

LA PROGETTAZIONE DELLE STRUTTURE IN LEGNO

Parte 4:

I COLLEGAMENTI NELLE STRUTTURE LIGNEE



LE CONNESSIONI FRA ELEMENTI IN LEGNO

(Circ.617 C4.4.9 - CNR 206/2007)

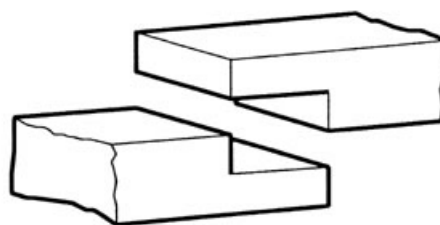
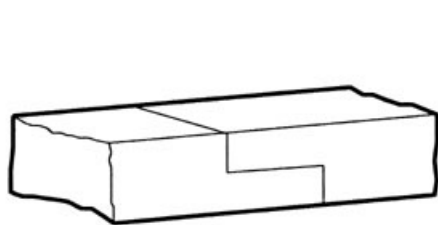
- 1) Connessioni tradizionali: unioni di carpenteria o giunti intagliati
- 2) Connessioni meccaniche con elementi metallici a gambo cilindrico (chiodi, viti, spinotti, bulloni)
- 3) Connessioni meccaniche con connettori speciali (anelli, piastre dentate, piastre punzonate)
- 4) Connessioni incollate o con barre metalliche incollate

LE CONNESSIONI DI CARPENTERIA

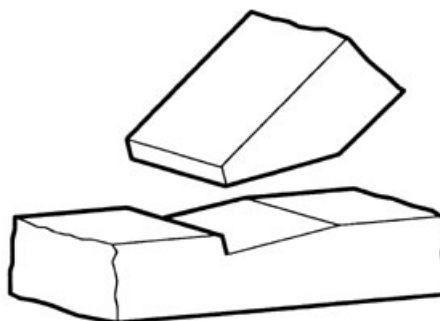
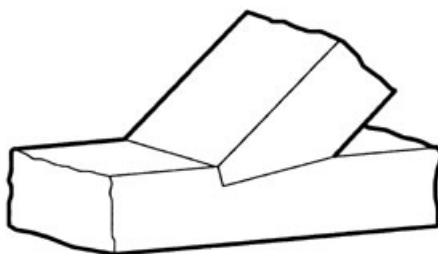
- *La trasmissione degli sforzi avviene per contatto diretto legno-legno, a volte con interposizione di elementi aggiuntivi in legno duro (biette)*
- *Si ottengono per lavorazione ad ascia delle superfici (metodo tradizionale) o con macchine a controllo numerico (metodo moderno) realizzando intagli negli elementi lignei*
- *Necessitano di notevole precisione di lavorazione per assicurare il contatto completo tra i pezzi*
- *Riducono notevolmente le aree resistenti degli elementi collegati*

LE CONNESSIONI DI CARPENTERIA

Si usano per trasmettere prevalentemente sollecitazioni di compressione (quasi sempre tra le aste delle capriate).....



Giunto a mezzo legno



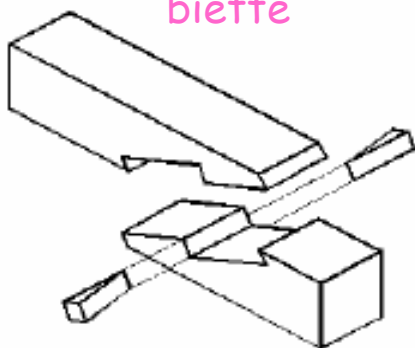
Giunto a incastro frontale

LE CONNESSIONI DI CARPENTERIA

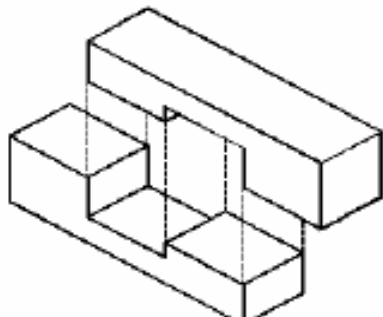
...ma possono lavorare anche per trazione, flessione e taglio, con gradi parziali di ripristino della resistenza degli elementi collegati

