	$a_2 = 5d$
Barre d'acciaio incollate parallele alla direzione della fibratura	$a_{2,c} = 2.5d$
	$a_{2,t} = 4d$
Barre d'acciaio incollate ortogonale alla direzione della fibratura	Vedere Tabella 7-5



# AZIONI COMBinate ASSIALI E TRASVERSALI SULLE BARRE

Si fa riferimento alla relazione:

$$\left( \frac{F_{ax,Sd}}{F_{ax,Rd}} \right)^2 + \left( \frac{F_{la,Sd}}{F_{la,Rd}} \right)^2 \leq 1$$

Dove  $F_{ax,Rd}$  e  $F_{la,Rd}$  sono le capacità portanti di progetto sotto l'azione assiale e sotto l'azione tagliante prese singolarmente.

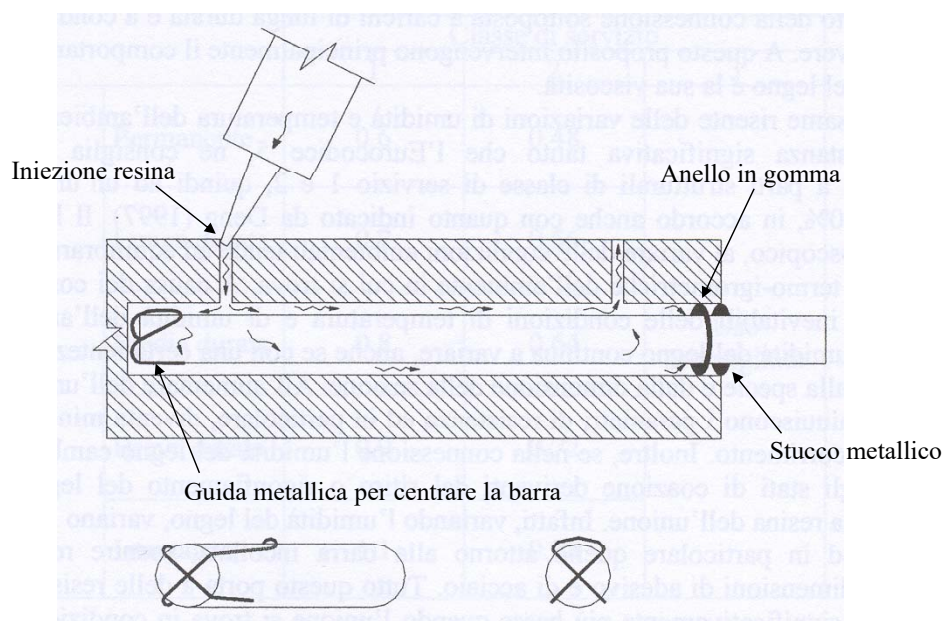
## DISPOSIZIONI COSTRUTTIVE

- L'adesivo deve essere utilizzato seguendo le raccomandazioni del produttore riguardo alla miscelazione dei componenti, condizioni di applicazione, modalità di esecuzione, stagionatura
- Durante le operazioni di iniezione è necessario verificare che il foro si riempia completamente con l'adesivo
- Al momento dell'iniezione l'umidità del legno non deve essere maggiore del 3% dell'umidità minima prevista in esercizio
- Il giunto dovrà essere sollecitato solo dopo l'avvenuta stagionatura della resina, nei tempi indicati dal produttore
- Le superfici degli elementi metallici devono essere accuratamente pulite e sgrassate

## DISPOSIZIONI COSTRUTTIVE

- Le superfici dei fori devono risultare da lavorazioni eseguite con taglio netto
- Nel caso di barre il diametro del foro deve essere da 2 a 6 mm maggiore del diametro esterno della barra e comunque tale che lo spessore dell'adesivo risulti inferiore al limite massimo indicato dal produttore
- Devono essere utilizzati opportuni dispositivi di centraggio dell'elemento metallico nella sede in modo da assicurare uno spessore di resina costante su tutta la superficie laterale
- L'adesivo destinato per uso strutturale su legno deve essere specificatamente formulato e testato (compatibilità-durabilità)

## DISPOSITIVI DI CENTRAGGIO BARRA



# ESEMPIO 1: UNIONE LEGNO-LEGNO

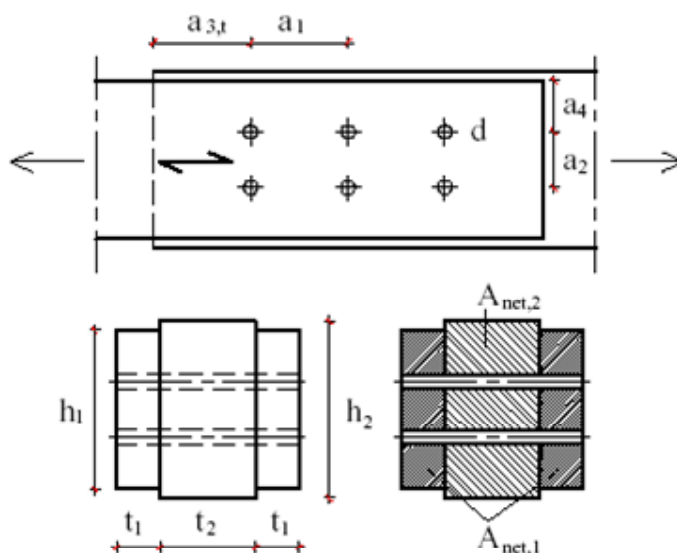
## Unione Bullonata legno-legno 1

### Forza sollecitante

$G_k =$	14.0 kN
$Q_k =$	40.0 kN
$F_d = 1,4G_k + 1,5Q_k =$	79.6 kN
$F_{SLE,rara} = G_k + Q_k =$	54.0 kN
$\Psi_2$ (car. var. abit.) =	0.3 kN
$F_{SLE,q.p.} = G_k + \Psi_2 Q_k =$	26.0 kN

**Classe di servizio**  
**Classe di durata del carico**

**II**  
**Media dur.**



# ESEMPIO 1: UNIONE LEGNO-LEGNO

### Caratteristiche elemento 1

Legno di abete classe C24

$t_1 =$	80 mm
$h_1 =$	200 mm
$\rho_{k1} =$	350 kg/m <sup>3</sup>
$\rho_{m1} =$	420 kg/m <sup>3</sup>
$f_{t,0,k,1} =$	14 MPa
$\gamma_{M1} =$	1.30 -
$k_{mod1} =$	0.80
$k_{def1} =$	0.80

### Caratteristiche elemento 2

Legno di abete classe C24

$t_2 =$	140 mm
$h_2 =$	200 mm
$\rho_{k2} =$	350 kg/m <sup>3</sup>
$\rho_{m2} =$	420 kg/m <sup>3</sup>
$f_{t,0,k,2} =$	14 MPa
$\gamma_{M2} =$	1.30 -
$k_{mod2} =$	0.80
$k_{def2} =$	0.80

