



CNR-DT 206/2007

**Istruzioni per il progetto, l'esecuzione ed il controllo delle
strutture di legno**

COLLEGAMENTI

Alessandra Gubana

Facoltà di Ingegneria - Università di Udine





INTRODUZIONE

Per l'assemblaggio di strutture di 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*)



INTRODUZIONE

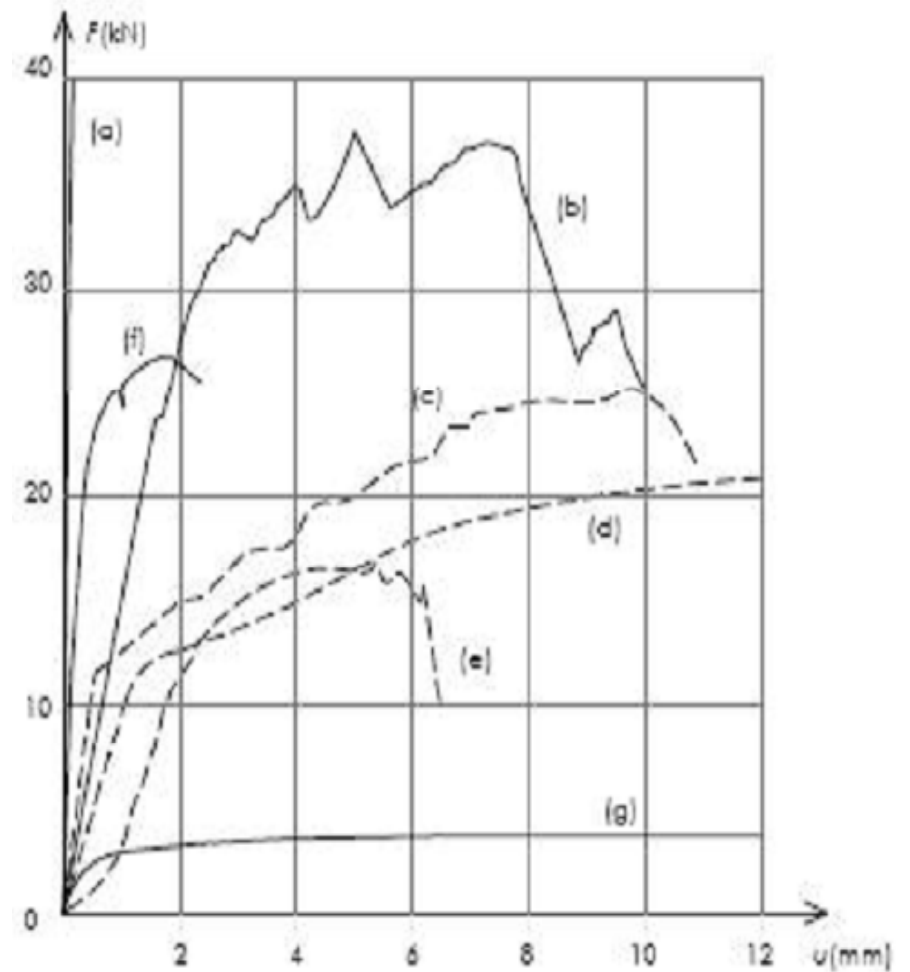
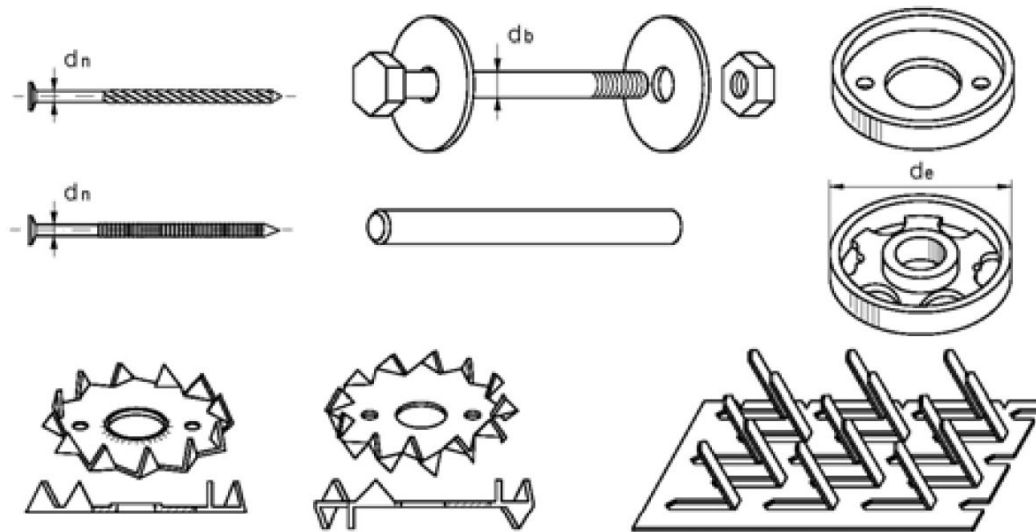
Le unioni meccaniche si possono suddividere in funzione della tipologia di connettore utilizzato

Connettori a gambo cilindrico (*chiodi, bulloni, spinotti, viti e cambre*) p.to 7.8

Connettori metallici di superficie (*caviglie, anelli, piastre dentate*) p.to 7.9

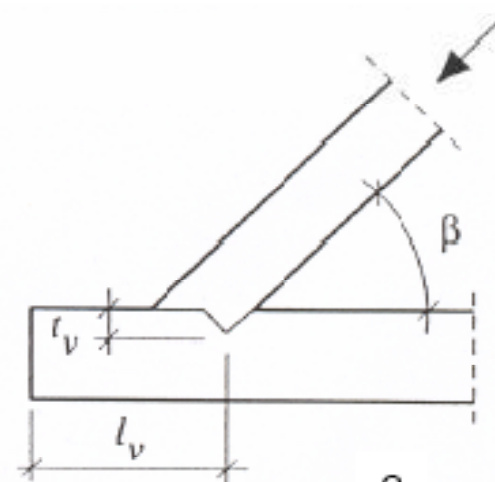
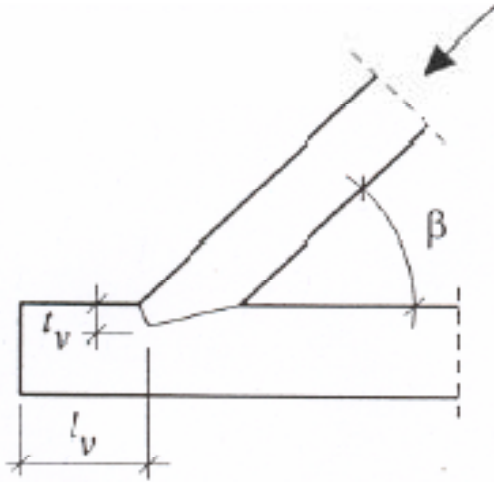
Elementi di acciaio incollati (*barre, piastre*) p.to 7.10

Connessioni trave-soletta in calcestruzzo p.to 7.12

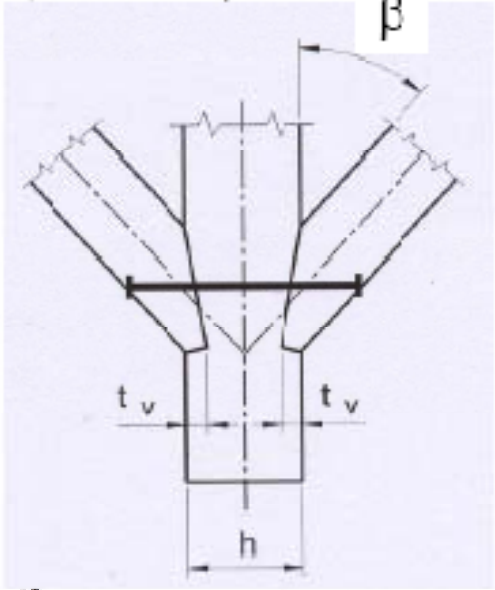
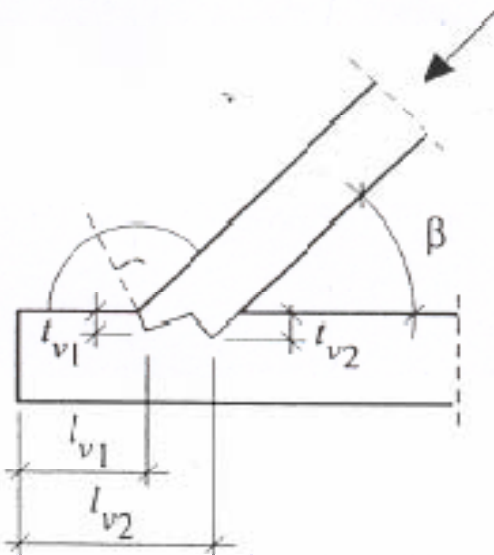




UNIONI DI CARPENTERIA (p.to 7.7)



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



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

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



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.

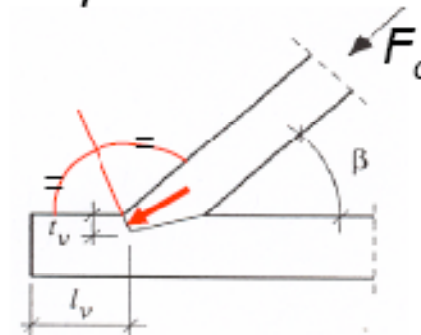
Esempio: verifiche necessarie per un collegamento ad incastro tra puntone e catena di una capriata in legno.

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 $\alpha = \beta/2$

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{F_d \cos^2 \alpha}{b_{ef} l_v}$$

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq f_{c,\alpha,d}$$



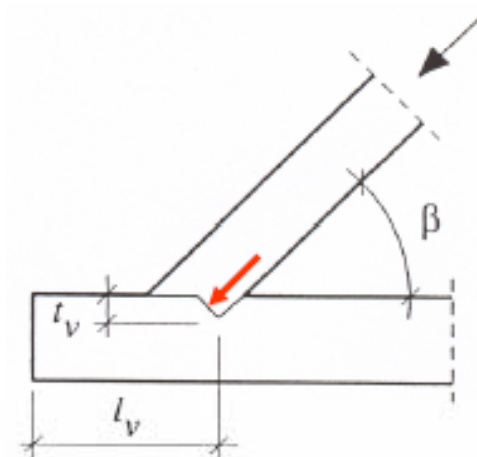


UNIONI DI CARPENTERIA

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 β

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





UNIONI DI CARPENTERIA

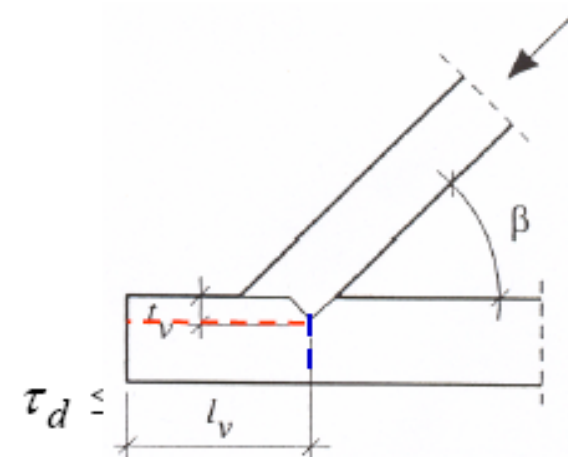
Verifica a trazione della catena

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

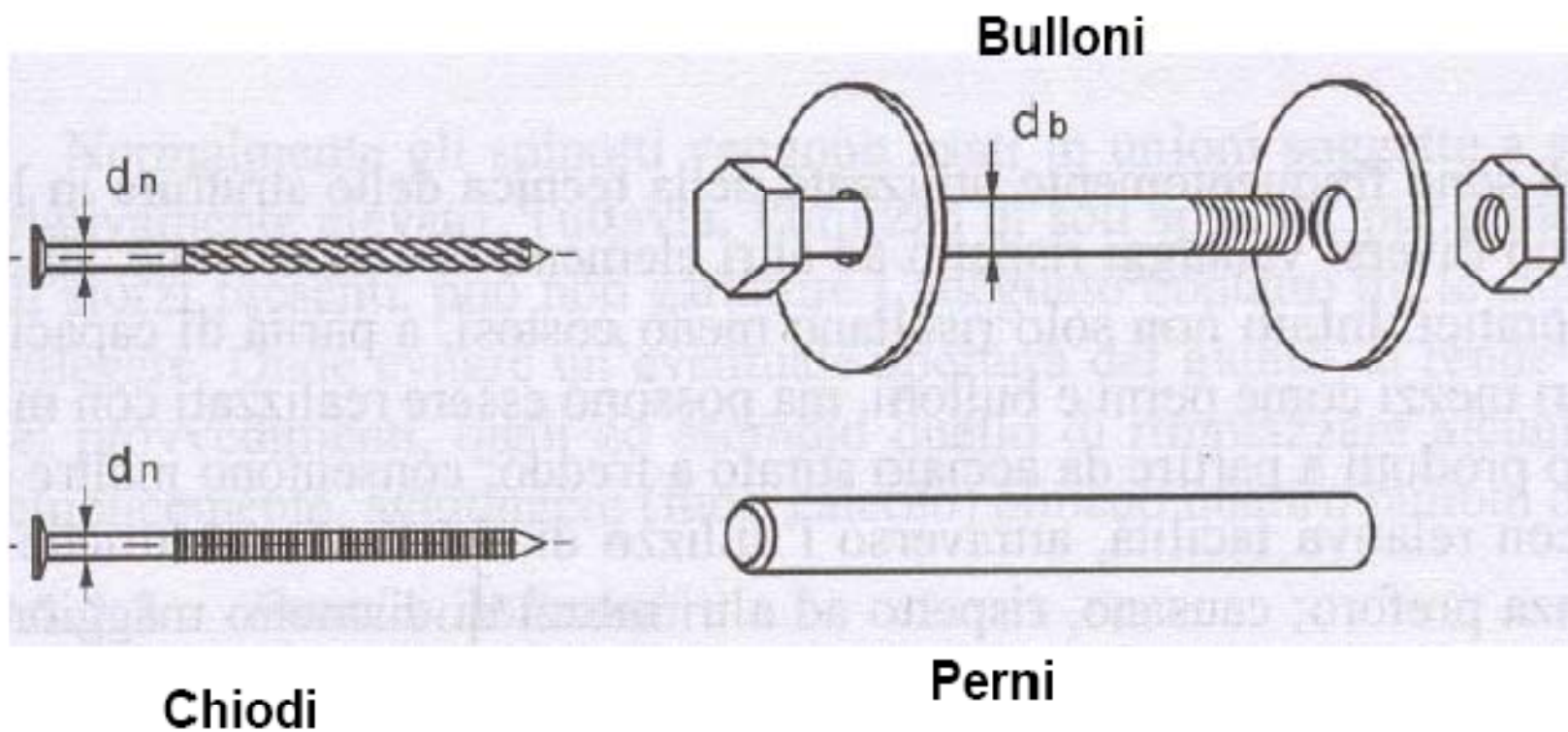
$$\tau_d = \frac{F_d \cos \beta}{b_{ef} l_v}$$