Trazione

Giunto a dardo di giove con biette

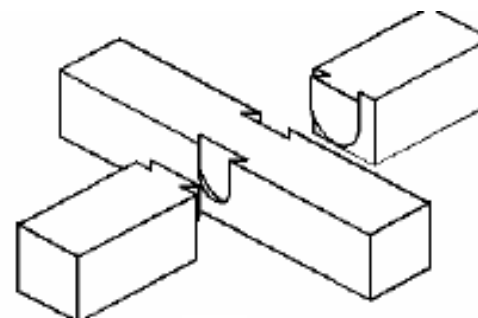


Giunto con dente retto

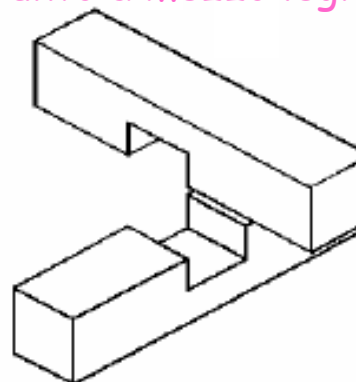


Taglio

Giunto a coda di rondine



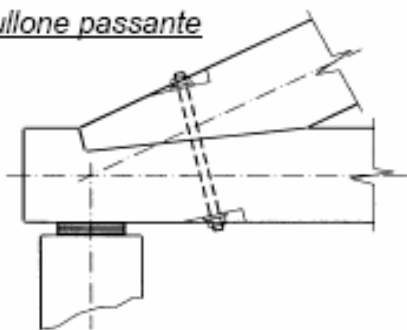
Giunto a mezzo legno



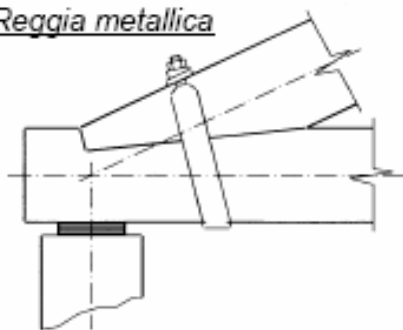
LE CONNESSIONI DI CARPENTERIA

Spesso le unioni di carpenteria sono completate da mezzi di unione in acciaio o in legno, soprattutto per mantenere i pezzi nella posizione ideale o per trasmettere forze aggiuntive

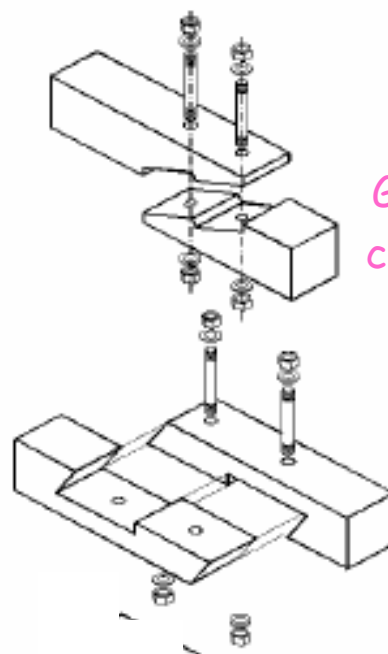
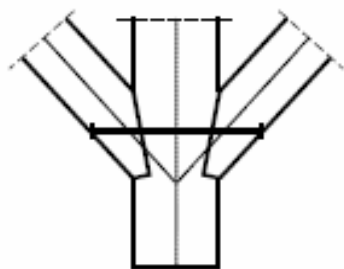
Bullone passante



Reggia metallica



Nodo monaco-saetta

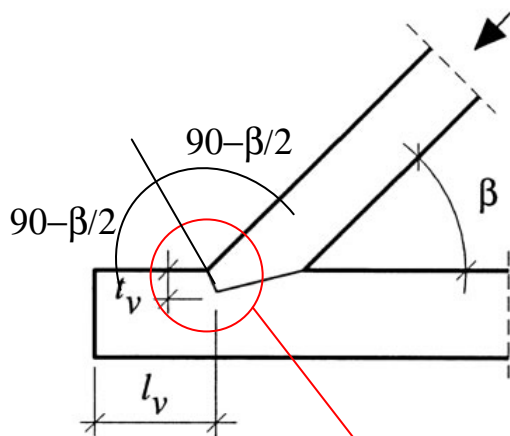


Giunto a dardo di giove
con connettori metallici

Giunto con dente
inclinato e connettori
metallici

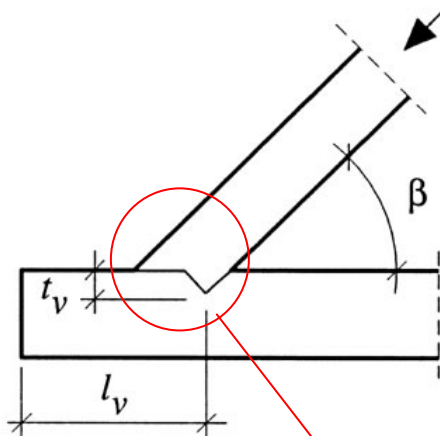
La connessione ad incastro "puntone-tirante"