### Caratteristiche bulloni

Classe:	6.8
$f_{u,k} =$	600 MPa
$d =$	16 mm
$\gamma_s =$	1.1
Rondelle	
$d_r =$	60 mm
$f_{c,90,k} =$	2.5 MPa
$\sigma_{c,90,k} =$	7.5 MPa

## ESEMPIO 1: UNIONE LEGNO-LEGNO

### Verifica resistenza unione

$f_{h,0,k,1}=0,082(1+0,01d)\rho_{k1} =$	24.1 MPa
$f_{h,0,k,2}=0,082(1+0,01d)\rho_{k1} =$	24.1 MPa
$M_{y,k}=0,3f_{u,k}d^{2.6} =$	243212 Nmm
$\beta=f_{h,2,k}/f_{h,1,k} =$	1
$F_{ax,Rk}=\sigma_{c,90,k}\pi(d_r^2-d^2)/4 =$	19.70 kN
$R_{k1}=f_{h,1,k}t_1d =$	30.86 kN
$R_{k2}=0,5f_{h,1,k}t_2d\beta =$	27.00 kN
$R'_{k3}=1.05[f_{h,1,k}t_1d/(2+\beta)]\{\text{radq}[2\beta(1+\beta)+$ $+4\beta(2+\beta)M_{y,k}/f_{h,1,k}dt_1^2]-\beta\} =$	13.79 kN
$R_{k3}=R'_{k3}+\min(F_{ax,Rk}/4;0.25R'_{k3}) =$	17.23 kN
$R'_{k4}=[1,15\text{radq}(2\beta/(1+\beta))]^*$ $*\text{radq}(2M_{y,k}f_{h,1,k}d) =$	15.75 kN
$R_{k4}=R'_{k4}+\min(F_{ax,Rk}/4;0.25R'_{k4}) =$	19.69 kN
$R_d=\min\{R_{ki}\}k_{mod}/\gamma_M =$	10.60 kN

## ESEMPIO 1: UNIONE LEGNO-LEGNO

$R_d=\min\{R_{ki}\}k_{mod}/\gamma_M =$	10.60 kN
$s = n^\circ$ sezioni resistenti =	2
$n = n^\circ$ di el. allineati =	3
$N = n^\circ$ bulloni =	6
$a_1 =$	112 mm
$k_{ef}=\min\{1; (a_1/13d)^{1/4}/n^{0,1}\} =$	0.767
$R_{unione} = R_d k_{ef} N s =$	97.7 kN
$F_d/R_{unione} =$	0.81 < 1

## ESEMPIO 1: UNIONE LEGNO-LEGNO

### Verifica resistenza elementi

$f_{t,0,d,1} = k_{mod1} f_{t,0,k,1} / \gamma_{M1} =$	8.62 MPa
$A_{net,1} = 2t_1(h_1 - 2d) =$	26880 mm <sup>2</sup>
$\sigma_{t,0,d,1} = F_d / A_{net,1} =$	2.96 MPa
$\sigma_{t,0,d,1} / f_{t,0,d,1} =$	<b>0.34</b> < 1
$f_{t,0,d,2} = k_{mod2} f_{t,0,k,2} / \gamma_{M2} =$	8.62 MPa
$A_{net,2} = t_2(h_2 - 2d) =$	23520 mm <sup>2</sup>
$\sigma_{t,0,d,2} = F_d / A_{net,2} =$	3.4 MPa
$\sigma_{t,0,d,2} / f_{t,0,d,2} =$	<b>0.39</b> < 1

### Interassi e distanze minime

$a_{1,min} = (4+3)d =$	112 mm
$a_{2,min} = 4d =$	64 mm
$a_{3,t,min} = \max(7d; 80\text{mm}) =$	112 mm
$a_{4,min} = 3d =$	48 mm

## ESEMPIO 1: UNIONE LEGNO-LEGNO

### Scorrimenti

$\rho_k = \text{rad}q(\rho_{k1}\rho_{k2}) =$	350 kg/m <sup>3</sup>
$K_{ser} = Nsp_k^{1,5} d / 20 =$	62860 Nmm
$k_{def} = 2\text{rad}q(k_{def1}k_{def2}) =$	1.6
$u_{ist} = 1 + F_{SLE,rara} / K_{ser} =$	1.86 mm
$u'_{ist} = F_{SLE,q.p.} / K_{ser} =$	0.41 mm
$u_{dif} = u'_{ist} k_{def} =$	0.66 mm
$u_{fin} = u_{ist} + u_{dif} =$	2.52 mm

## ESEMPIO 2: UNIONE LEGNO-LEGNO

### Unione Bullonata legno-legno 2

#### Forza sollecitante

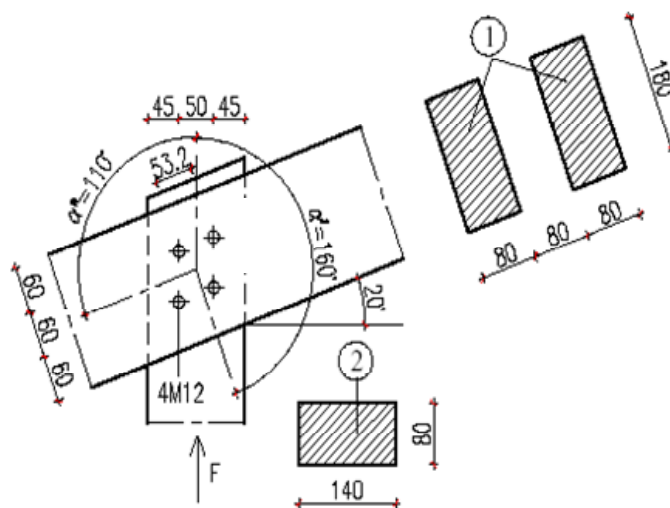
$G_k =$	10.0 kN
$Q_k =$	11.0 kN
$F_d = 1,4G_k + 1,5Q_k =$	30.5 kN
$F_{SLE,rara} = G_k + Q_k =$	21.0 kN
$\Psi_2 \text{ (neve)} =$	0.0 kN
$F_{SLE,q,p} = G_k + \Psi_2 Q_k =$	10.0 kN

#### Classe di servizio

II

#### Classe di durata del carico

Breve dur.