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

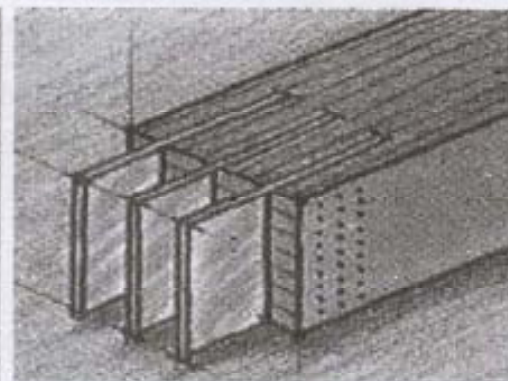
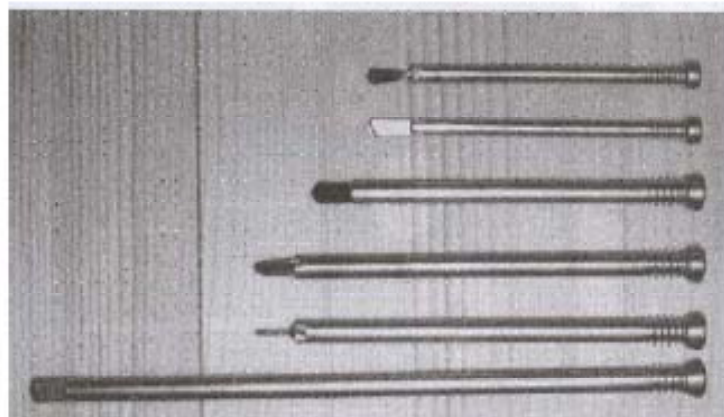


UNIONI A GAMBO CILINDRICO (p.to 7.8)





UNIONI A GAMBO CILINDRICO (p.to 7.8)



Perni
autoforanti

Viti
tradizionali



Viti
autofilettanti



Viti a doppio filetto
autofilettanti



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*)

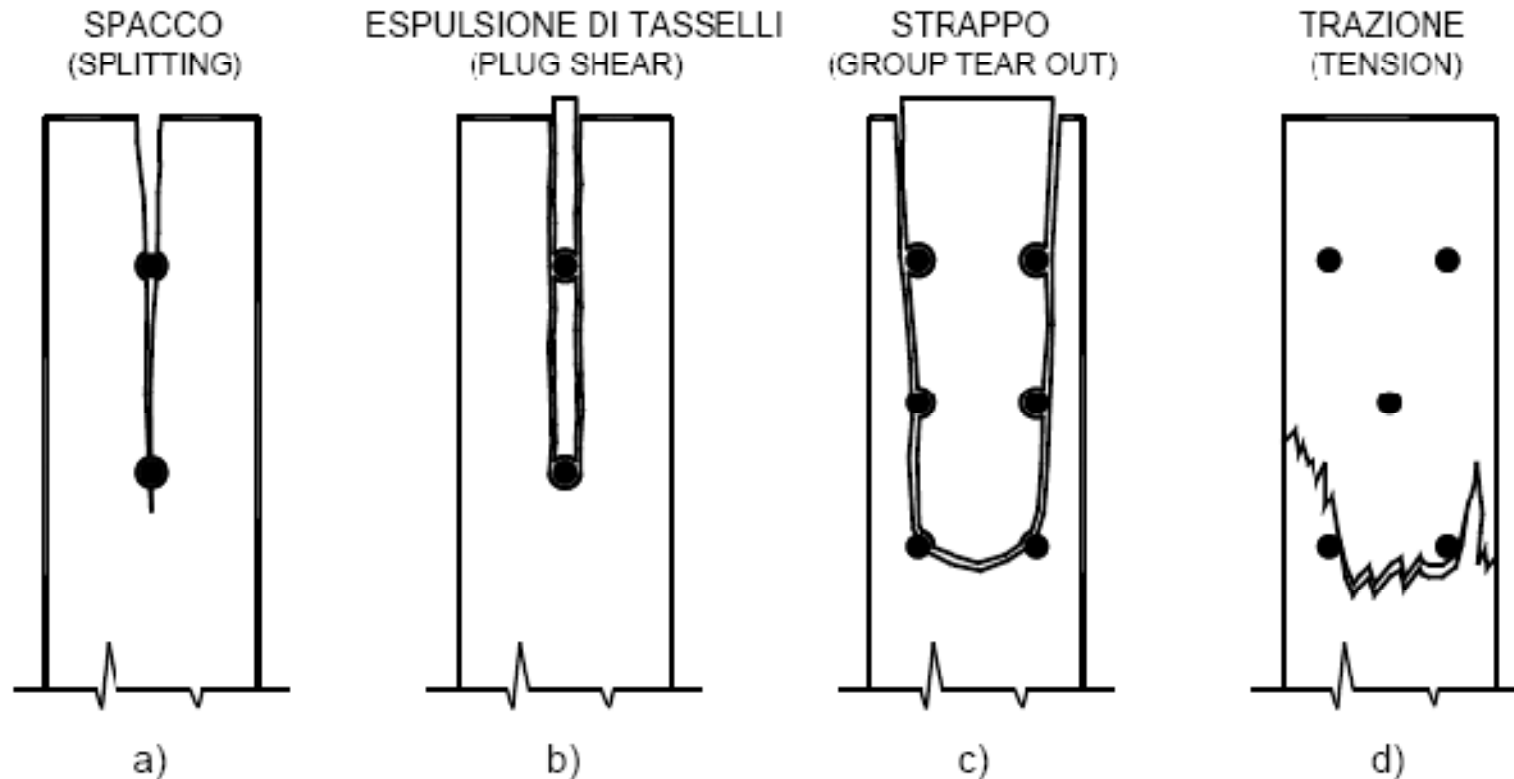
Si considerano i possibili meccanismi di collasso facendo l'ipotesi di comportamento rigido-plastico sia per il legno che per il connettore e si determina il carico limite (Johansen 1949)

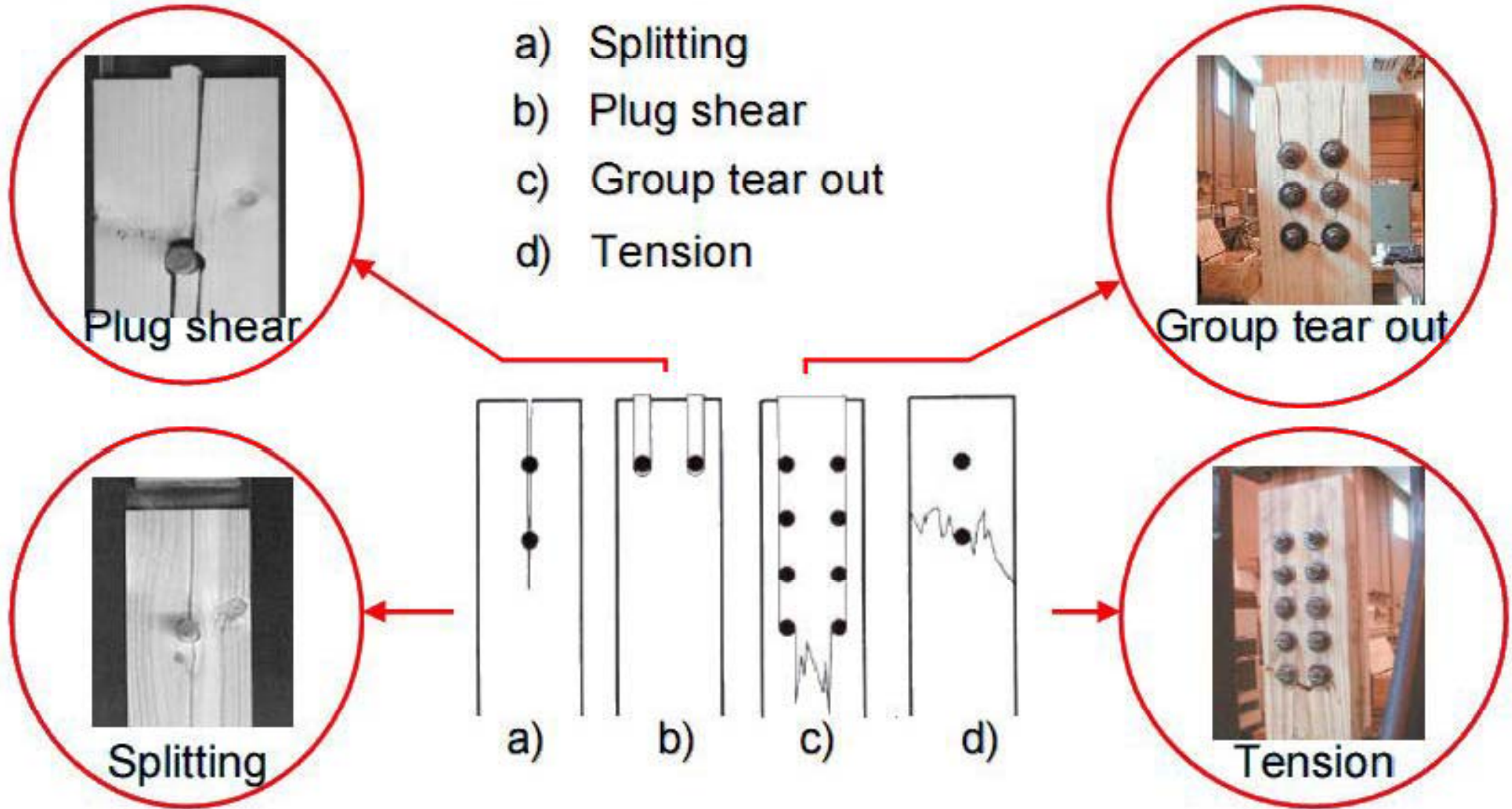




MECCANISMI FRAGILI

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

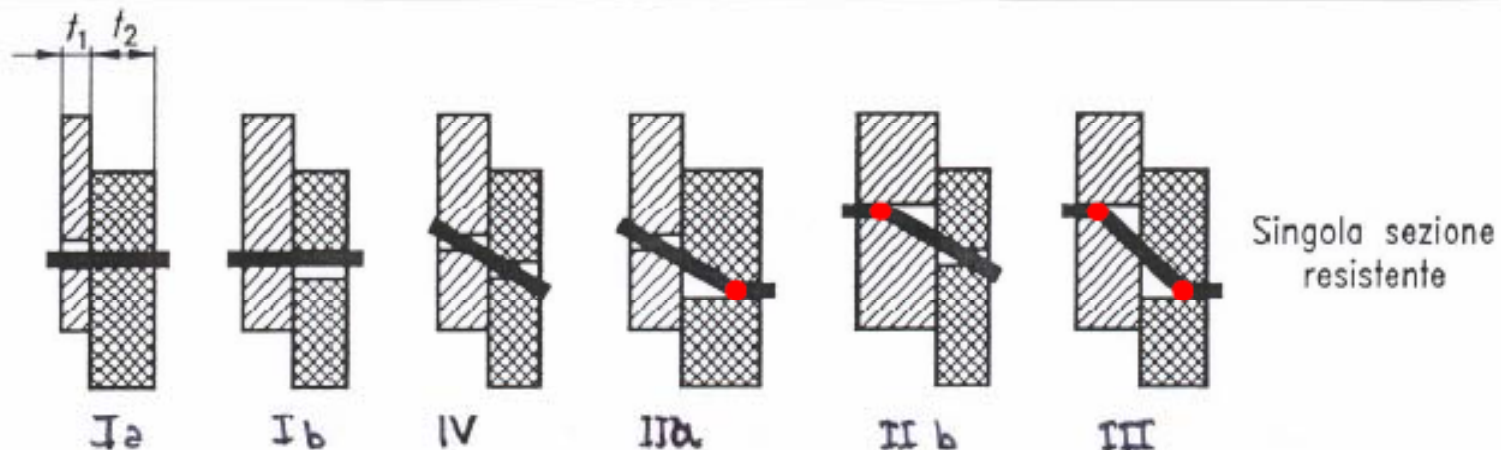






POSSIBILI MECCANISMI DI COLLASSO

- 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

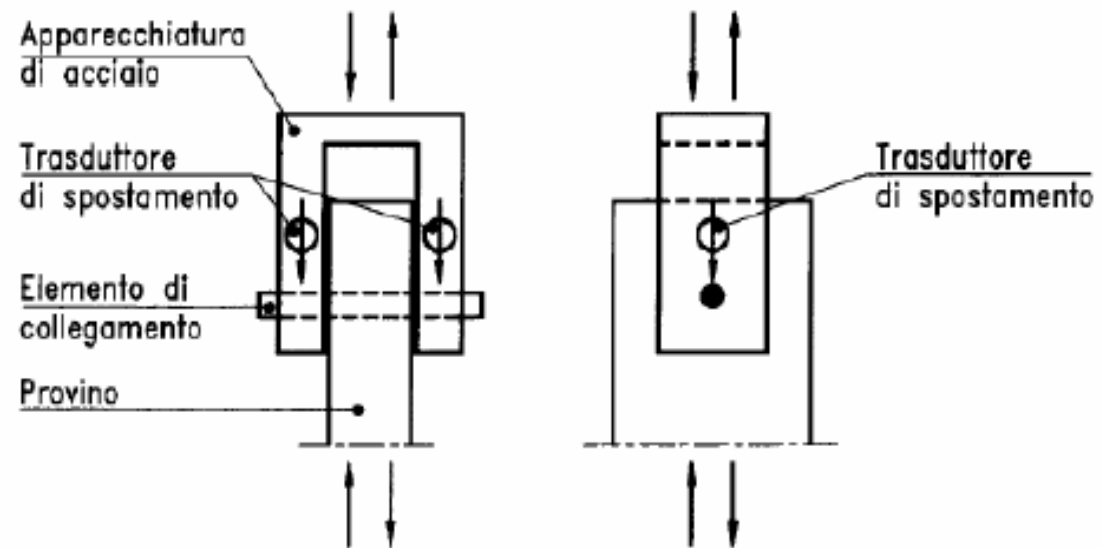
- Tensione di rifollamento del legno (*densità del legno, inclinazione con la direzione delle fibre, dimensione del connettore*)
- Momento plastico del connettore M_y
- Diametro e numero dei connettori d, n
- Spessore degli elementi di unione t_j
- Distanze fra i connettori e distanze dai bordi a_1,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

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 ρ_k in kg/m³)