Giunto a dente frontale semplice



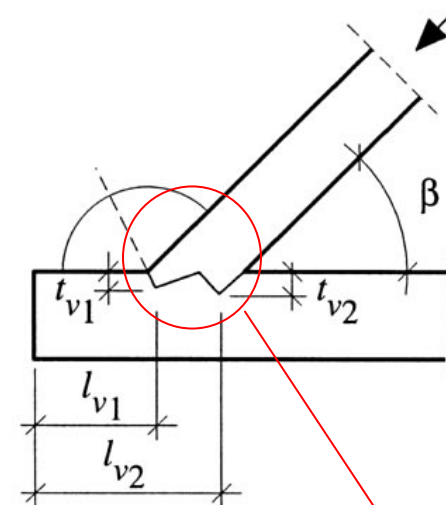
Inclinazione del dente = $\beta/2$ per minimizzare l'angolo tra la forza e la fibratura

Giunto a dente arretrato semplice



Aria tra il puntone e il tirante per evitare fenditure del puntone

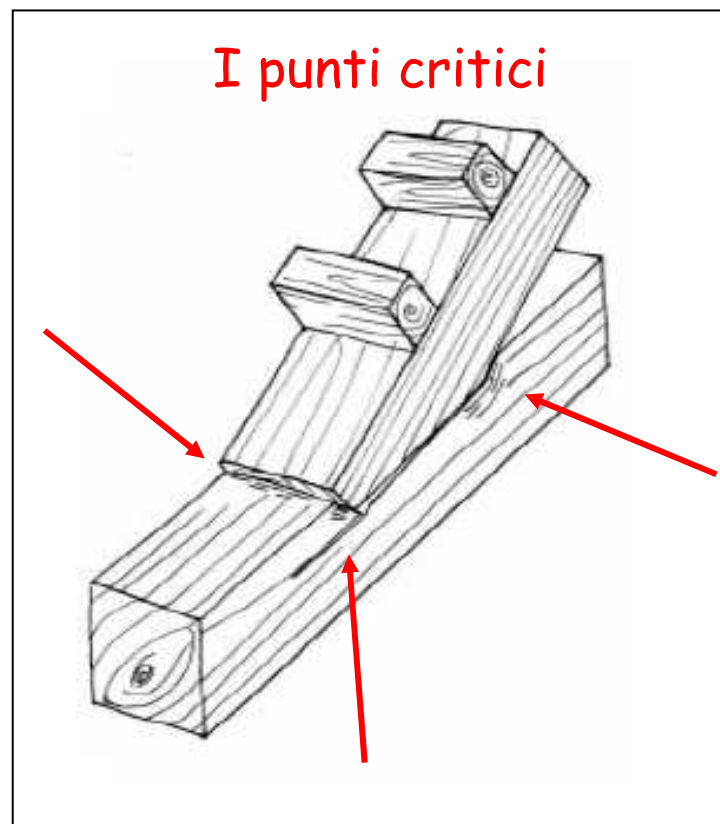
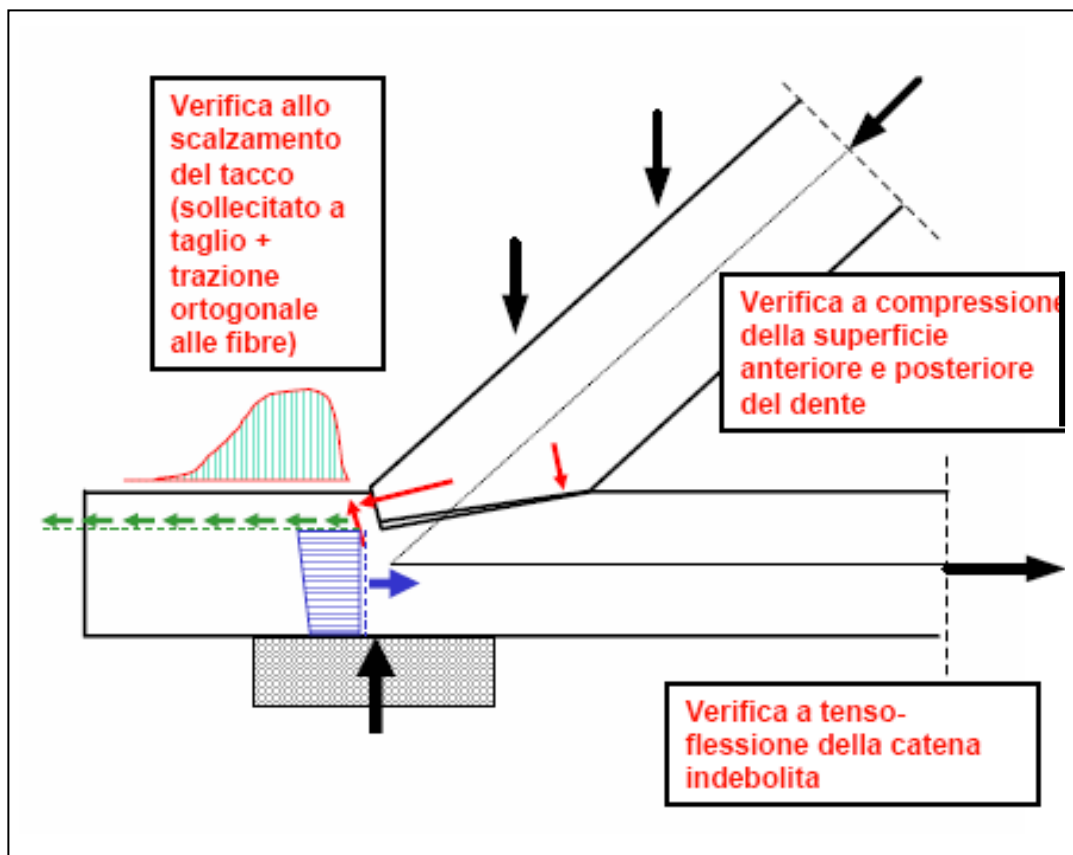
Giunto a doppio dente