## ESEMPIO 2: UNIONE LEGNO-LEGNO

#### Caratteristiche elemento 1

Legno di abete classe C24

$t_1 =$	80 mm
$h_1 =$	180 mm
$\rho_{k1} =$	350 kg/m <sup>3</sup>
$\rho_{m1} =$	420 kg/m <sup>3</sup>
$f_{t,0,k,1} =$	14 MPa
$\gamma_{M1} =$	1.30 -
$k_{mod1} =$	0.90
$k_{def1} =$	0.90

#### Caratteristiche elemento 2

Legno di abete classe C24

$t_2 =$	80 mm
$h_2 =$	140 mm
$\rho_{k2} =$	350 kg/m <sup>3</sup>
$\rho_{m2} =$	420 kg/m <sup>3</sup>
$f_{t,0,k,2} =$	14 MPa
$\gamma_{M2} =$	1.30 -
$k_{mod2} =$	0.90
$k_{def2} =$	0.90

#### Caratteristiche bulloni

Classe:	6.8
$f_{u,k} =$	600 MPa
$d =$	12 mm
$\gamma_s =$	1.1
Rondelle	
$d_r =$	60 mm
$f_{c,90,k} =$	2.5 MPa
$\sigma_{e,90,k} =$	7.5 MPa

## ESEMPIO 2: UNIONE LEGNO-LEGNO

### Verifica resistenza unione

$\alpha_2 = (\text{ang. tra direz. forza e dir. fibr. el. 2})$	$0^\circ$
$a_{1,2\min} = (4+3 \mid \cos\alpha_2 \mid )d =$	84 mm
$a_{1,2} =$	63.8 mm $< a_{1,2\min}$ ; $a_{1,2} > 4d$
$\rightarrow$ fattore riduttivo $k_a$	
$k_{a2} = \text{radq}[a_{1,2}/a_{1,2\min}] =$	0.87
$f_{h,0,k,2} = 0,082(1+0,01d)\rho_{k1} =$	25.3 MPa
$f_{h,2,k} = k_{a2} f_{h,0,k,2} =$	22.0 MPa
$f_{h,0,k,1} = 0,082(1+0,01d)\rho_{k1} =$	25.3 MPa
$\alpha_1 = (\text{ang. tra direz. forza e dir. fibr. el. 1})$	$70^\circ$
$a_{1,1\min} = (4+3 \mid \cos\alpha_2 \mid )d =$	60 mm
$a_{1,1} =$	53.2 mm $< a_{1,1\min}$
$k_{a1} = \text{radq}[a_{1,2}/a_{1,2\min}] =$	0.94
$k_{90} = 1,35+0,015d =$	1.53
$f_{h,70,k,1} = f_{h,0,k,1} / (k_{90} \text{sen}^2\alpha_1 + \text{cos}^2\alpha_1) =$	17.2
$f_{h,1,k} = k_{a1} f_{h,70,k,1} =$	16.2 MPa
$\beta = f_{h,2,k} / f_{h,1,k} =$	1.36

## ESEMPIO 2: UNIONE LEGNO-LEGNO

$M_{y,k} = 0,3 f_{u,k} d^{2.6} =$	115118 Nmm
$F_{ax,Rk} = \sigma_{c,90,k} \pi (d_r^2 - d^2) / 4$	20.36 kN
$R_{k1} = f_{h,1,k} t_1 d =$	16.52 kN
$R_{k2} = 0,5 f_{h,1,k} t_2 d \beta =$	11.25 kN
$R'_{k3} = [f_{h,1,k} t_1 d / (2+\beta)] \{ \text{radq}[2\beta(1+\beta) +$ $+ 4\beta(2+\beta) M_{y,k} / f_{h,1,k} d t_1^2] - \beta \} =$	7.23 kN
$R_{k3} = R'_{k3} + \min(F_{ax,Rk} / 4; 0.25 R'_{k3})$	9.04 kN
$R_{k4} = [1,1 \text{radq}(2\beta / (1+\beta))] *$ $* \text{radq}(2 M_{y,k} f_{h,1,k} d) =$	8.15 kN
$R_{k4} = R'_{k4} + \min(F_{ax,Rk} / 4; 0.25 R'_{k4})$	10.18 kN
$R_d = \min\{R_{ki}\} k_{\text{mod}} / \gamma_M =$	6.26 kN
$s = \text{n}^\circ \text{ sezioni resistenti} =$	2
$n = \text{n}^\circ \text{ di el. allineati} =$	2
$N = \text{n}^\circ \text{ bulloni} =$	4