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

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

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

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

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





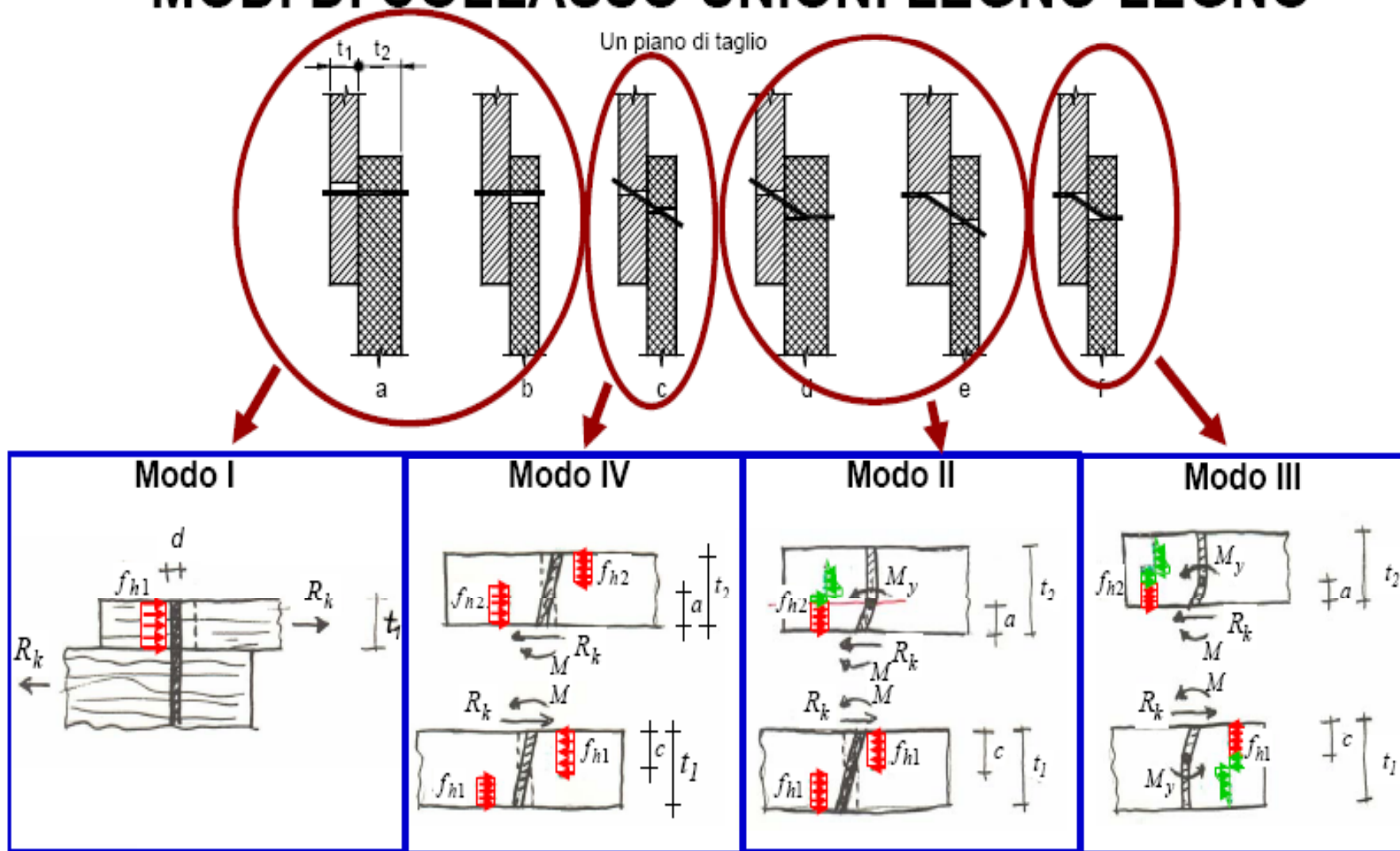
MOMENTO PLASTICO DEL CONNETTORE

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

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

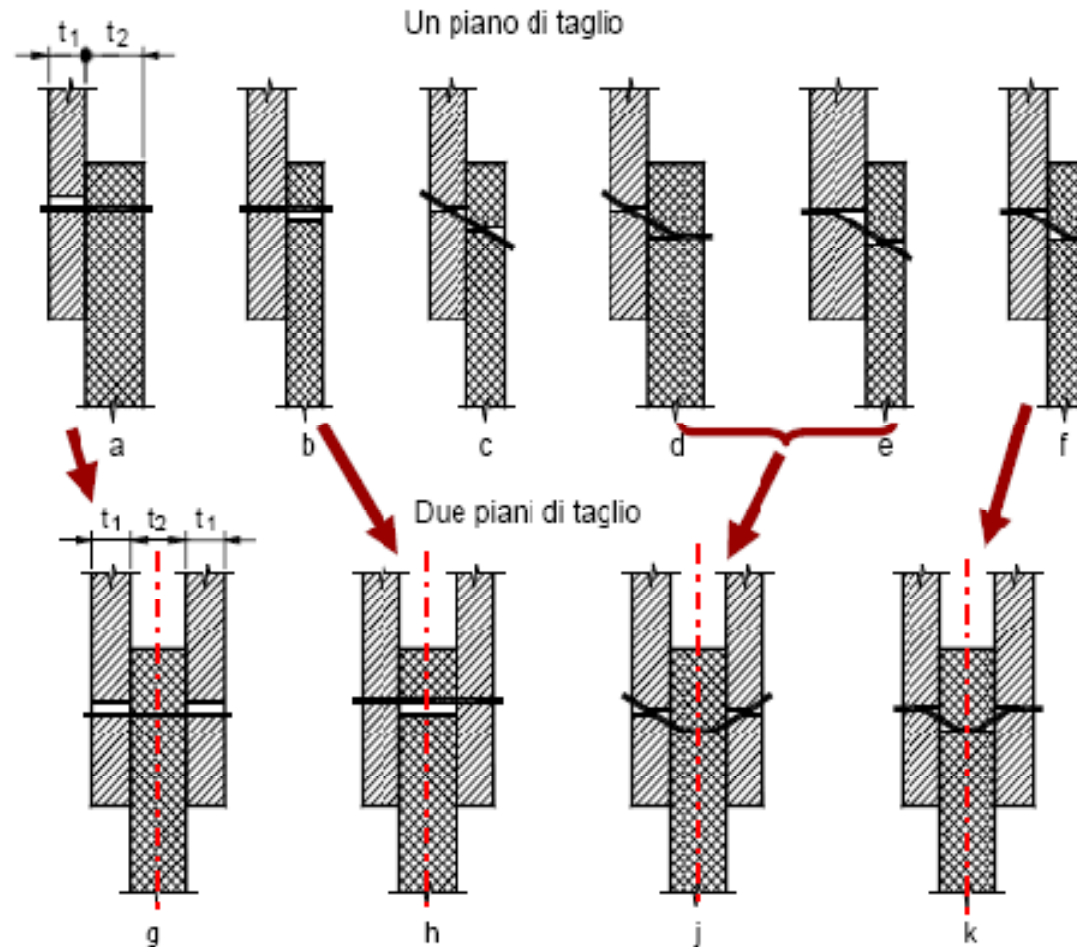


MODI DI COLLASSO UNIONI LEGNO-LEGNO





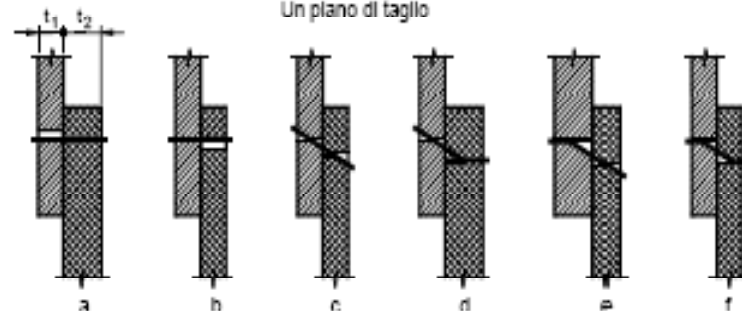
MODI DI COLLASSO UNIONI LEGNO-LEGNO





CAPACITA' PORTANTE (Unioni a un piano di taglio)

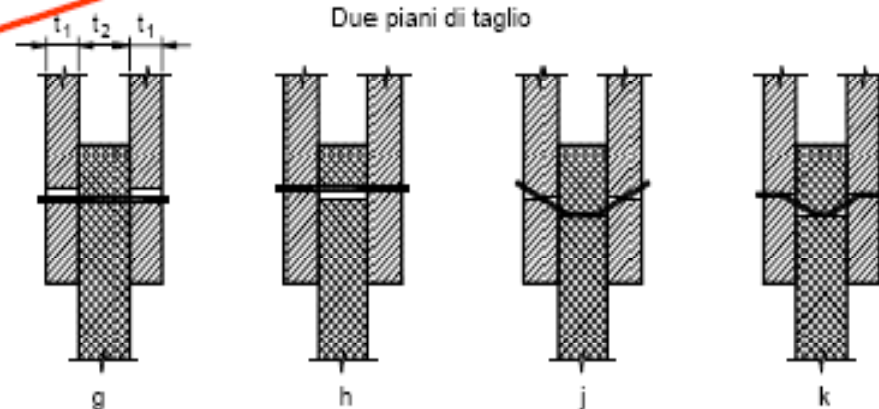
$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} t_1 d \quad (a) \\ f_{h,2,k} t_2 d \quad (b) \\ \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1}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





CAPACITA' PORTANTE (Unioni a due piani di taglio)

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



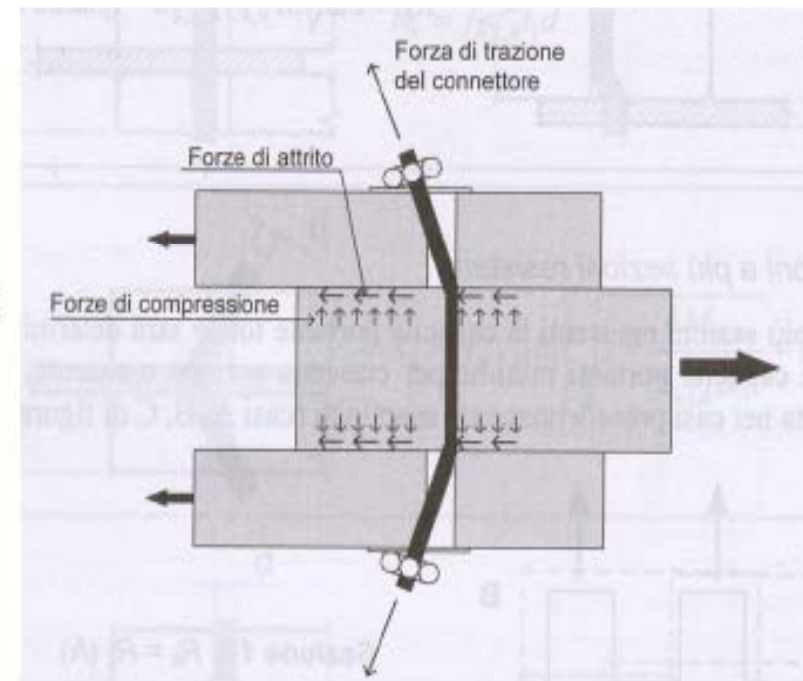
$F_{ax,Rk}$

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

CONTRIBUTO “EFFETTO TIRANTE”

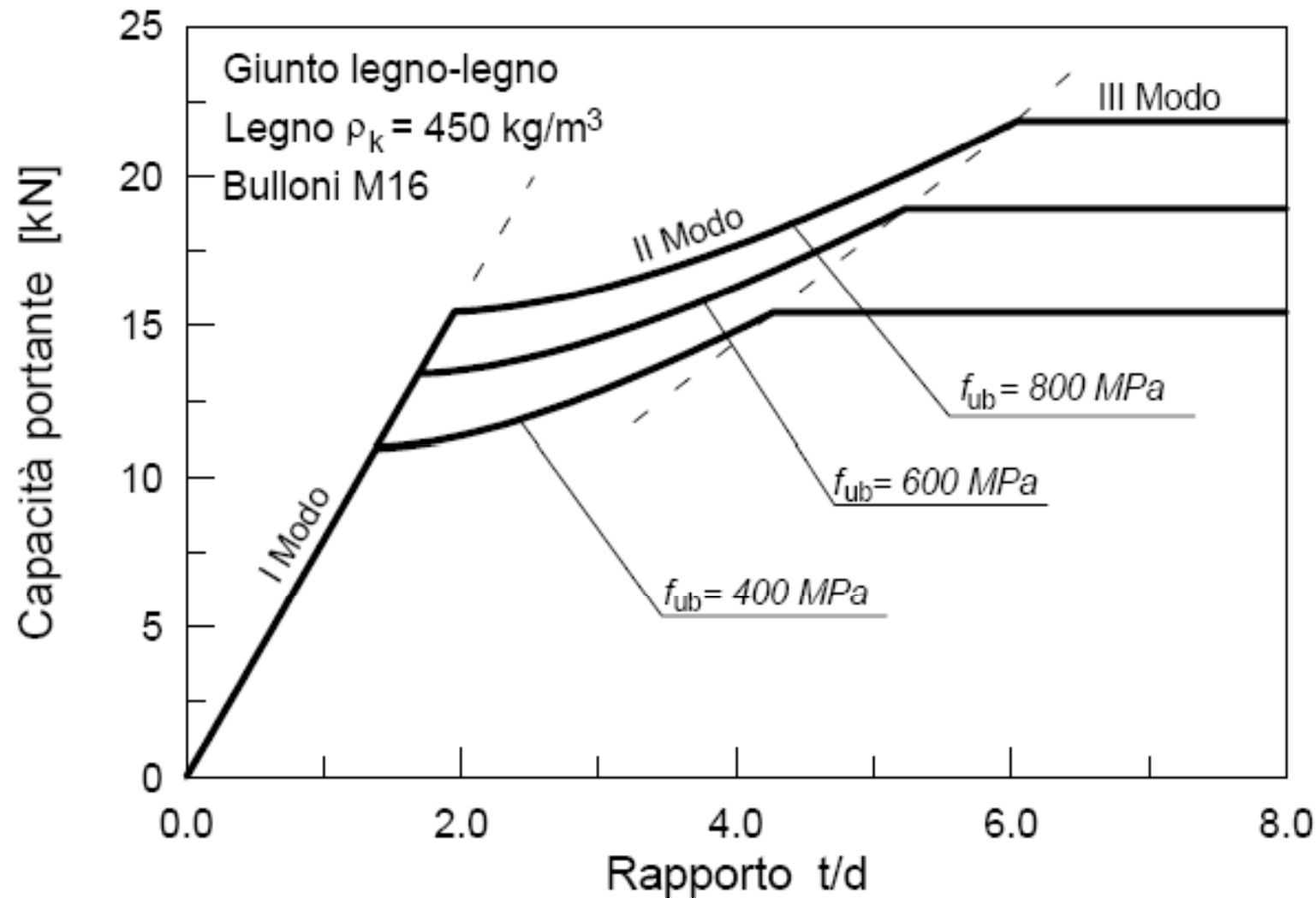
Il termine $F_{ax,Rk}/4$ non deve superare i valori indicati sotto come percentuale del contributo di Johansen