Lavorazioni molto accurate per suddividere il carico tra i due denti

La connessione a dente frontale semplice

I meccanismi di trasmissione dello sforzo

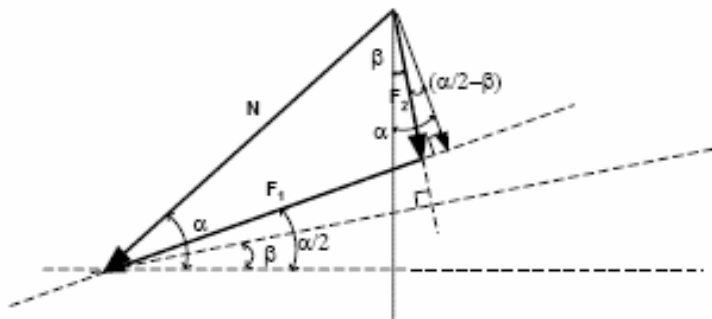


La connessione a dente frontale semplice

Il calcolo di verifica

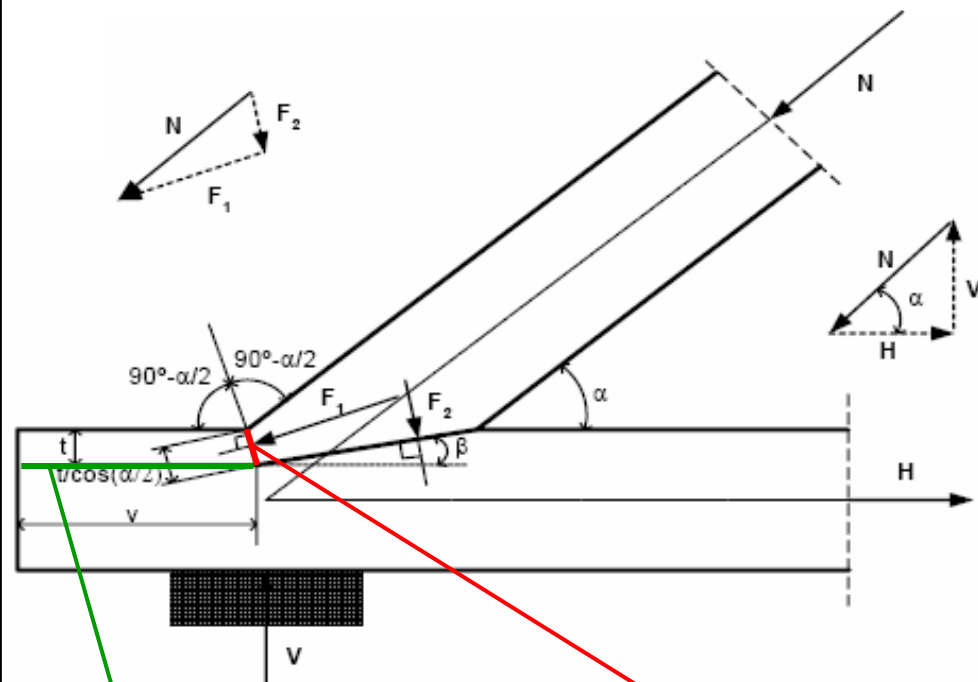
Si trascurano l'attrito e le imperfezioni costruttive

Le azioni sulle superfici di contatto



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

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



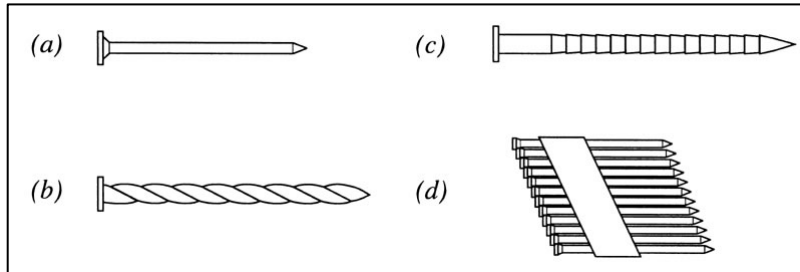
$$\tau_d = \frac{N \cos \alpha}{bl} \leq f_{v,d}$$

$$\sigma_{c,d} = \frac{N \cos^2 \left(\frac{\alpha}{2} \right)}{bt} \leq f_{c,\frac{\alpha}{2},d}$$