## ESEMPIO 2: UNIONE LEGNO-LEGNO

$$R_d = \min\{R_{ki}\} k_{mod}/\gamma_M = 6.26 \text{ kN}$$

$$s = n^\circ \text{ sezioni resistenti} = 2$$

$$n = n^\circ \text{ di el. allineati} = 2$$

$$N = n^\circ \text{ bulloni} = 4$$

$$a_1 = a_{1,2} = 64 \text{ mm}$$

$$k_{ef} = \min\{1; (a_1/13d)^{1/4}/n^{0,1}\} = 0.746$$

$$R_{unione} = R_d k_{ef} N s = 37.4 \text{ kN}$$

$$F_d/R_{unione} = 0.82 < 1$$

## ESEMPIO 2: UNIONE LEGNO-LEGNO

### Verifica di spacco trasversale elemento 1

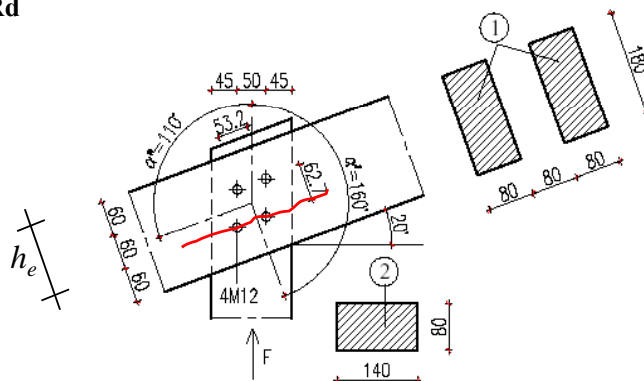
$$h_e = 120 \text{ mm}$$

$$F_{90,Rk} = 14b \text{ rad} q(h_e/(1-h_e/h)) = 21.25 \text{ kN}$$

$$F_{90,Rd} = F_{90,Rk} k_{mod}/\gamma_M = 14.71 \text{ kN}$$

$$V_{max} = F_d \text{ sen}\alpha_1/2/s = 7.16 \text{ kN}$$

$$V_{max}/F_{90,Rd} = 0.49 < 1$$





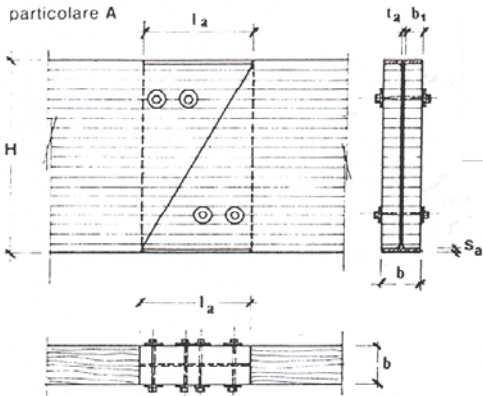
## ESEMPIO 2: UNIONE LEGNO-LEGNO

### Scorrimenti

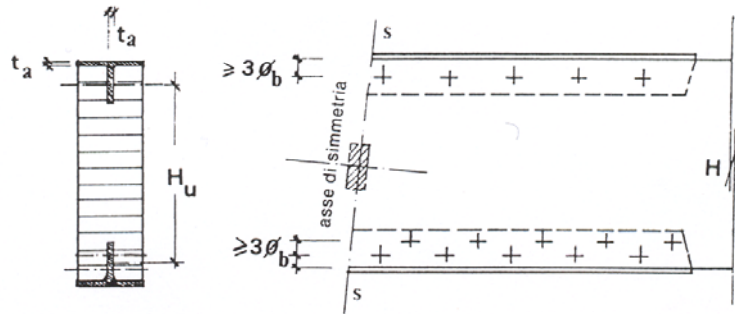
$$\begin{aligned} \rho_k &= \text{rad}q(\rho_{k1}\rho_{k2}) = && 350 \text{ kg/m}^3 \\ K_{\text{ser}} &= N_s \rho_k^{1,5} d/20 = && 31430 \text{ Nmm} \\ k_{\text{def}} &= 2 \text{rad}q(k_{\text{def1}} k_{\text{def2}}) = && 1.8 \\ u_{\text{ist}} &= 1 + F_{\text{SLE,rara}}/K_{\text{ser}} = && 1.67 \text{ mm} \\ u'_{\text{ist}} &= F_{\text{SLE,q.p.}}/K_{\text{ser}} = && 0.32 \text{ mm} \\ u_{\text{dif}} &= u'_{\text{ist}} k_{\text{def}} = && 0.57 \text{ mm} \\ u_{\text{fin}} &= u_{\text{ist}} + u_{\text{dif}} = && 2.24 \text{ mm} \end{aligned}$$