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





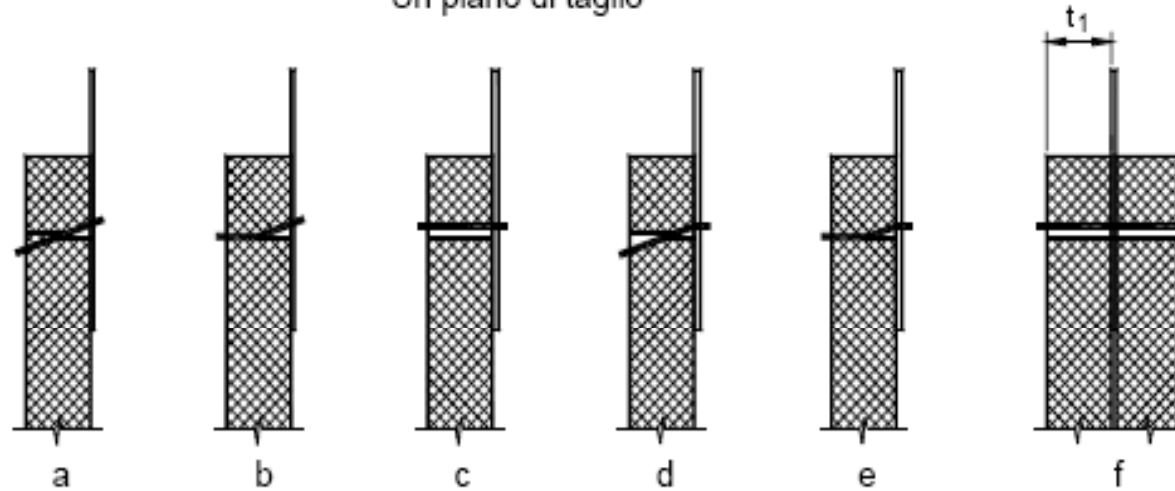
CAPACITA' PORTANTE UNIONI LEGNO-LEGNO



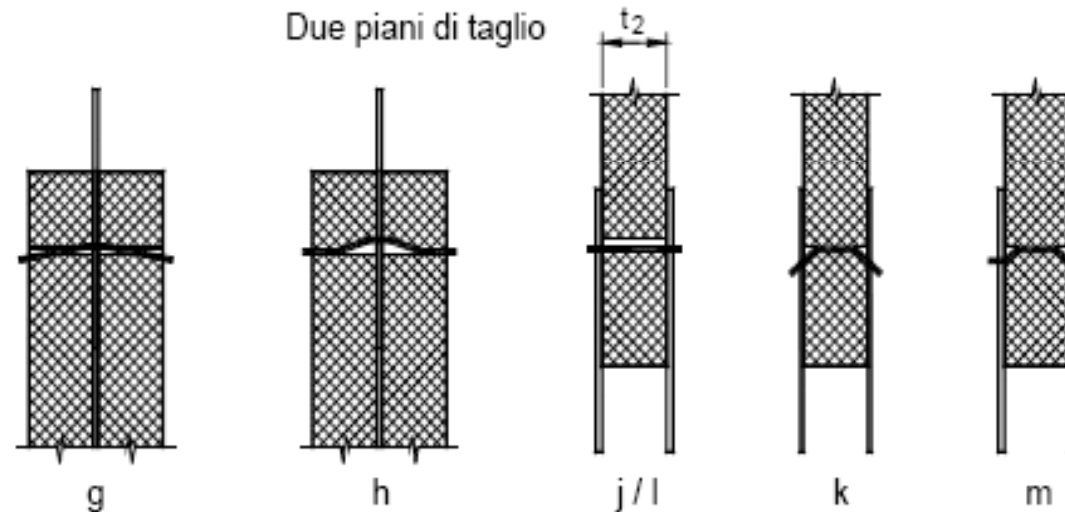


MODI DI COLLASSO UNIONI LEGNO-ACCIAIO

Un piano di taglio



Due piani di taglio



1.5%





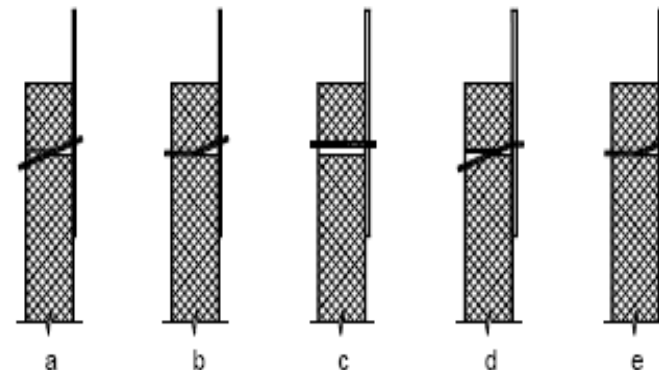
CAPACITA' PORTANTE (Unioni a un piano di taglio)

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*:

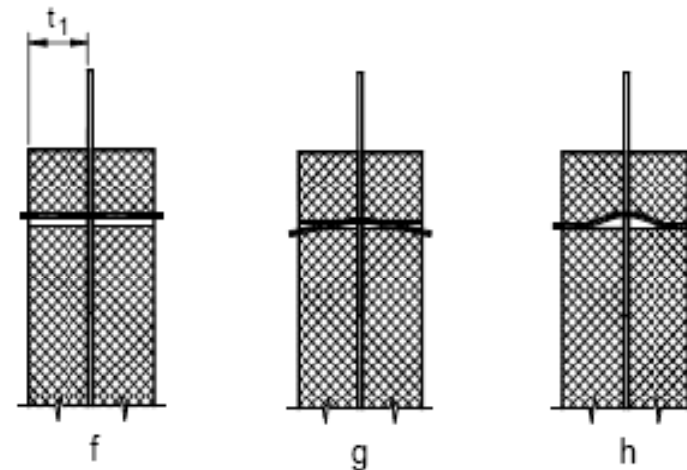
$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d & \text{(c)} \\ f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4 M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(d)} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(e)} \end{cases}$$



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:

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



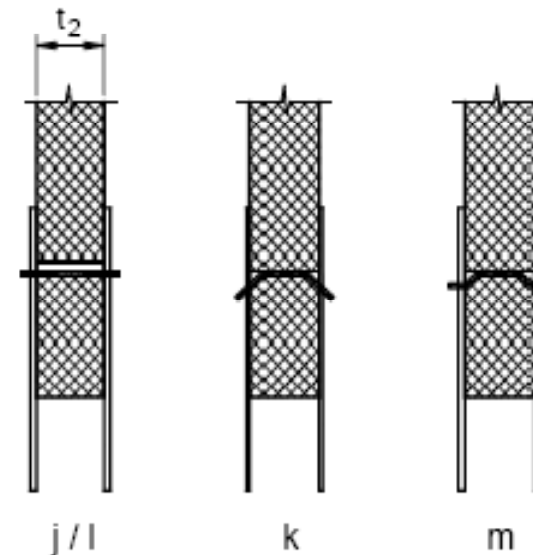
CAPACITA' PORTANTE (Unioni a due piani di taglio)

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

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

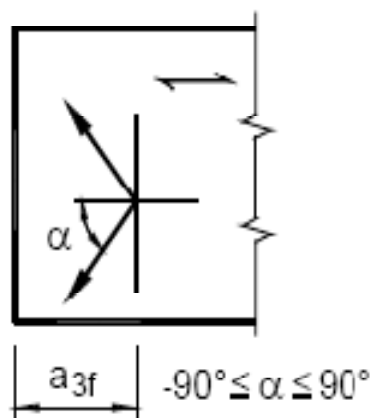
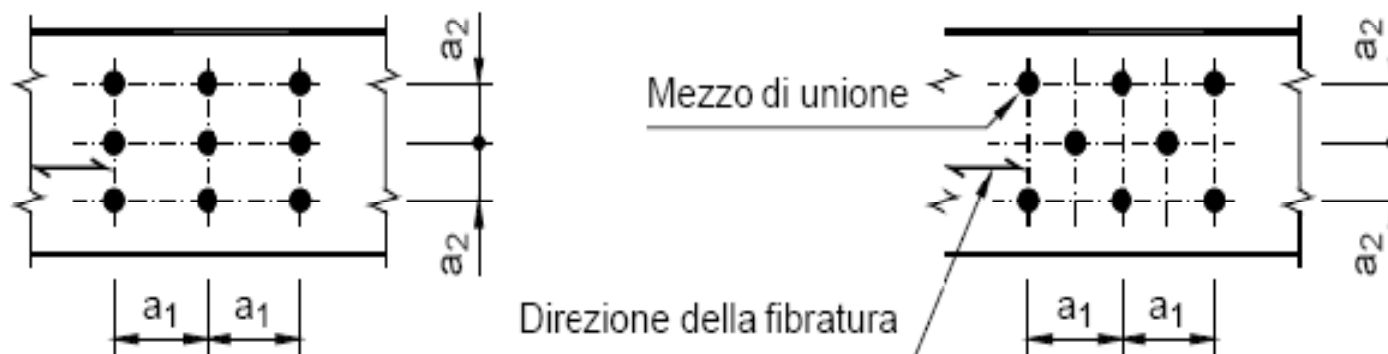
E) per unioni a doppio piano di taglio con piastre di acciaio *spesse* poste esternamente:

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

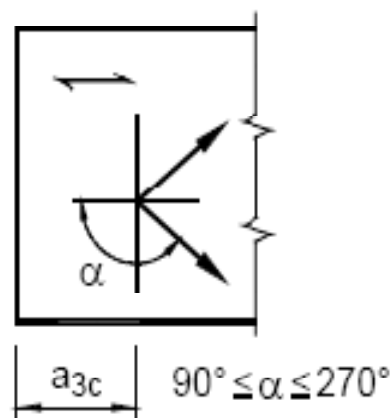




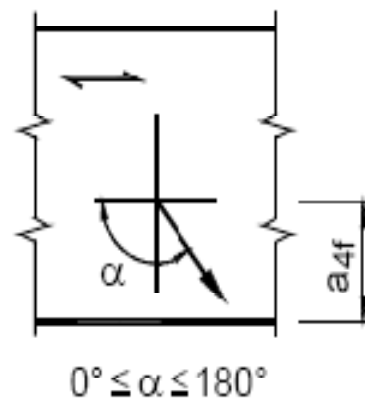
DISTANZE MINIME TRA CONNETTORI



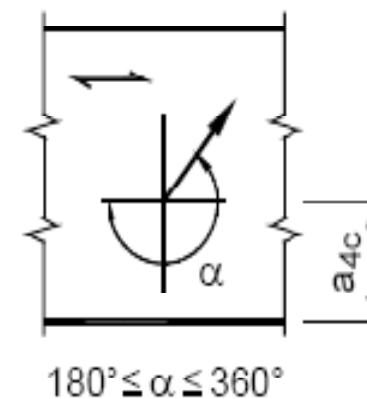
Estremità sollecitata



Estremità scarica



Bordo sollecitato



Bordo scarico



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

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

$f_{ax,k}$ e $f_{head,k}$ da determinare sperimentalmente (EN 1382, EN 1383, EN 14358)

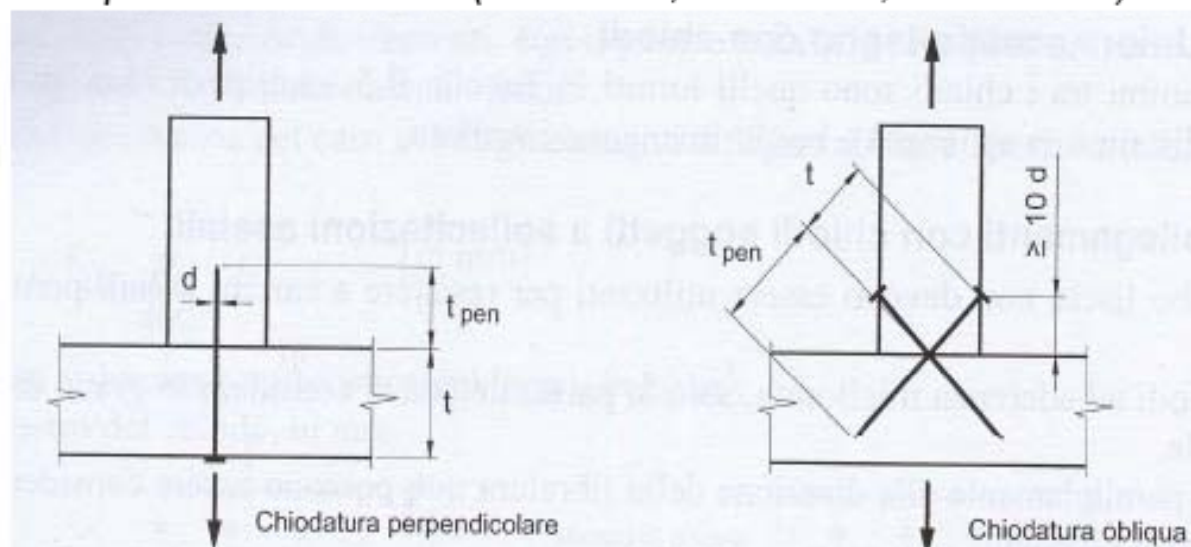
t_{pen} lung. di infissione

d_h diametro della testa

per chiodi a gambo liscio

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

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





RESISTENZA ALL'ESTRAZIONE (bulloni)

La capacità portante assiale è data dal valore minore fra

- la resistenza a trazione del bullone
- la resistenza a schiacciamento del legno sotto la rondella

$$F_{ax,k} = f_{u,k} \frac{\pi d^2}{4}$$

$$F_{ax,k} = \sigma_{c,90,k} A_r$$

$$\sigma_{c,90,k} = 3.0 f_{c,90,k}$$

$$A_r = \frac{\pi (d_r^2 - d^2)}{4}$$

d_r diametro della rondella

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





SOLLECITAZ. COMBinate (assiale e 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