I COLLEGAMENTI CON ELEMENTI METALLICI A GAMBO CILINDRICO

- *Gli elementi metallici (connettori) possono essere:*
 - **CHIODI**
 - **VITI**
 - **PERNI, BULLONI, BULLONI CALIBRATI**
- *Il trasferimento del carico è determinato sia dal comportamento a rifollamento (compressione) del legno lungo il gambo dello spinotto che dal comportamento a flessione del connettore*
- *Per il calcolo della capacità portante della connessione si adotta la teoria di Johansen (1949)*

I CHIODI



- Lisci (a)
- Ad aderenza migliorata: elicoidali (b), con gambo a rilievi (c)

Si ricavano da filo in acciaio con resistenza ultima $f_{u,k} \geq 600 \text{ MPa}$

Si infiggono a martello senza preforatura o con preforatura ($d_f \leq 80\% d_c$) per i diametri più grandi o per legni duri, per evitare spaccature trasversali

Si utilizzano anche chiodatrici automatiche (pistole)



I CHIODI

Le dimensioni (diametro e lunghezza)



chiodi lisci:

$1.8 \times 35 \text{ mm}$



$8.8 \times 300 \text{ mm}$

chiodi ad elica:

$4.0 \times 40 \div 100 \text{ mm}$

$5.1 \times 80 \div 320 \text{ mm}$

$6.0 \times 60 \div 100 \text{ mm}$

chiodi ad anelli:

$2.5 \times 25 \div 70 \text{ mm}$

$2.9 \times 30 \div 70 \text{ mm}$

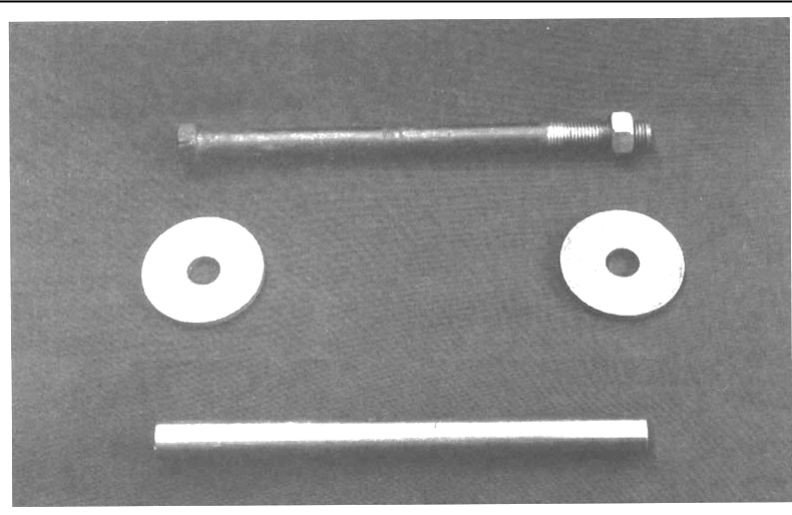
$3.1 \times 35 \div 90 \text{ mm}$

$4.0 \times 40 \div 100 \text{ mm}$

$6.0 \times 60 \div 330 \text{ mm}$

I chiodi si utilizzano principalmente a singola sezione di taglio

I BULLONI E I PERNI (SPINOTTI) ($d = 8-30 \text{ mm}$)



I bulloni sono tondi lisci di acciaio dolce con estremità filettate, inseriti in fori di diametro maggiore (+ 1 mm)

Classe del bullone	4,6	4,8	5,6	5,8	6,8
f_y (N/mm ²)	240	320	300	400	480
$f_{u,k}$ (N/mm ²)	400	400	500	500	600

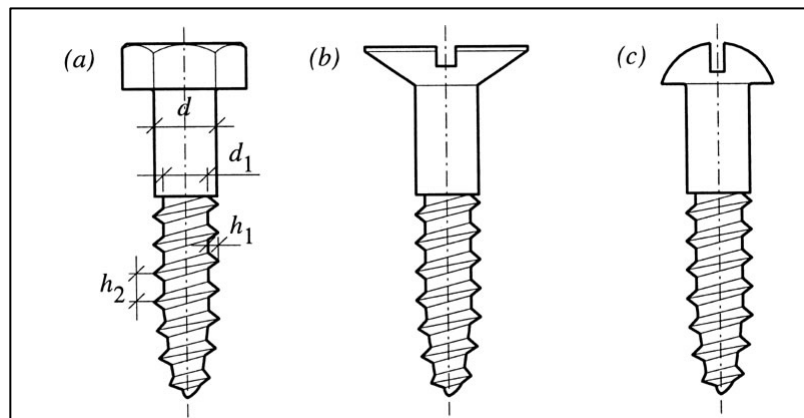
Il gioco foro-bullone riduce la rigidezza dell'unione