## TIPOLOGIE DI UNIONE

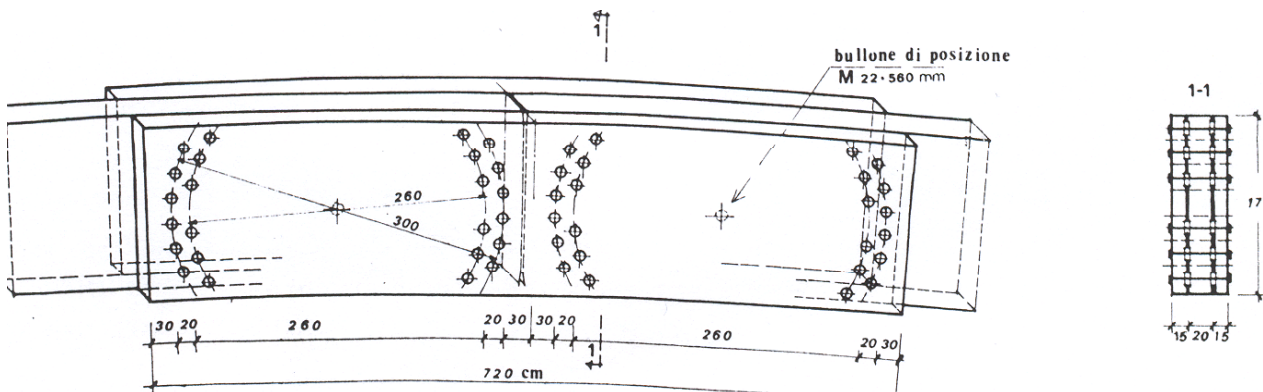
### A TAGLIO



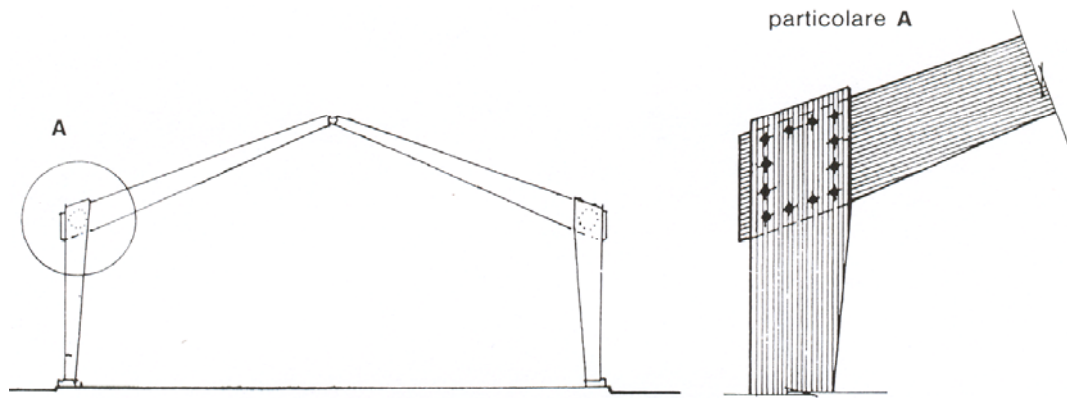
### A TAGLIO-FLESSIONE



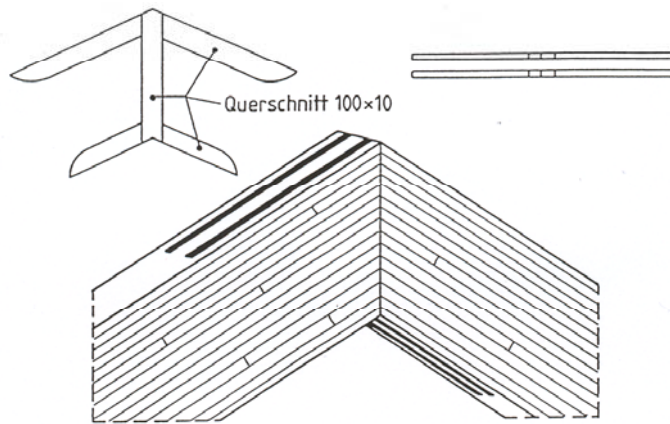
### A TAGLIO-FLESSIONE



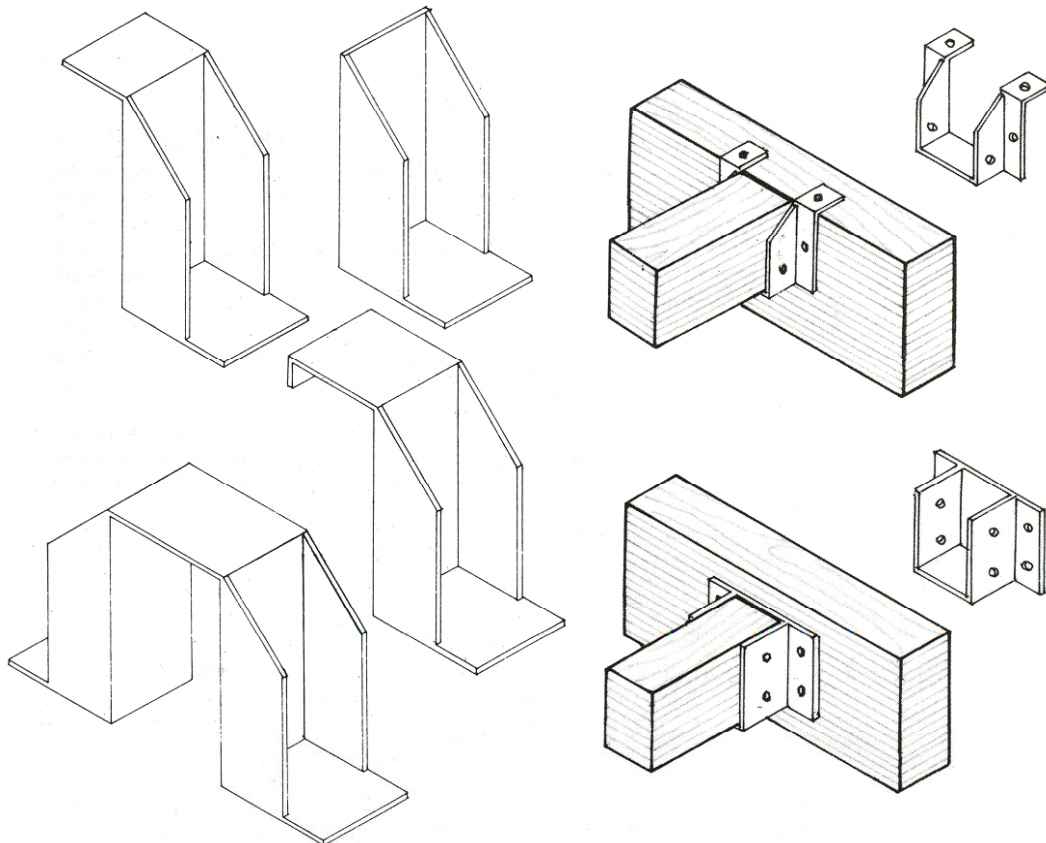
# TIPOLOGIE DI UNIONE



**FLESSIONE  
TAGLIO E  
SFORZO  
NORMALE**

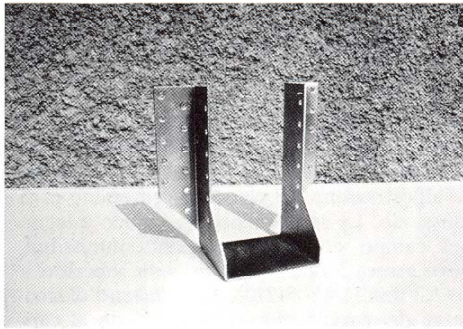


# APPOGGI A SCARPA METALLICA

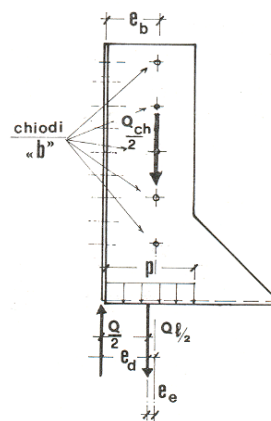
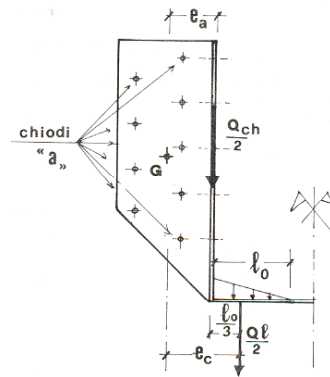
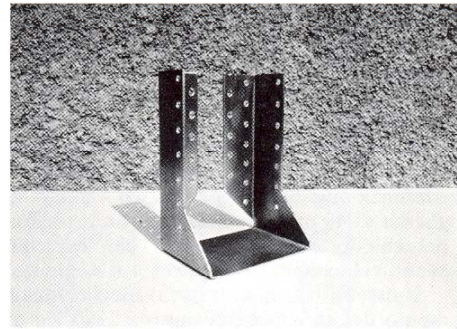


# SCARPA PER ARCARECCI

Tipo A  
Scarpa ad ali esterne



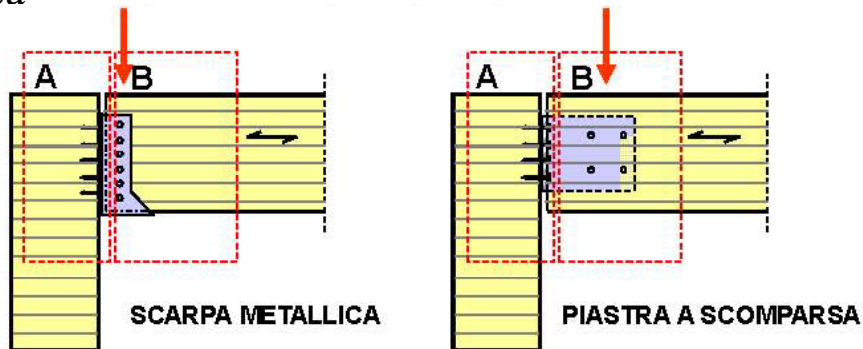
Tipo B  
Scarpa ad ali interne



## ESEMPIO UNIONE TRAVE-TRAVE

Unione tipo A: trave principale-piastra/scarpa metallica

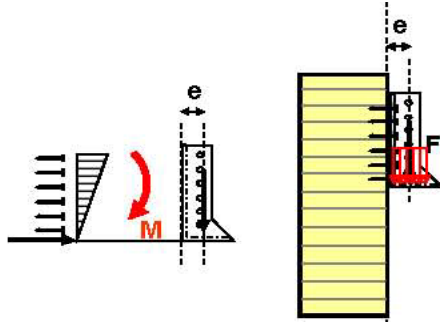
Unione tipo B: trave secondaria-piastra/scarpa metallica



Nel dimensionamento delle unioni è necessario tener conto delle eccentricità di carico

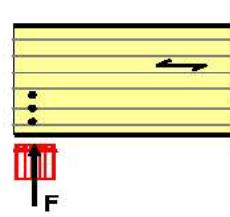
## ESEMPIO UNIONE TRAVE-TRAVE

Unione tipo A



Unione legno-acciaio soggetta a taglio e momento flettente (per rigidezza torsionale trave principale)

Unione tipo B

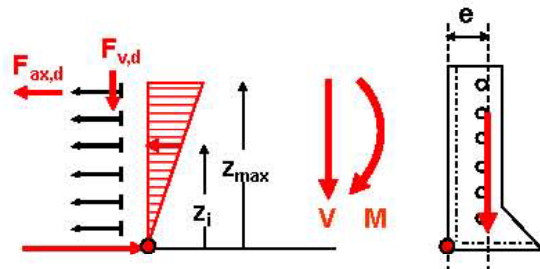


Unione legno-acciaio per contatto  
Unione legno-acciaio chiodata o bullonata ad un piano di taglio

## ESEMPIO UNIONE TRAVE-TRAVE

Unione tipo A: Possibile modello di calcolo

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{ax,i} = z_i \cdot \frac{F_{ax,max}}{z_{max}} \\ M = \sum F_{ax,i} \cdot z_i = F_{ax,max} \cdot \frac{\sum z_i^2}{z_{max}} \end{array} \right.$$