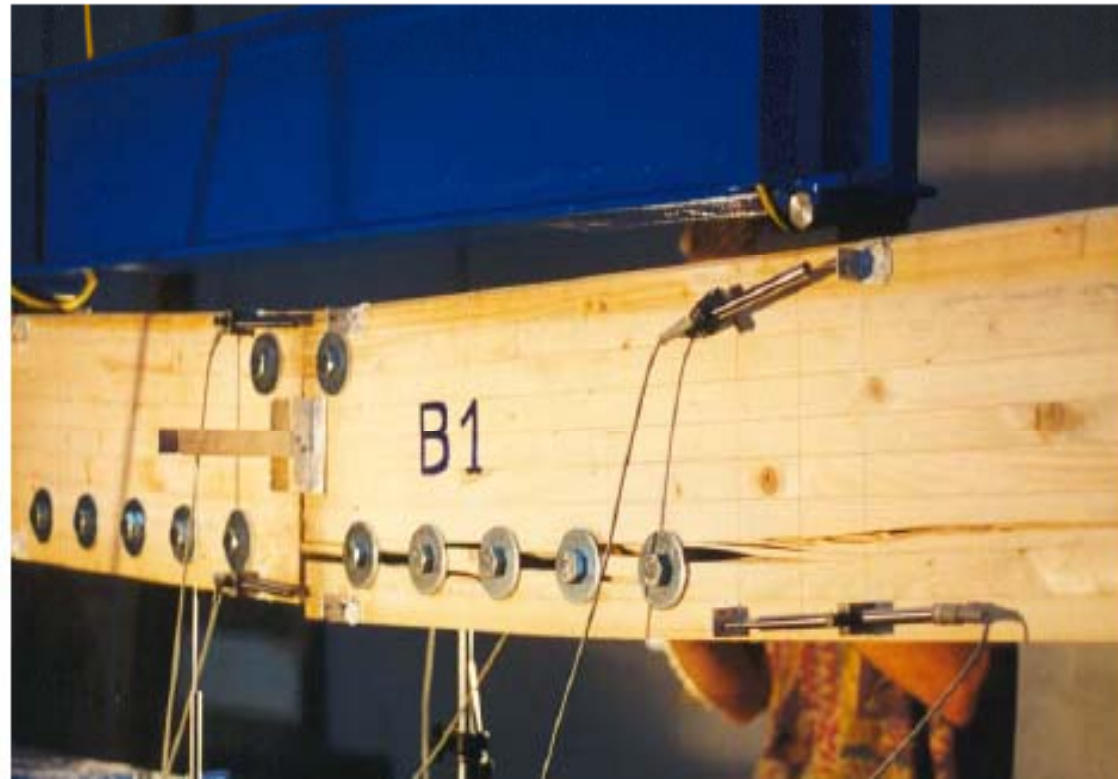
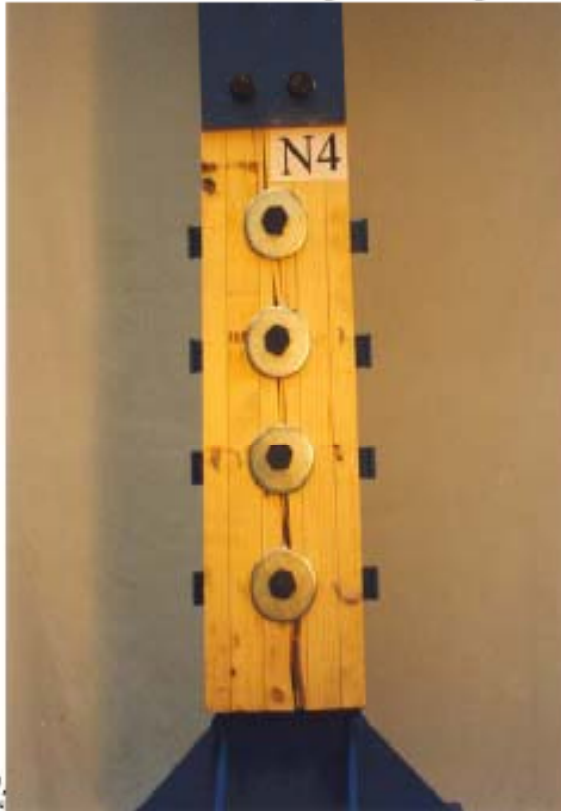




UNIONI MULTIPLE → EFFICACIA RIDOTTA BULLONI

$$F_m < n \cdot F_s$$

La rottura per splitting anticipa quella prevista da EYM



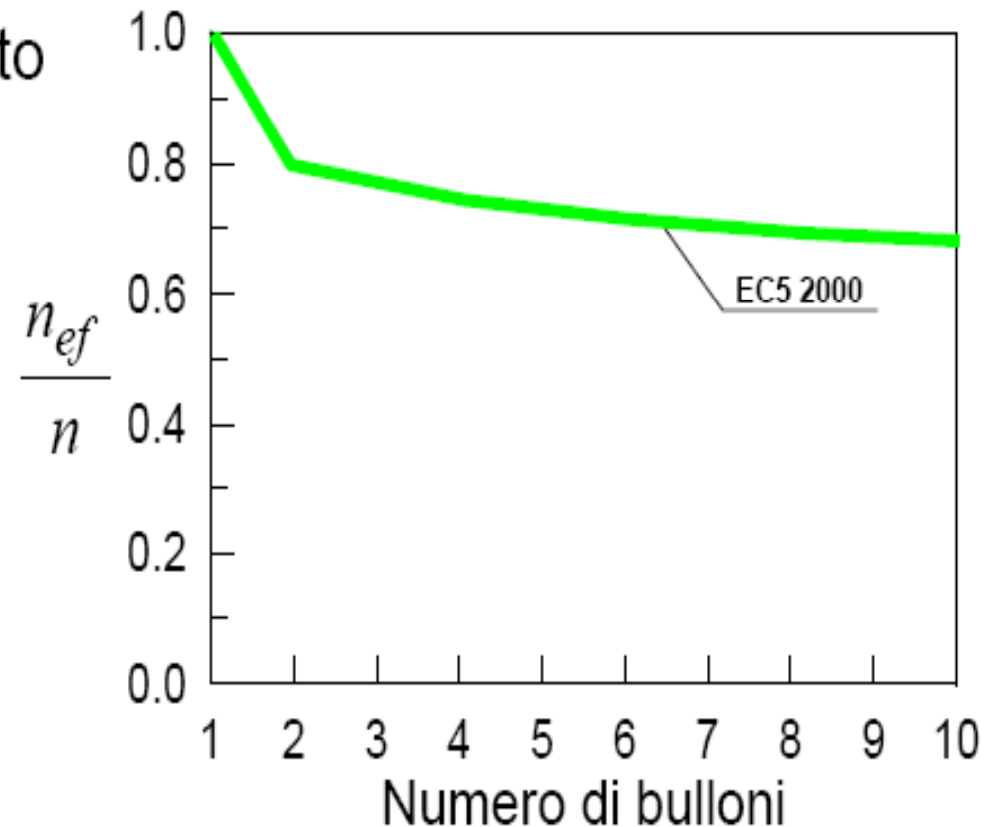


UNIONI A PIU' BULLONI (p.to 7.3)

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

Viene introdotto il concetto
di efficacia dei bulloni

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





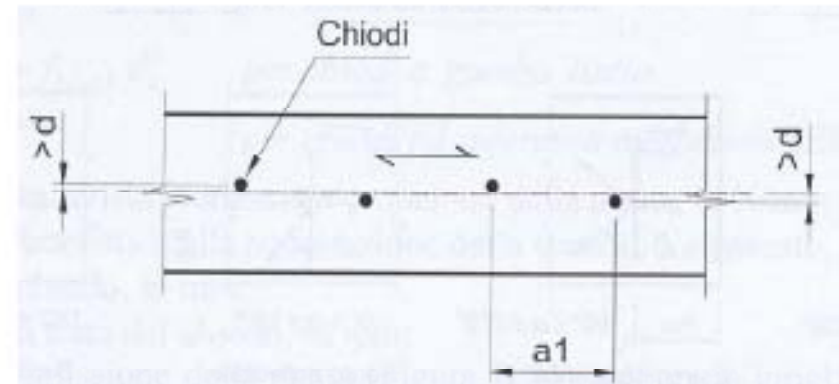
UNIONI CHIODATE MULTIPLE

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

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

Per disposizione sfalsata dei chiodi

$$F_m = n \cdot F_s$$



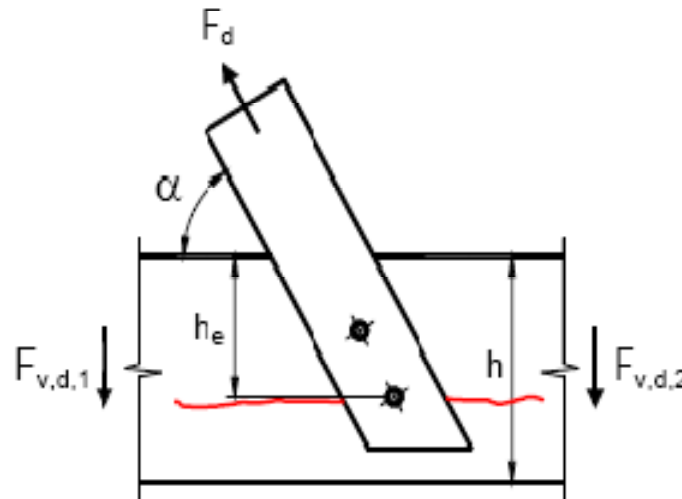
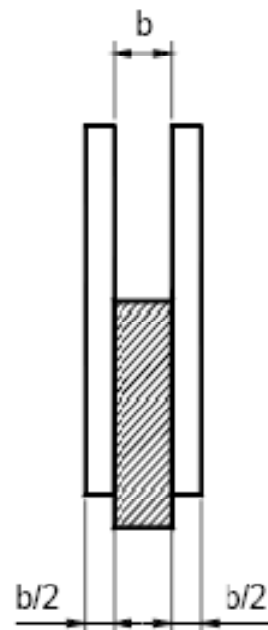
Interasse tra i chiodi	k_{ef}	
	Senza preforatura	Con preforatura
$a_1 \geq 14d$	1.00	1.00
$a_1 = 10d$	0.85	0.85
$a_1 = 7d$	0.70	0.70
$a_1 = 4d$	-	0.50

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



UNIONI SINGOLE E MULTIPLE (p.to 7.5)

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



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

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

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

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

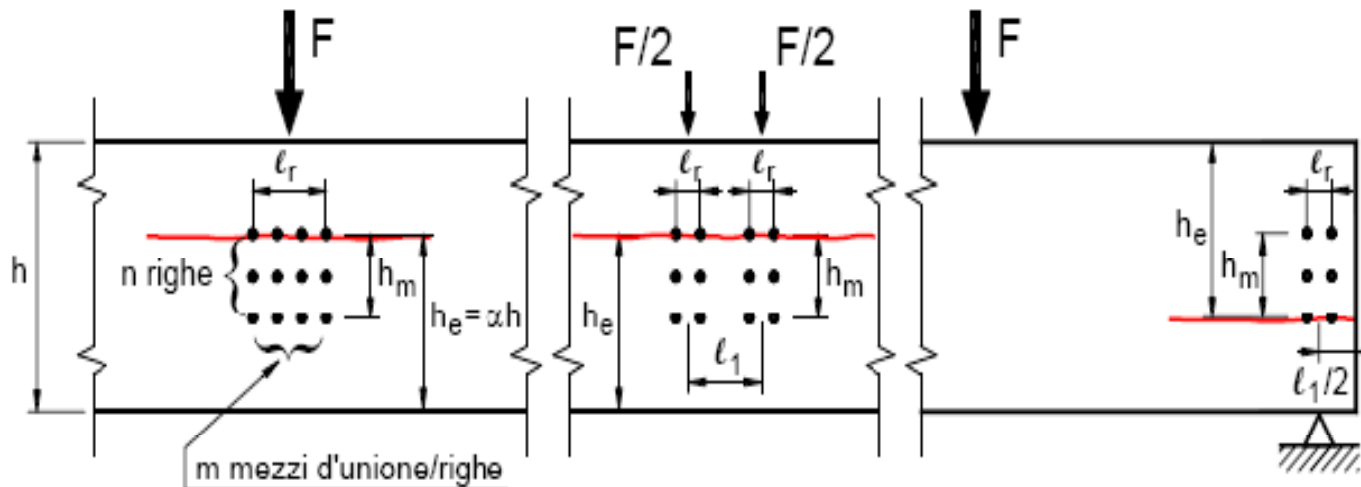


UNIONI SINGOLE E MULTIPLE

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

$$f_w = 1 + 0.75 \left(\frac{l_r + l_1}{h} \right) \leq 2$$

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





UNIONI CON CAMBRETTE E GRAFFE

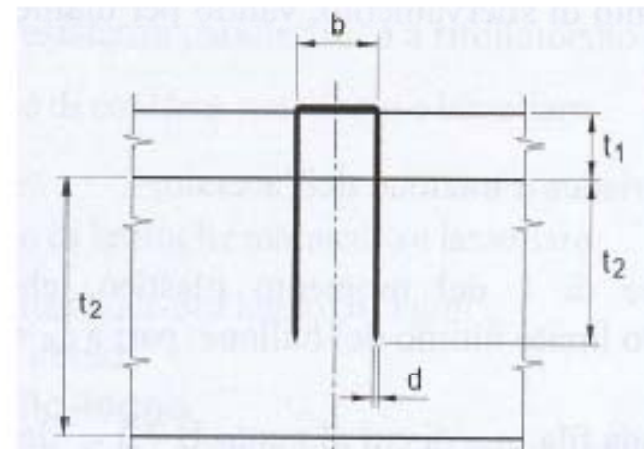
Si trattano come le unioni chiodate. La capacità portante di ogni cambretta può essere considerata come quella di due chiodi aventi pari diametro, purché l'angolo fra la testa della graffa e la fibratura sia maggiore di 30°.

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

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

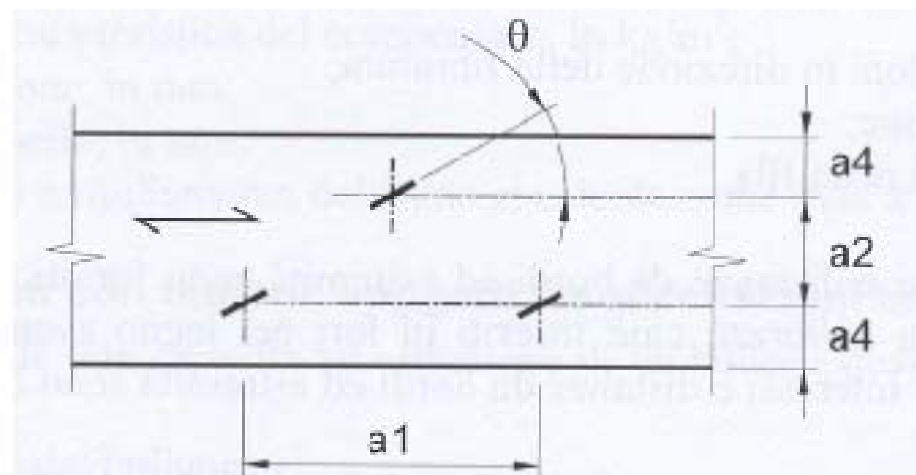
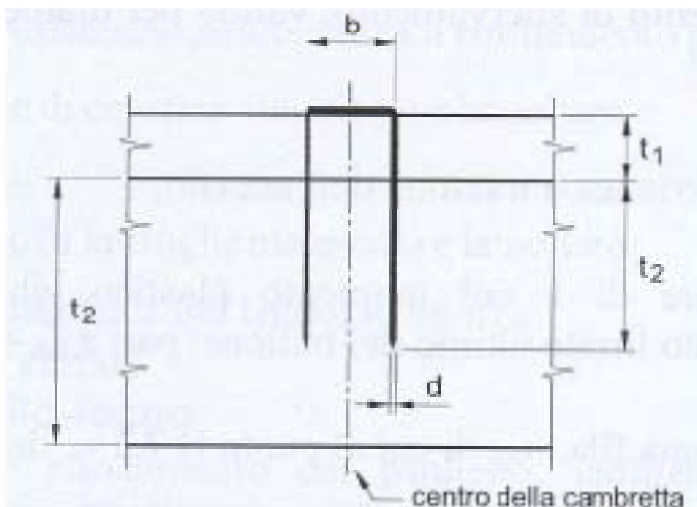


$$b \geq 6d$$

$$t_2 \geq 14d$$

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 α 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)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(15 + 5 \left \cos \alpha \right) d$
$a_{3,e}$ (estremità scarica)	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$15 d$
$a_{4,f}$ (bordo sollecitato)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(15 + 5 \left \sin \alpha \right) d$
$a_{4,e}$ (bordo scarico)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$10 d$