I perni o spinotti sono barre lisce di acciaio dolce senza filettatura che vengono inseriti a forza in fori aventi lo stesso diametro. Spesso sono svasati agli estremi per facilitare l'inserimento

Classe dell'acciaio	Fe360	Fe430	Fe510
f_y (N/mm ²)	235	275	355
$f_{u,k}$ (N/mm ²)	360	430	510

I bulloni e i perni si utilizzano in genere in unioni a più sezioni di taglio e con pezzi di spessore $\geq 30 \text{ mm}$

LE VITI



- A testa esagonale
- A testa piatta-svasata o tonda

Hanno un gambo inizialmente liscio di diametro d e poi filettato con diametro del nucleo $d_1 \approx 0,7 d$

La parte filettata è circa il 60% della lunghezza totale della vite

Le viti con $d \leq 5$ mm si avvitano direttamente nel legno

Quelle con $d > 5$ mm si inseriscono in sedi preforate con due diametri diversi (d per il tratto liscio e 70% di d per la parte filettata)

Esistono adesso anche viti "moderne" autoforanti che non richiedono preforatura

LE VITI

Le dimensioni (diametro e lunghezza)

Viti a testa svasata:
 $3 \text{ mm} \leq d \leq 10 \text{ mm}$
 $20 \text{ mm} \leq l \leq 400 \text{ mm}$



Viti a testa esagonale:
 $4 \text{ mm} \leq d \leq 20 \text{ mm}$
 $20 \text{ mm} \leq l \leq 400 \text{ mm}$

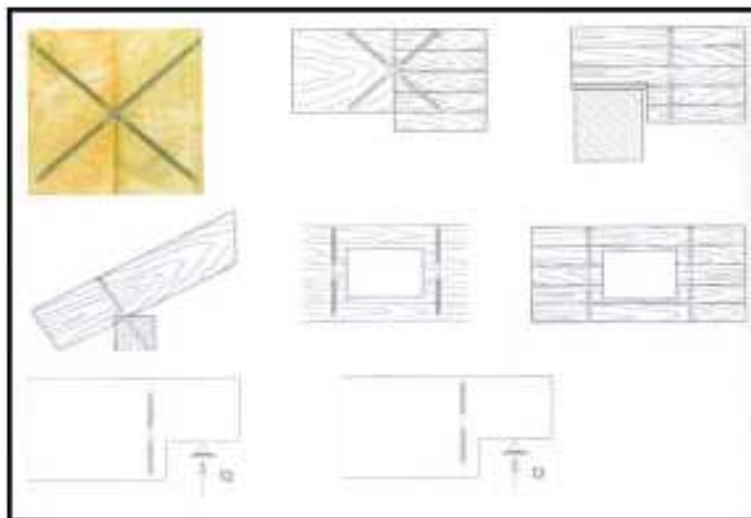


Anche le viti si utilizzano principalmente a singola sezione di taglio

LE VITI SPECIALI

Viti per impieghi specifici

Viti a doppio filetto: possono indurre stati di compressione trasversali fra elementi diversi di legno o all'interno dello stesso elemento



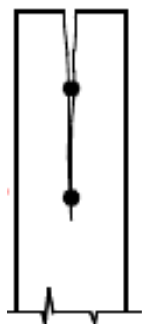
Si usano per il rinforzo di elementi nei quali nascono trazioni ortogonali alle fibre (fori, intagli, etc.)



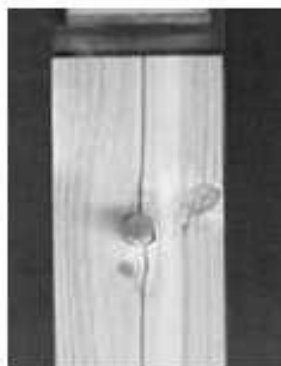
Dimensioni: 6.5 x 130 mm 8.2 x 160-300 mm

PROBLEMI GENERALI DELLE UNIONI

Per evitare rottture fragili occorre rispettare le distanze tra i connettori metallici ed i margini dai bordi e dalle estremità degli elementi lignei



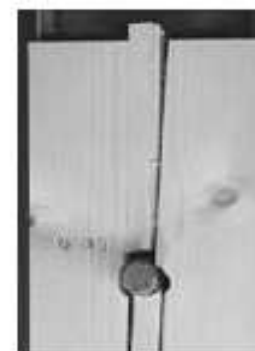
a)



Splitting



b)