Forza concentrata di compressione  
Forze di estrazione nei chiodi

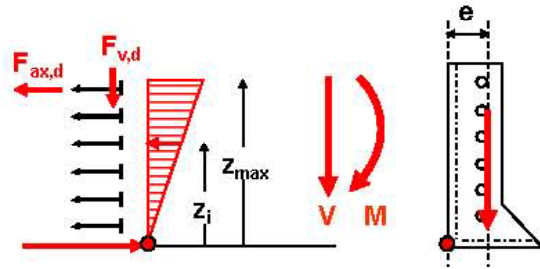
$$\left\{ \begin{array}{l} F_{ax,max} = M \cdot \frac{z_{max}}{\sum z_i^2} \\ F_{v,i} = \frac{V}{n} \end{array} \right.$$

Connessione chiodata legno-acciaio soggetta a taglio e momento flettente.  
Chiodi soggetti a sollecitazione combinata di taglio-trazione-

# ESEMPIO UNIONE TRAVE-TRAVE

Unione tipo A: Possibile modello di calcolo

$$\left\{ \begin{aligned} F_{ax,max} &= M \cdot \frac{z_{max}}{\sum z_i^2} \\ F_{v,i} &= \frac{V}{n} \end{aligned} \right.$$



Forza concentrata di compressione

Forze di estrazione nei chiodi

Verifica combinata

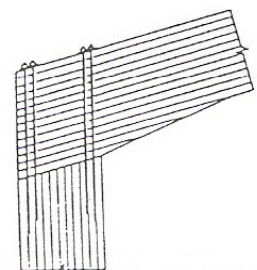
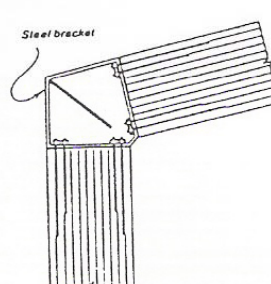
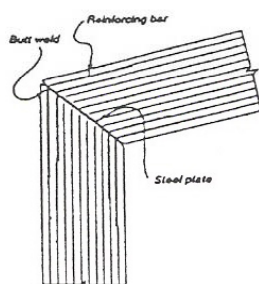
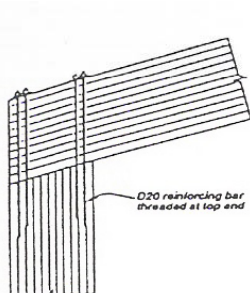
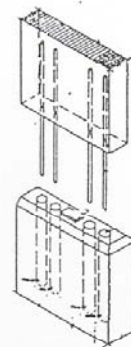
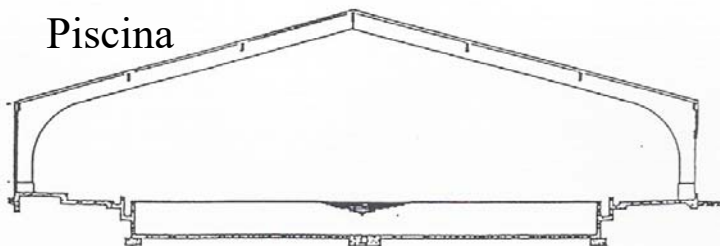
$$\left( \frac{F_{ax,d}}{R_{ax,d}} \right)^2 + \left( \frac{F_{v,d}}{R_{v,d}} \right)^2 \leq 1.0$$

Connessione chiodata legno-acciaio soggetta a taglio e momento flettente.

Chiodi soggetti a sollecitazione combinata di taglio-trazione-

## COLLEGAMENTI CON BARRE INCOLLATE

Buchanan-Fairweather 1989 -  
Piscina

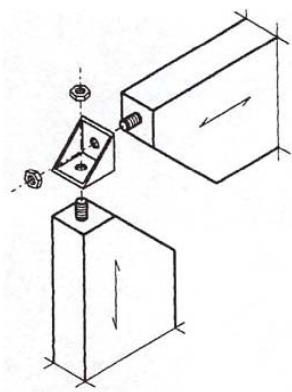


Buchanan-Fairweather 1992

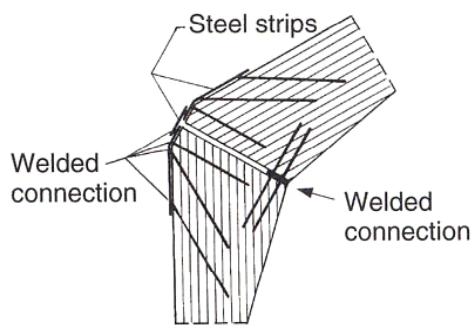




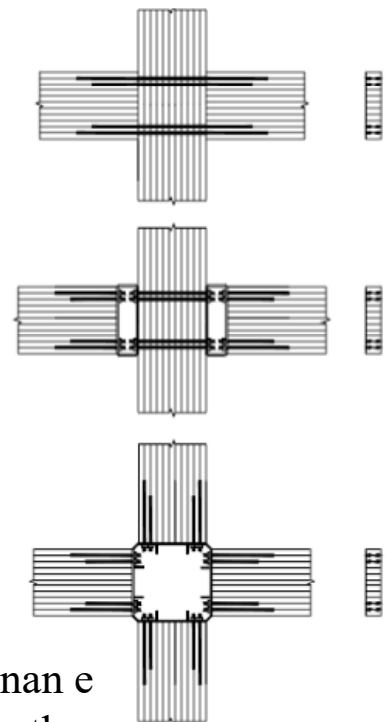
Collegamento angoli di portale (Buchanan)



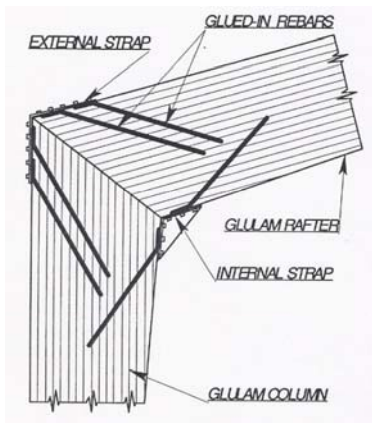
Bainbridge,  
Mettem,  
Harvey, Ansell  
2002



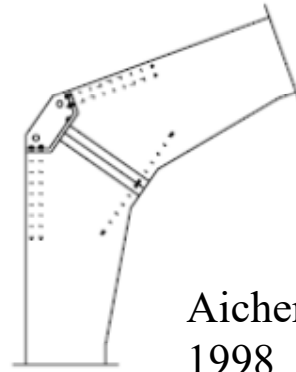
Turkovski  
1991



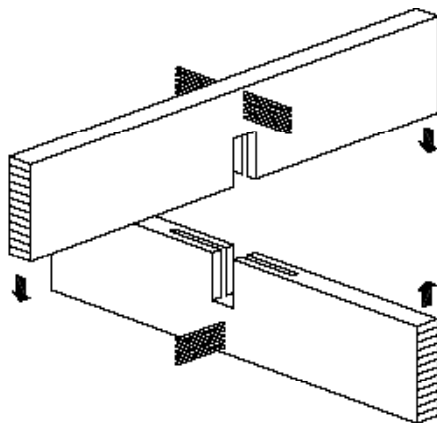
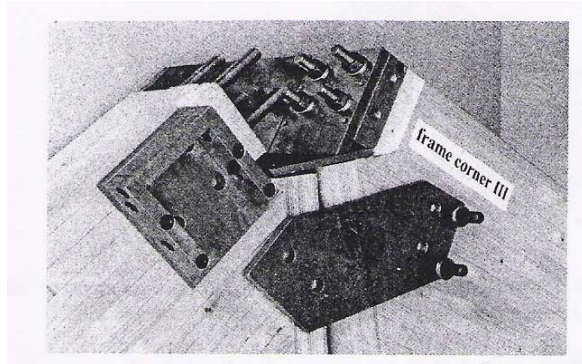
Buchanan e  
Fairweather