UNIONI CON VITI (p.to 7.8.7)

La resistenza a taglio viene determinata come per i bulloni ed i perni 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

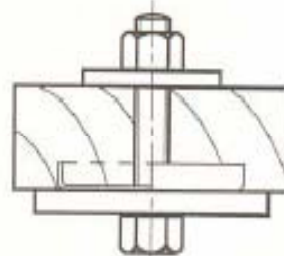
$$f_{ax,\alpha,k} = \frac{f_{ax,k}}{\sin^2 \alpha + 1.5 \cos^2 \alpha}$$

Verifica per azioni combinate taglio-trazione

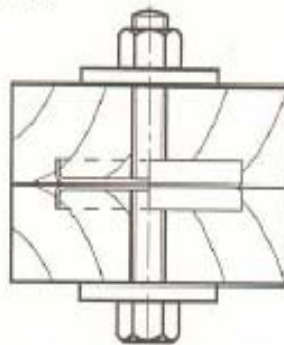
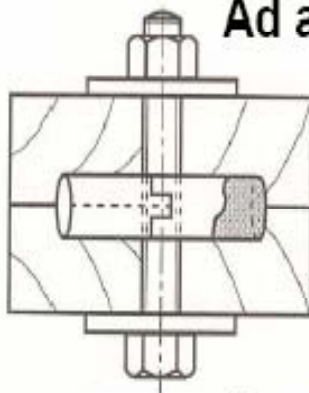
$$\left(\frac{F_{ax,d}}{F_{ax,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{F_{v,d}}{F_{v,Rd}} \right)^2 \leq 1$$



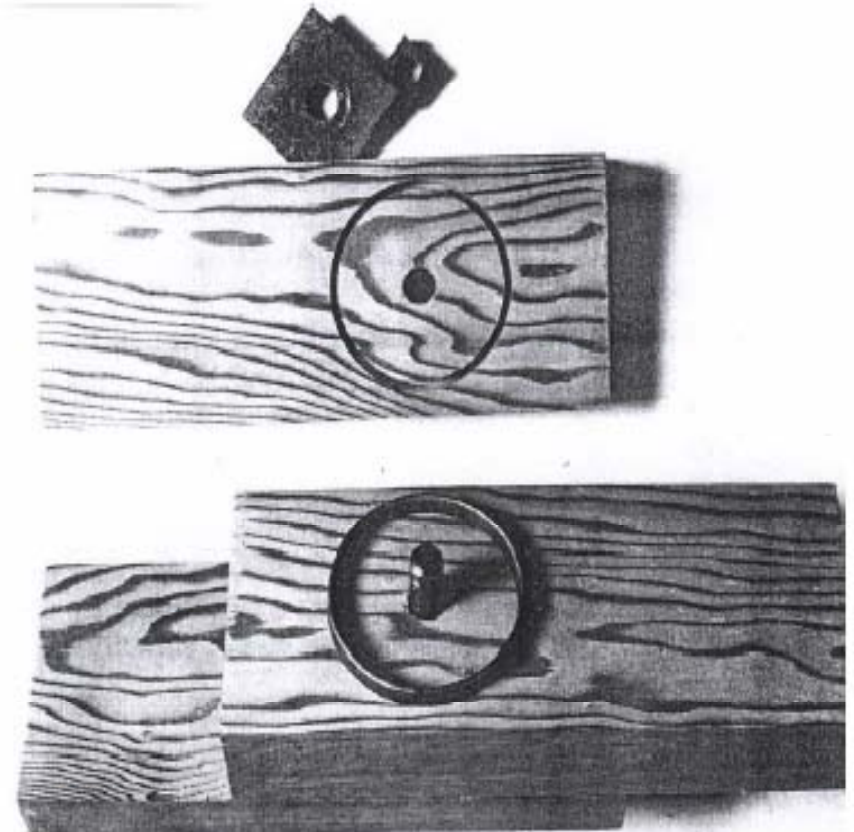
UNIONI AD ANELLO (p.to 7.9) (EN 912: A1,A2,A3,A4,A5,A6, B1,B2,B3,B4)



Ad anello tipo A

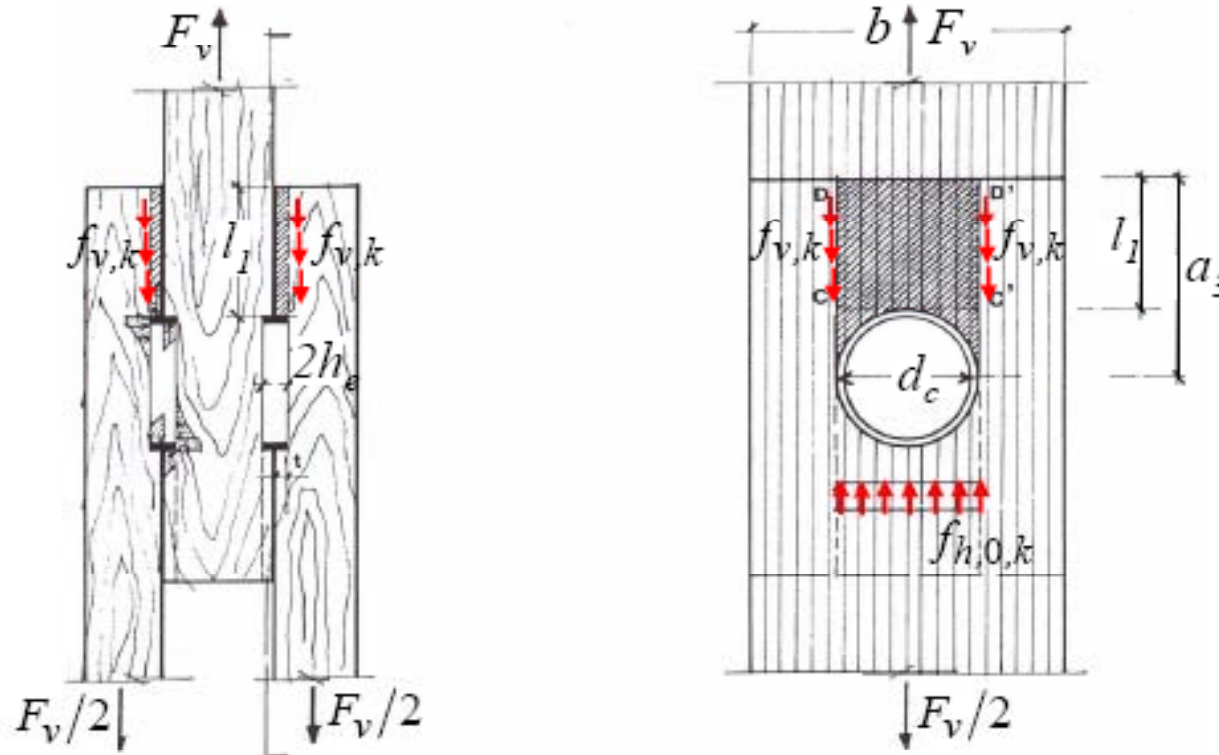


A caviglia tipo B





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)



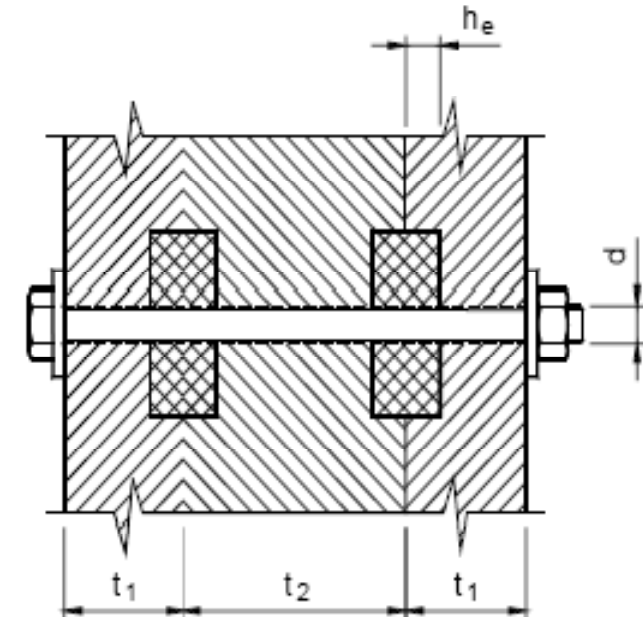
UNIONI AD ANELLO

$$F_{v,0,R_k} = \min \left\{ \begin{array}{l} k_1 k_2 k_3 k_4 (35 d_c^{1,5}) \\ k_1 k_3 h_e (31,5 d_c) \end{array} \right.$$

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

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

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



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

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





UNIONI AD ANELLO

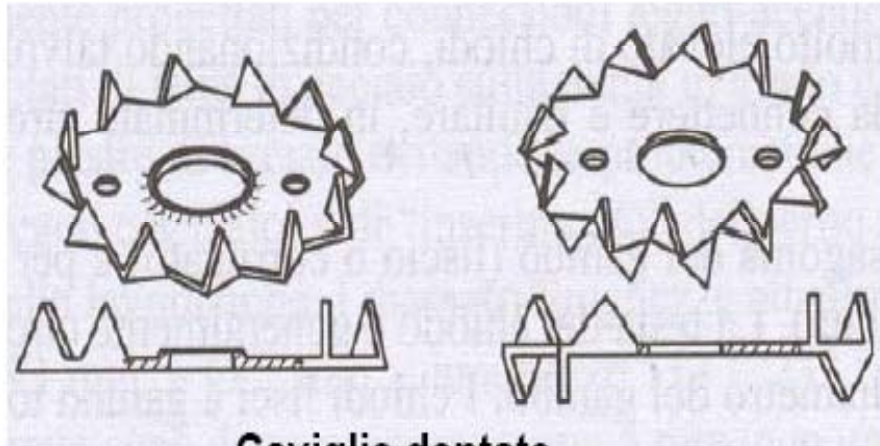
Per forza inclinata rispetto alla fibratura

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

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



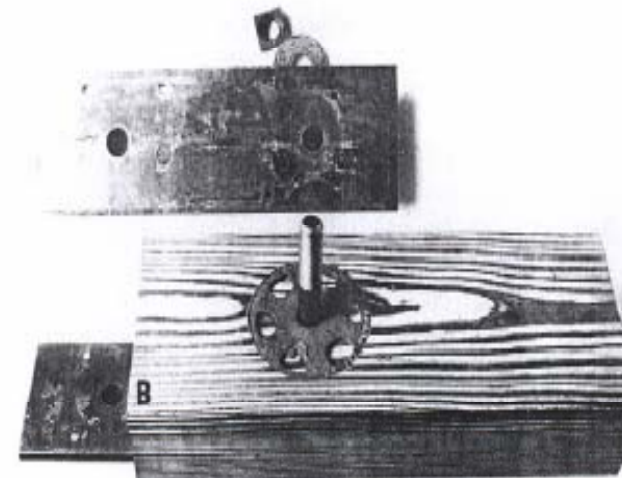
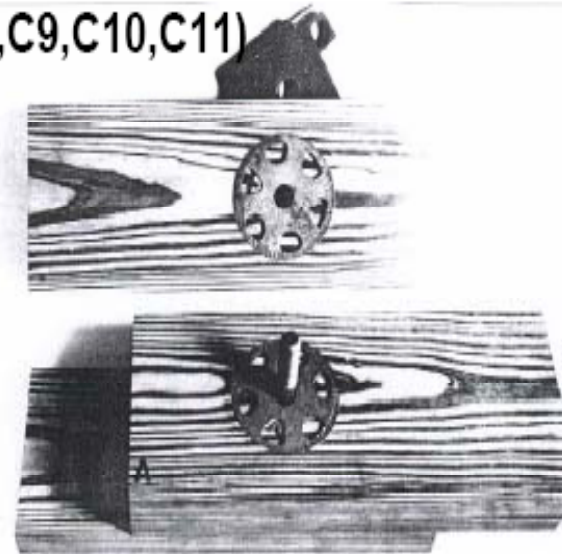
UNIONI A PIASTRA DENTATA (p.to 7.9) (EN 912: C1,C2,C3,C4,C5,C6,C7,C8,C9,C10,C11)



Caviglie dentate



Piastre punzonate



PIRELLA GÖTTSCHE LOWE





UNIONI A PIASTRA DENTATA

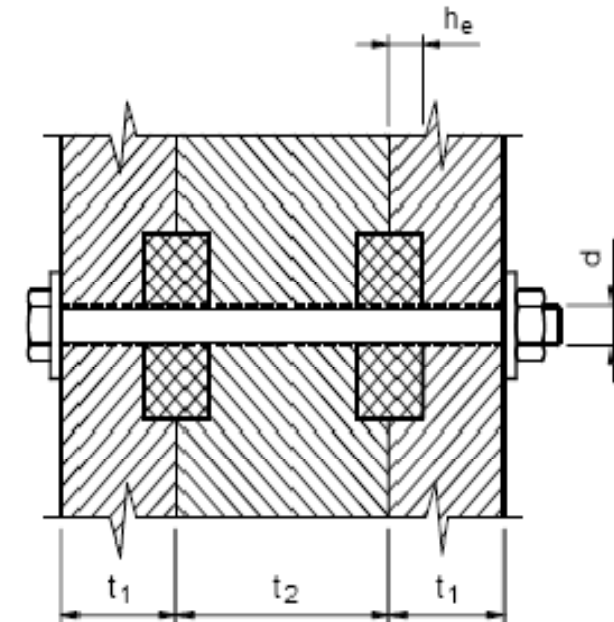
$$F_{V,Rk} = 18k_1k_2k_3d_c^{1,5} \quad \text{Monograppante} \\ \text{C2, C4, C7, C9, C11}$$

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

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

$$\left\{ \begin{array}{l} k_2 = \min\left\{1; \frac{a_{3,t}}{1,5d_c}\right\} \quad a_{3,t} = \max\{1,1d_c; 7d; 80\text{mm}\} \\ k_2 = \min\left\{1; \frac{a_{3,t}}{2,0d_c}\right\} \quad a_{3,t} = \max\{1,5d_c; 7d; 80\text{mm}\} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{per elementi da C1 a C9} \\ \text{per elementi C10 a C11} \end{array}$$