Plug shear

Fenditura parallela alla fibratura

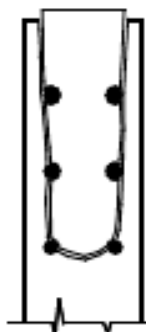
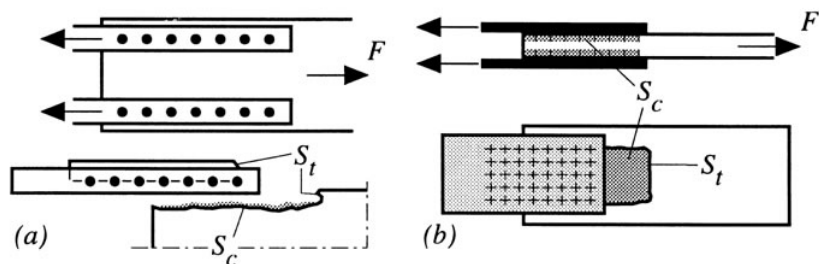
Espulsione di tasselli di legno in corrispondenza dei connettori

PROBLEMI GENERALI DELLE UNIONI

Rotture fragili dovute a disposizioni troppo ravvicinate di molti connettori (effetto di gruppo)

Strappo di una parte dell'elemento ligneo in corrispondenza di un gruppo di connettori

Rottura dell'elemento ligneo per trazione in corrispondenza della sezione indebolita



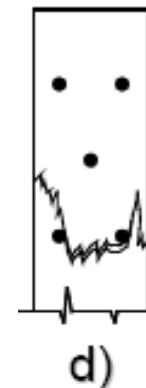
c)



Group tear out



Tension

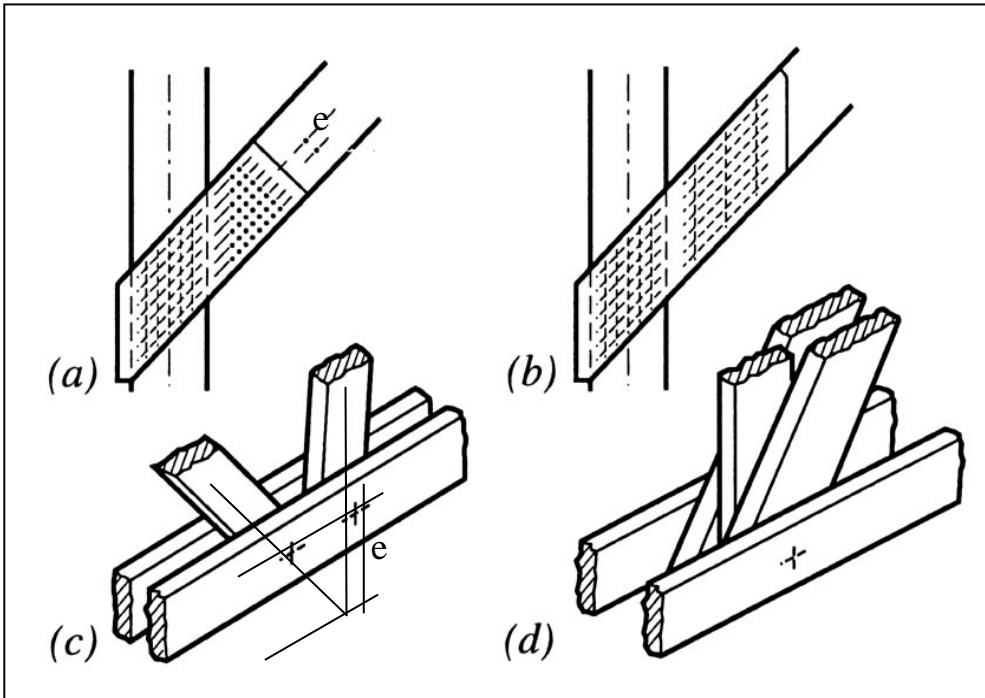


d)



PROBLEMI GENERALI DELLE UNIONI

Le unioni devono essere quanto più possibile simmetriche e concentriche. Si devono evitare eccentricità dovute anche alla cattiva disposizione dei connettori