Madsen 1996

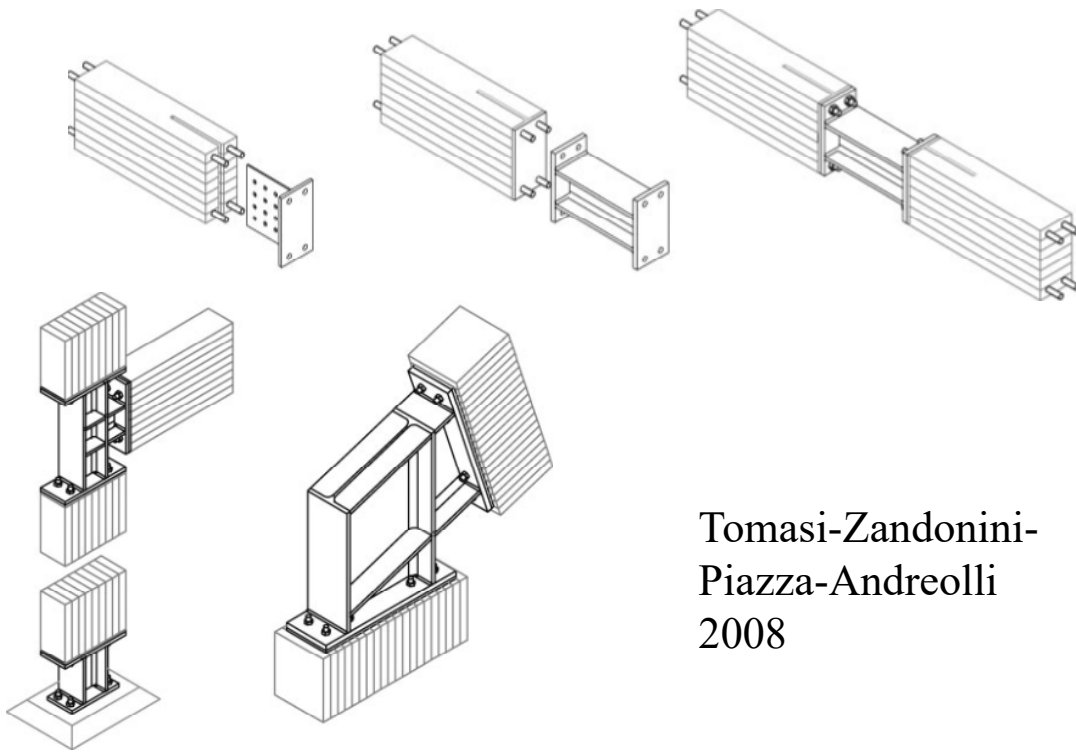


Aicher-Herr  
1998



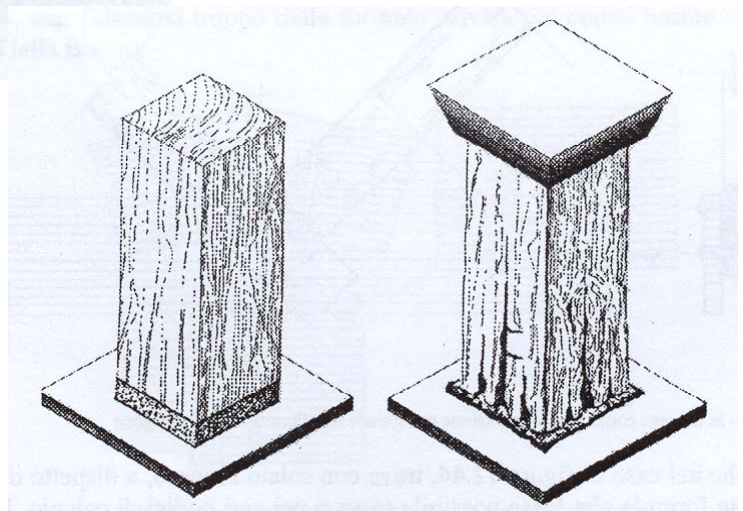
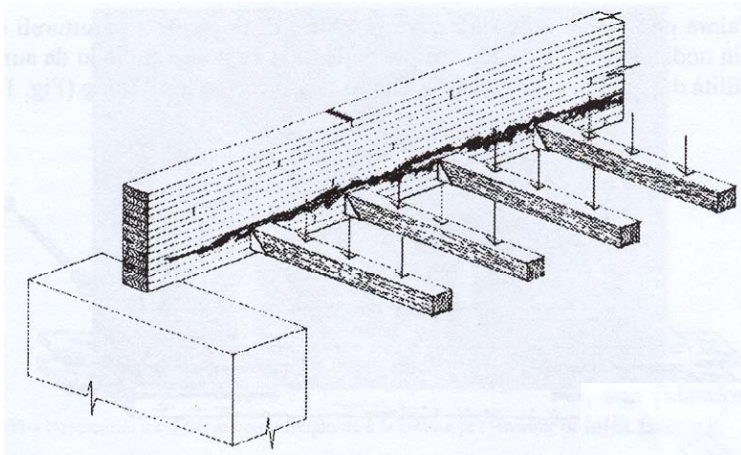
Piazza-Ballerini  
2000