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





UNIONI AD ANELLO E A PIASTRA DENTATA MULTIPLE

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

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

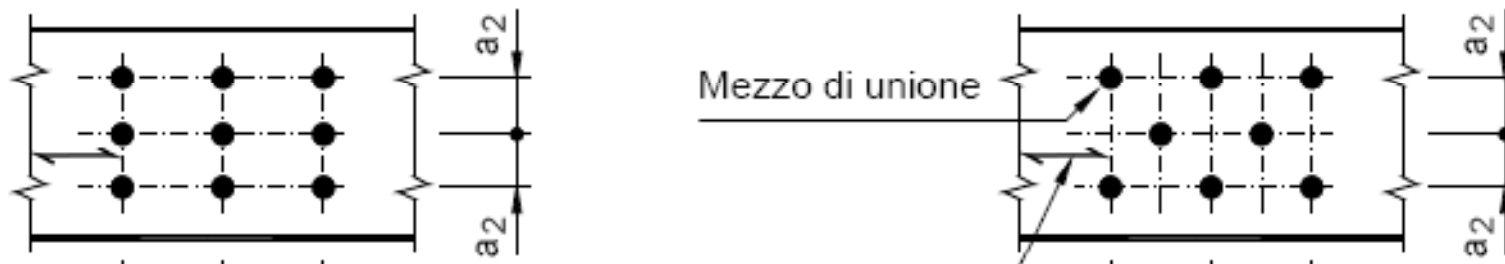
α inclinazione della forza rispetto alla direzione della fibratura



UNIONI AD ANELLO E A PIASTRA DENTATA MULTIPLE – DISTANZE E INTERASSI

Anche nelle unioni ad anello e a piastra dentata devono essere rispettate

- Distanza minima dal bordo sollecitato o non sollecitato (a_3)
- Distanza dal bordo laterale (a_4)
- Interasse minimo fra i connettori parallelo alle fibre (a_1)
- Interasse minimo fra i connettori perpendicolare alle fibre (a_2)





RIGIDEZZA DELLE UNIONI

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 senza preforatura	$\rho_k^{1,5} \cdot \frac{d}{20}$
Chiodi (con preforatura)	$\rho_k^{1,5} \cdot \frac{d^{0,8}}{25}$
Cambrette e graffe	$\rho_k^{1,5} \cdot \frac{d^{0,8}}{60}$
Anelli (tipo A secondo EN 912) Caviglie (tipo B secondo EN 912)	$0,6 \cdot \rho_k \cdot d_c$
Piastre dentate singole (tipo C1-C9 secondo EN 912)	$0,3 \cdot \rho_k \cdot d_c$
Piastre dentate doppie (tipo C10 e C11 secondo EN 912)	$0,45 \cdot \rho_k \cdot d_c$

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





RIGIDEZZA DELLE UNIONI

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 ρ_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

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





Presentazione del documento *CNR-DT 206/2007*
San Michele all'Adige, 17 luglio 2008

CNR-DT 206/2007
**Istruzioni per il progetto, l'esecuzione ed il controllo delle
strutture di legno**

COLLEGAMENTI UNIONI INCOLLATE

Alessandra Gubana

Facoltà di Ingegneria - Università di Udine





B7.10 – Resistenza di collegamenti con elementi di acciaio incollati

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.



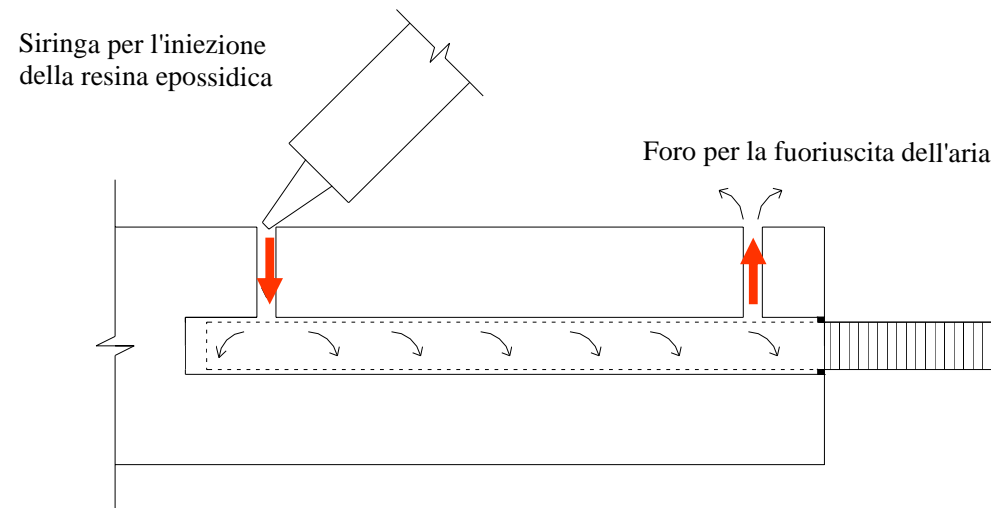


- **Vantaggi:**
- **Trasferimento di sforzi dal legno alle barre d'unione lungo tutta la lunghezza dell'incollaggio, evitando le concentrazioni in corrispondenza di perni e bulloni dei giunti meccanici**
- **Elevati valori di rigidezza senza assestamenti iniziali**
- **Protezione nei confronti del fuoco**
- **Protezione nei confronti della corrosione degli elementi metallici - durabilità**
- **Duttilità se correttamente progettati**
- **Giunti non visibili, completamente interni al legno e quindi migliore aspetto architettonico**



Problemi:

- **Fragilità se non correttamente progettati**
- **Sensibilità alla corretta esecuzione del collegamento, necessità di adeguata pulizia delle barre con solventi, preparazione della miscela di collante, controllo del completo riempimento dei fori e dell'effettivo ricoprimento dell'elemento metallico da parte dell'adesivo**



- **Sensibilità alle variazioni di umidità**
- **Resistenza al fuoco dell'adesivo**





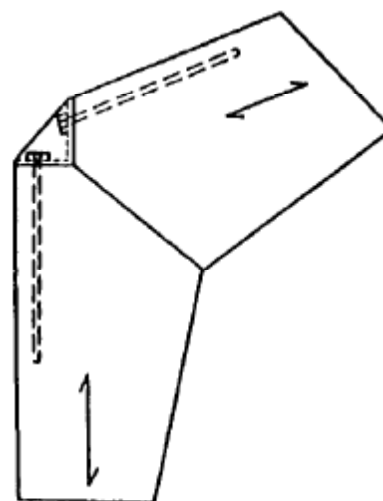
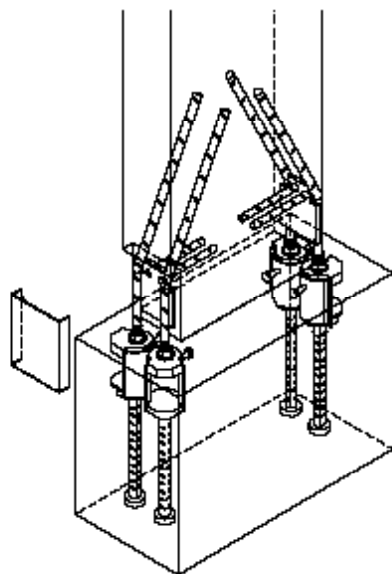
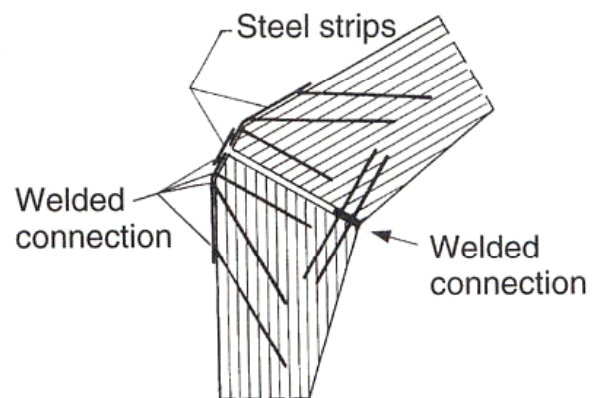
Questo tipo di unioni è limitato alle classi di servizio 1 e 2 su legno in equilibrio igrometrico con l'ambiente.

Gli adesivi devono essere appropriati (punto A.3.4) e dare garanzie di durabilità sulla base di evidenze sperimentali o specifici test di laboratorio.

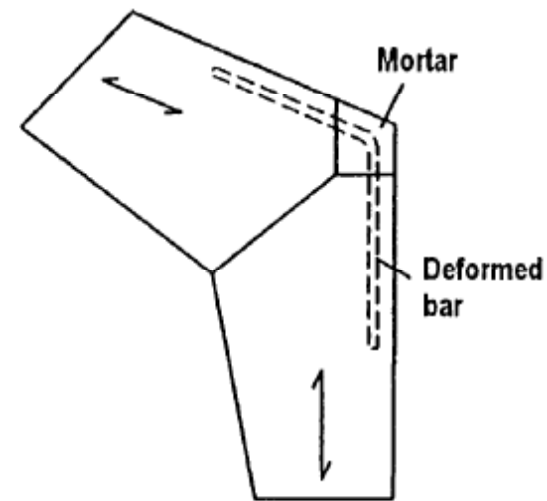
B.7.10.2 Resistenza di collegamenti con barre incollate

B.7.10.3 Resistenza di connessioni con piastre metalliche incollate

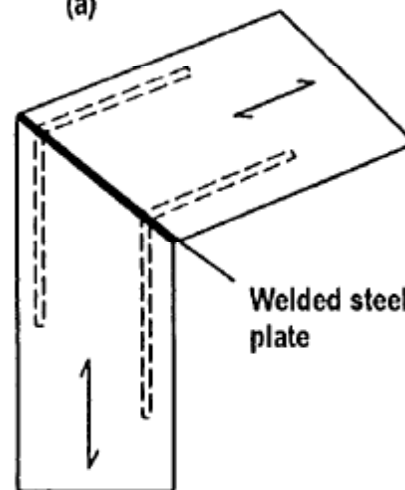




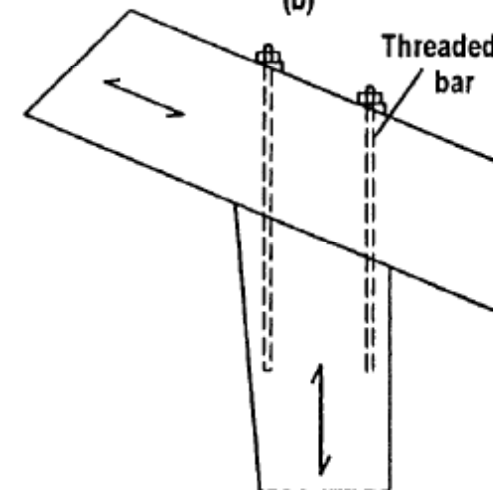
(a)



(b)



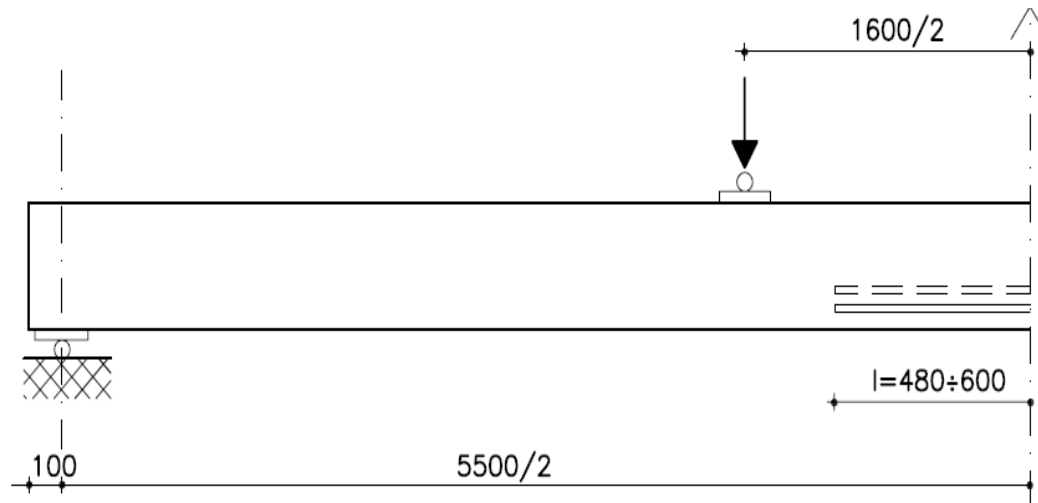
Welded steel plate



Threaded bar

Turkowski,1991- Kangas&Oksanen,1999 – Bainbridge&Mettem,1998



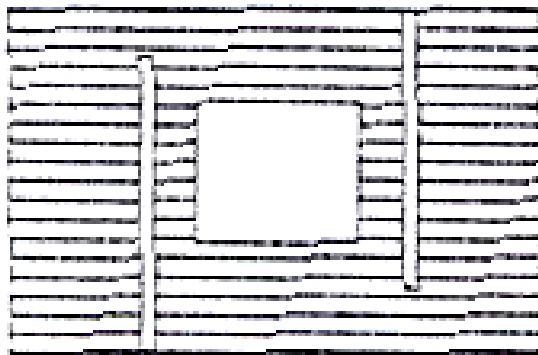
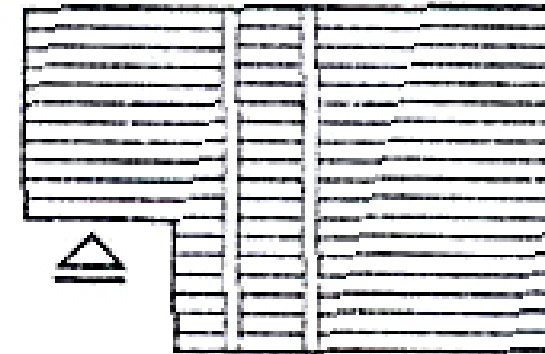
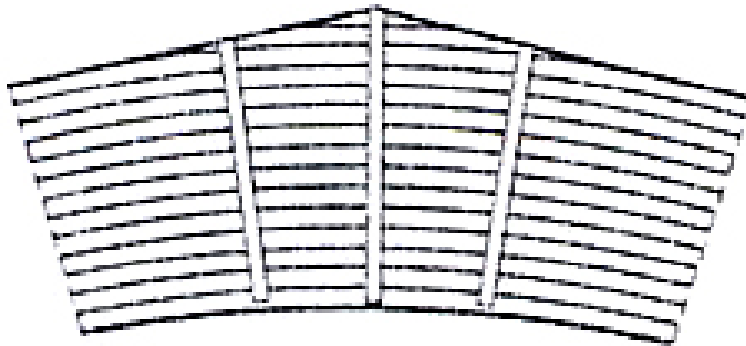


Piazza & Bernardi, 1998; Gattesco & Gubana, 2000; 2001; 2002; 2006





Rinforzi





B.7.10.2 Resistenza di collegamenti con barre incollate

Le prescrizioni valgono per collegamenti in

- **Legno massiccio**
- **Legno lamellare incollato**
- **Legno bilama o trilama**
- **Legno microlamellare**

realizzati con barre filettate (o nervate) aventi diametro nominale d compreso tra 6 e 30 mm

Umidità massima 20%





B.7.10.2.2 *Collegamenti con barre soggette a sollecitazione parallela al proprio asse*

Sono messi in particolare evidenza i 4 diversi possibili modi di rottura della connessione:

- a) Rottura a trazione della barra d'acciaio**
- b) Rottura per scorrimento del legno all'interfaccia con l'adesivo**
- c) Rottura completa o parziale dell'elemento ligneo per trazione**
- d) Rottura per spacco nella direzione della barra**