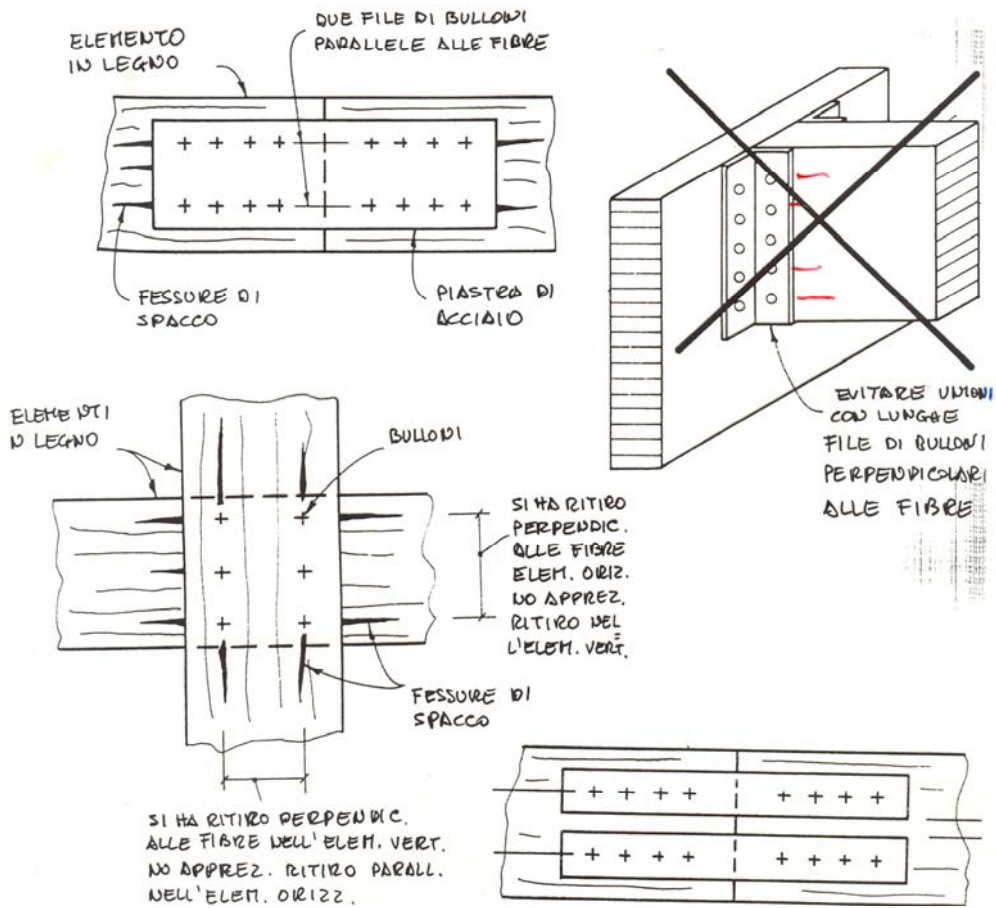
Tomasi-Zandonini-  
Piazza-Andreolli  
2008

## DETTAGLI COSTRUTTIVI



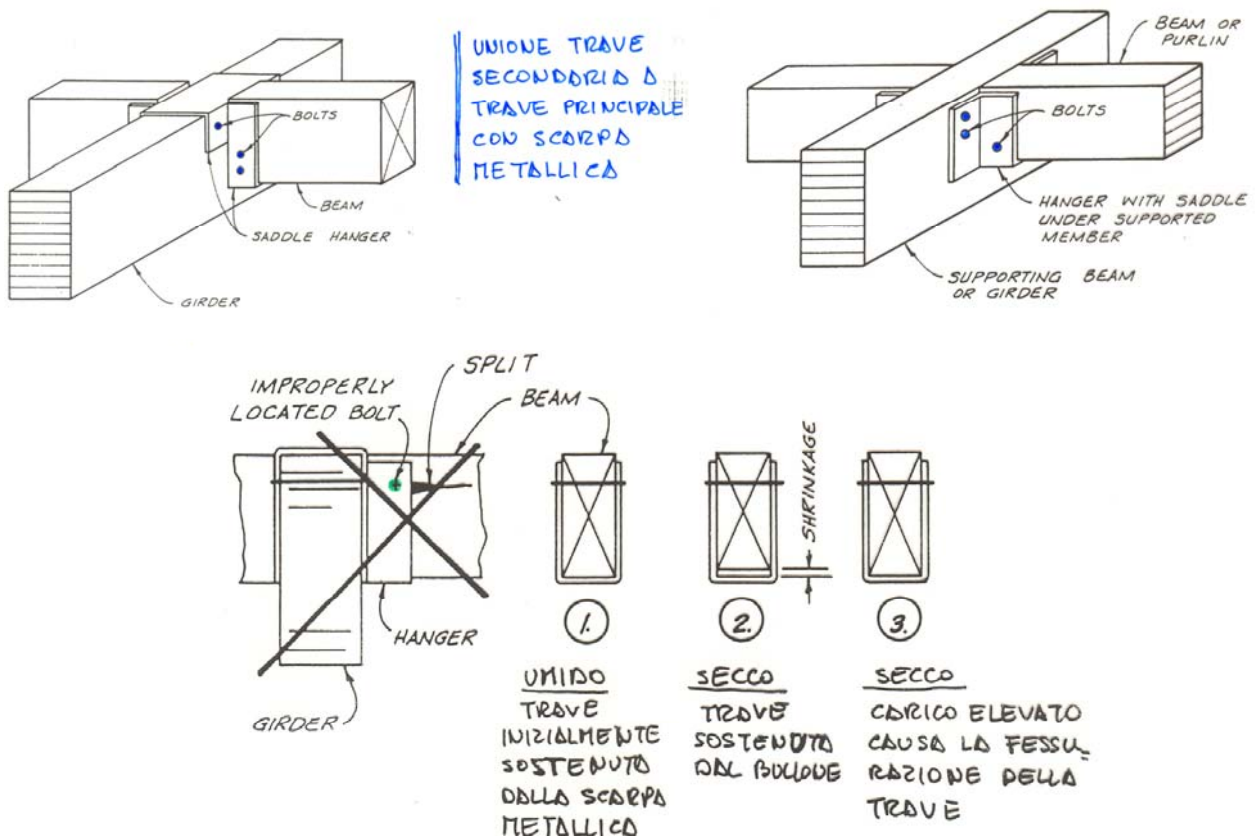


# DETTAGLI COSTRUTTIVI



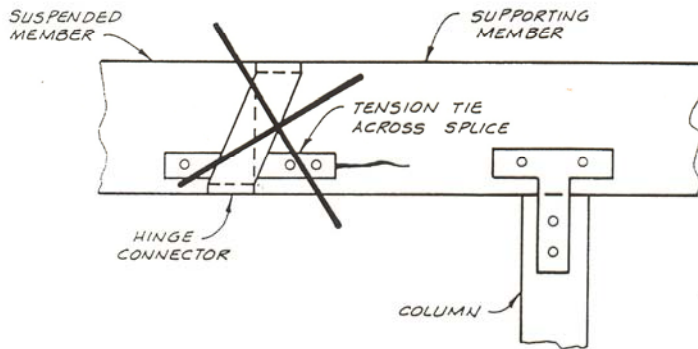
# DETTAGLI COSTRUTTIVI

ALCUNI DETTAGLI SU DIVERSE TIPOLOGIE DI UNIONE

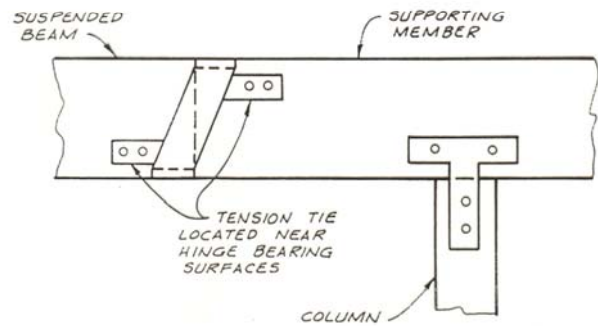


# DETTAGLI COSTRUTTIVI

## TYP CANTILEVER BEAM SYSTEM



## CANTILEVER CONNECTION



# DETTAGLI COSTRUTTIVI