B.7.10.2.2 Collegamenti con barre soggette a sollecitazione parallela al proprio asse

a) Rottura a trazione della barra d'acciaio

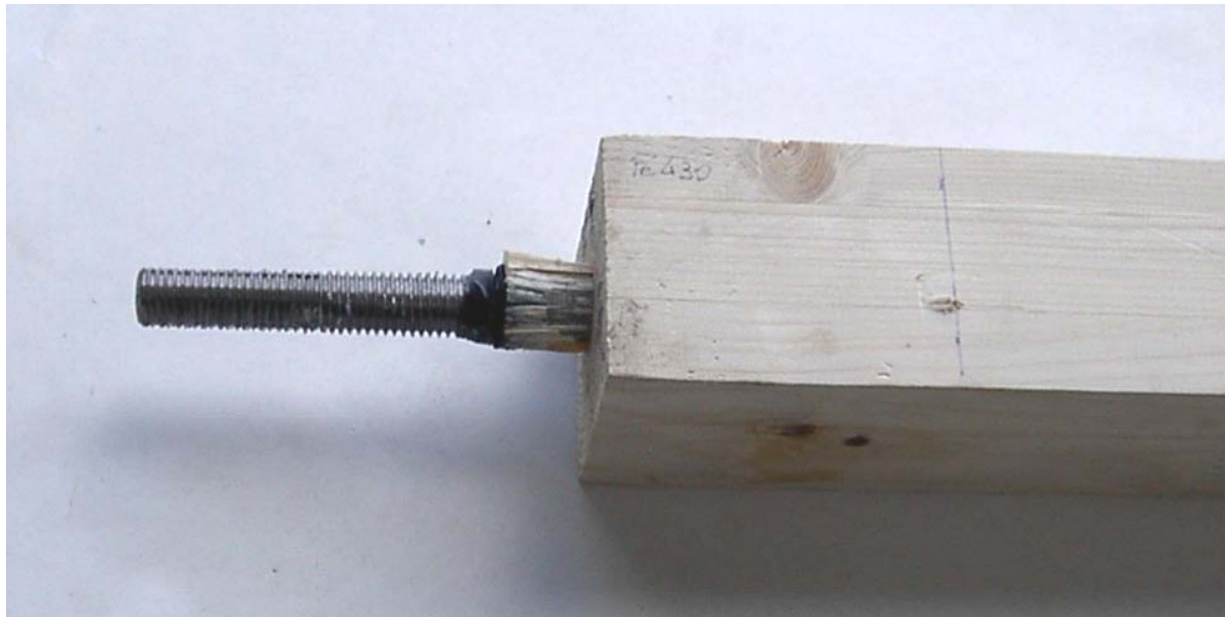


$$F_{ax,Rd} = f_{yd} A_{res}$$



B.7.10.2.2 Collegamenti con barre soggette a sollecitazione parallela al proprio asse

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



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



B.7.10.2.2 *Collegamenti con barre soggette a sollecitazione parallela al proprio asse*

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

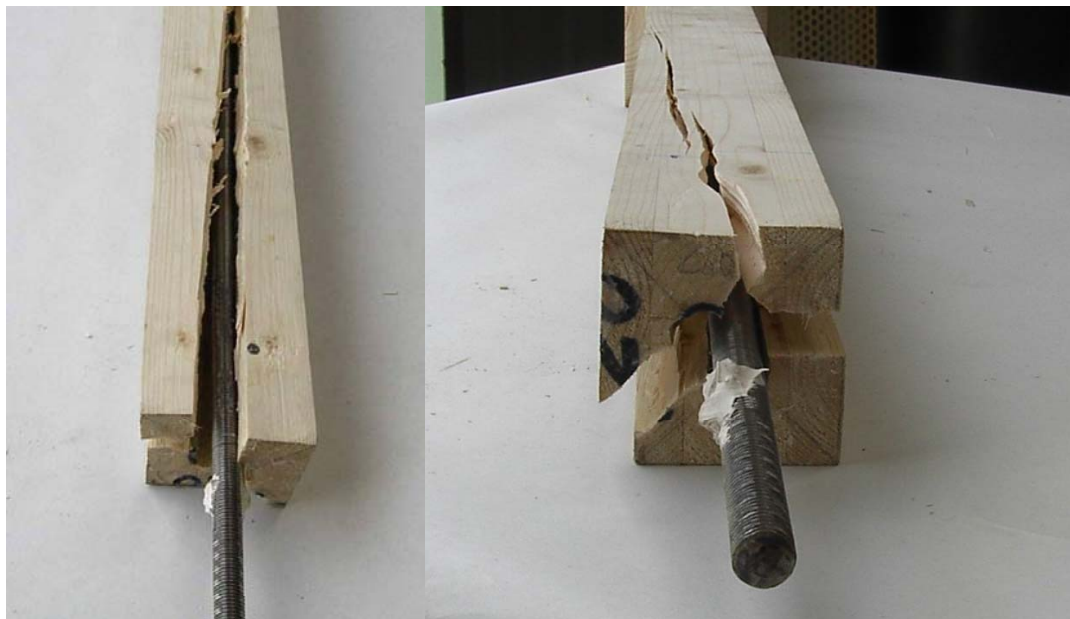


$$F_{ax,Rd} = f_{t,0d} A_{eff}$$



B.7.10.2.2 *Collegamenti con barre soggette a sollecitazione parallela al proprio asse*

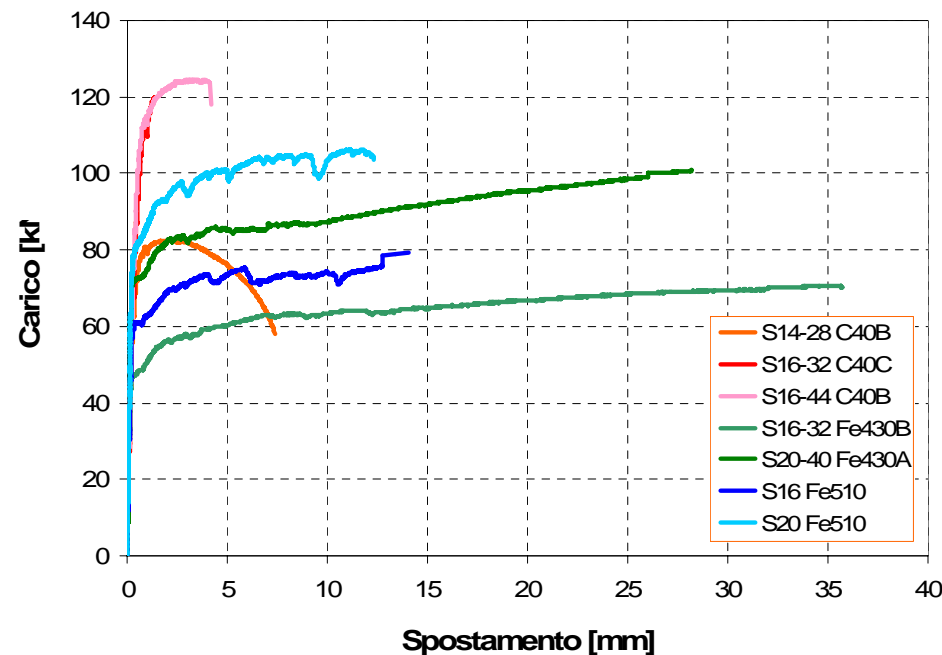
d) Rottura per spacco nella direzione della barra



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



B.7.10.2.2 Collegamenti con barre soggette a sollecitazione parallela al proprio asse





B.7.10.2.2 Collegamenti con barre soggette a sollecitazione parallela al proprio asse

Tabella B.15-Distanze minime di barre d'acciaio incollate e sollecitate in direzione dell'asse

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

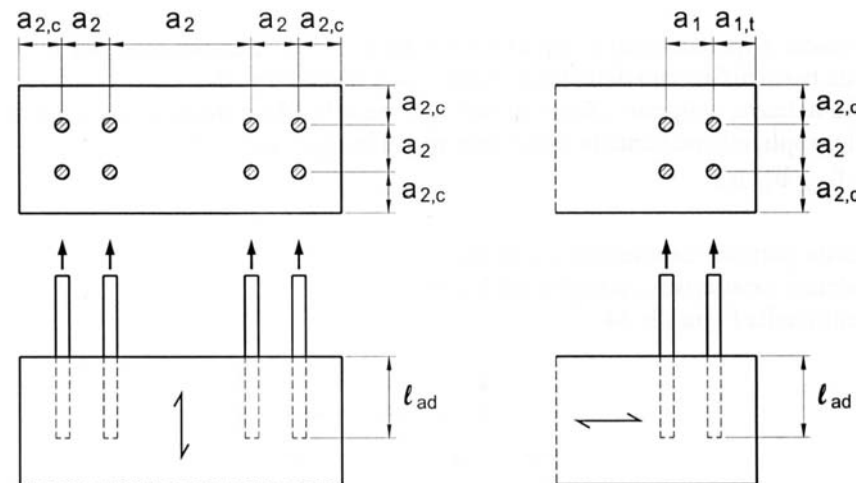


Figura B.29- Definizione delle distanze minime di barre d'acciaio incollate e sollecitate in direzione dell'asse

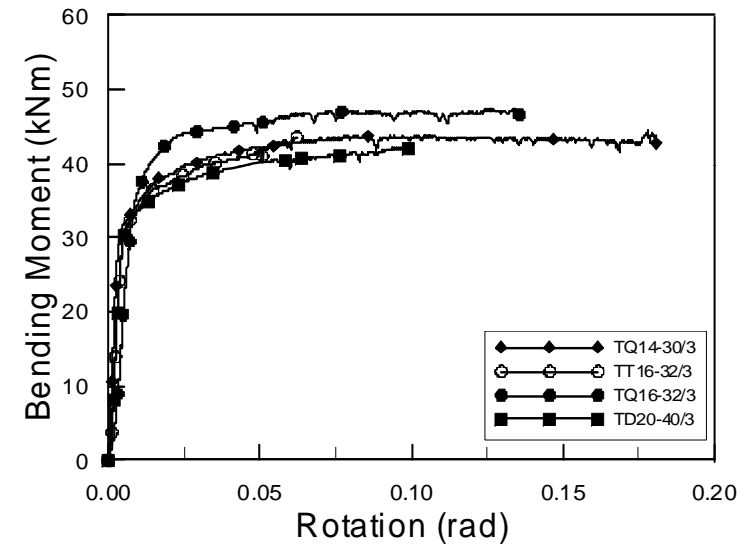
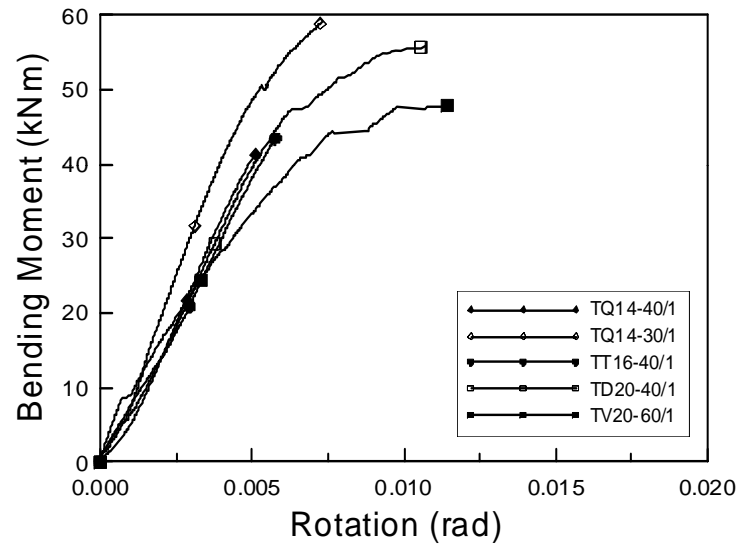


B.7.10.2.2 Collegamenti con barre soggette a sollecitazione parallela al proprio asse





B.7.10.2.2 Collegamenti con barre soggette a sollecitazione parallela al proprio asse





B.7.10.2.2 *Collegamenti con barre soggette a sollecitazione parallela al proprio asse*

Qualora la duttilità dell'elemento strutturale sia da considerarsi localizzata nell'unione è necessario che la rottura avvenga dopo lo snervamento della barra e che la capacità portante associata agli altri modi di rottura fragile risulti almeno 1,5 volte superiore alla resistenza offerta dal primo modo.



B.7.10.2.2 *Collegamenti con barre soggette a sollecitazione parallela al proprio asse*

Lunghezza minima di incollaggio

$$l_{ad \min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,5 d^2 \\ 10 d \end{array} \right.$$



B.7.10.2.3 Unioni con barre soggette a sollecitazione tagliante

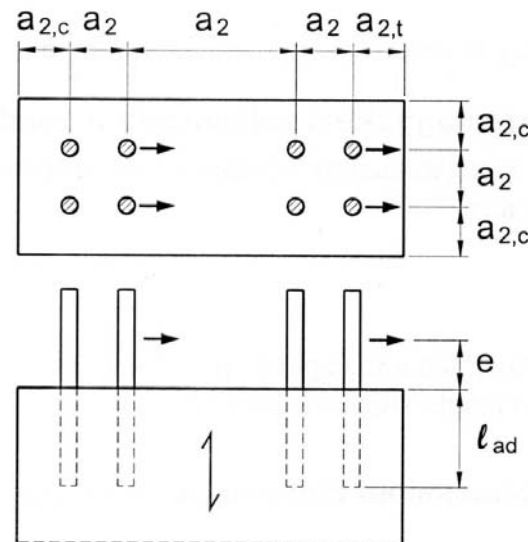


Figura B.32- Distanze minime di barre d'acciaio incollate in parallelo alla direzione della fibratura e sollecitate ortogonalmente all'asse

Tabella B.16-Distanze minime di barre d'acciaio incollate e sollecitati ortogonalmente all'asse

Barre d'acciaio incollate parallele alla direzione della fibratura	$a_2 = 5 \cdot d$
	$a_{2,c} = 2,5 \cdot d$
	$a_{2,t} = 4 \cdot d$
Barre d'acciaio incollate ortogonale alla direzione della fibratura	Vedere Tabella B.8



B.7.10.2.4 Verifiche di esercizio per barre incollate sollecitate a taglio

Verifiche di deformazione

$$K_{ser}=0,005 d \rho_k^{1,5}$$

B.7.10.2.5 Unioni con barre soggette a sollecitazioni combinatae

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

dove $F_{ax,Rd}$ e $F_{la,Rd}$ sono rispettivamente le capacità portanti di progetto della barra incollata sotto il solo sforzo assiale $F_{ax,Sd}$ e sotto il solo sforzo di taglio $F_{la,Sd}$.



B.7.10.3 Resistenza di connessioni con piastre metalliche incollate

E' escluso l'uso di piastre lisce

La capacità portante ultima delle unioni deve essere determinata sulla base di prove sperimentali specifiche su campioni al vero





B.7.10.5 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**





B.7.10.5 Disposizioni costruttive

- **Le superfici degli elementi metallici devono essere accuratamente pulite e sgrassate**
- **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)**