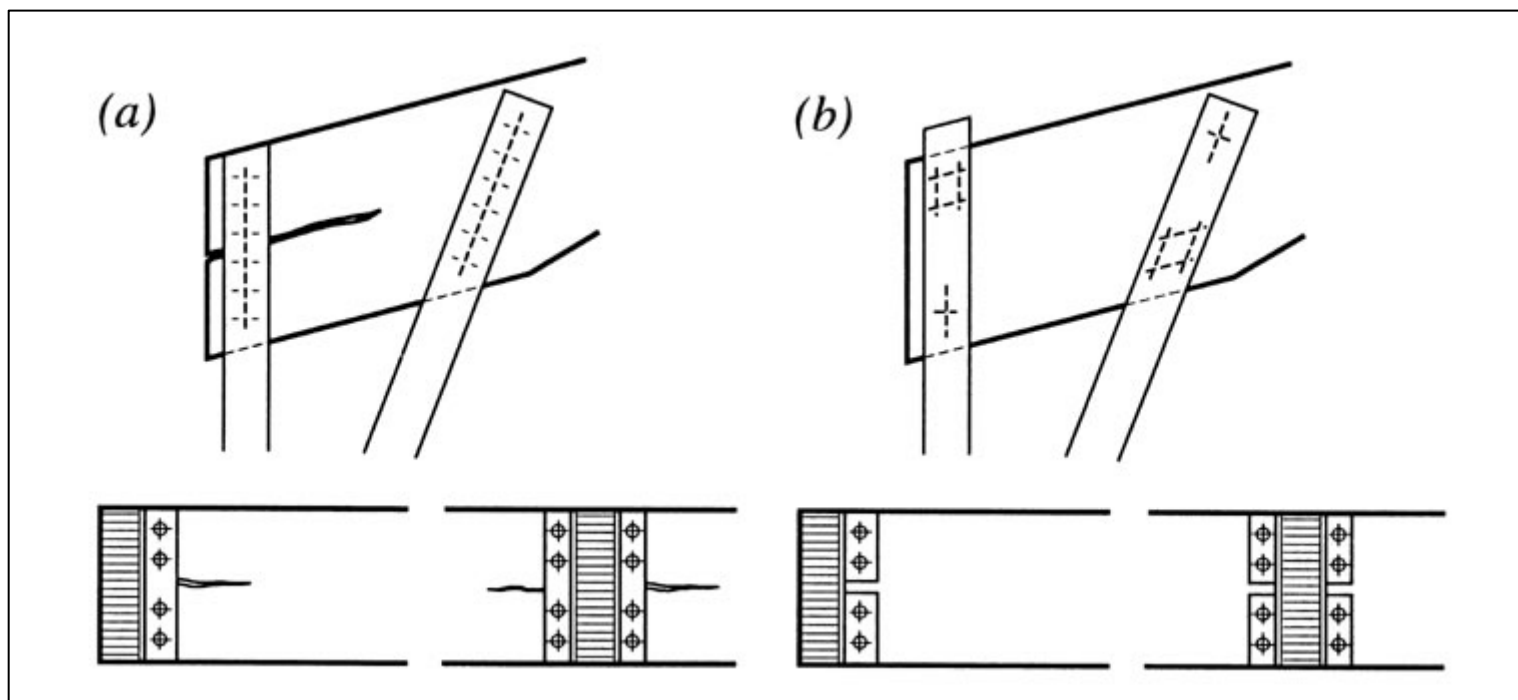


Eccentricità dovuta alla disposizione dei connettori
a) scorretta b) corretta

Eccentricità dovuta alla disposizione degli elementi lignei
c) scorretta d) corretta

PROBLEMI GENERALI DELLE UNIONI

Il ritiro ed il rigonfiamento dovuti alle variazioni di umidità, se impediti dal sistema di collegamento, possono dar luogo a trazioni ortogonali alle fibre che provocano fessurazioni parallele alle fibre



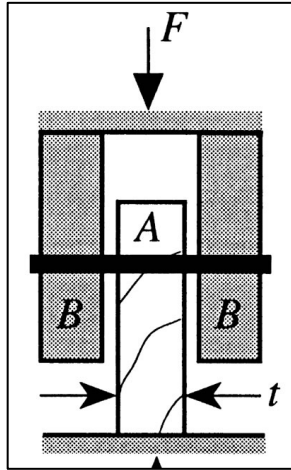
Fessurazioni da ritiro impedito da connessioni rigide

Soluzioni corrette che consentono i movimenti (anche con fori asolati)

TEORIA GENERALE DEI COLLEGAMENTI CON ELEMENTI METALLICI A GAMBO CILINDRICO (Teoria di JOHANSEN)

- *Le unioni possono essere del tipo legno-legno o legno-acciaio, ad 1 o più sezioni di taglio*
- *La trattazione è generale; poi si forniscono regole specifiche per i diversi tipi di connettori*
- *La resistenza è determinata ipotizzando un comportamento rigido-plastico sia del legno che del connettore metallico.*

La resistenza a RIFOLLAMENTO dell'elemento ligneo



La tensione di rifollamento $f_{h,k}$ si determina mediante specifiche prove sperimentali

$$f_{h,k} = F_{\max} / (d \cdot t) \quad [\text{N/mm}^2]$$

(EN 383 e EN 14358)

Diagramma sperimentale

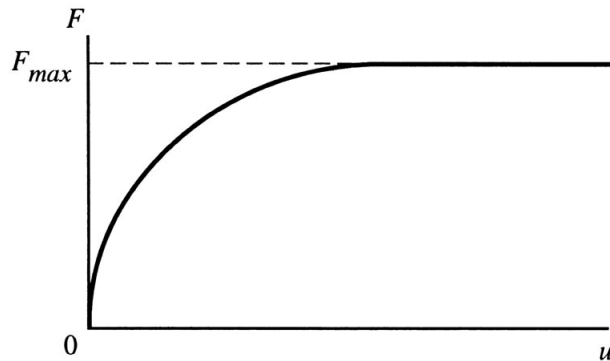
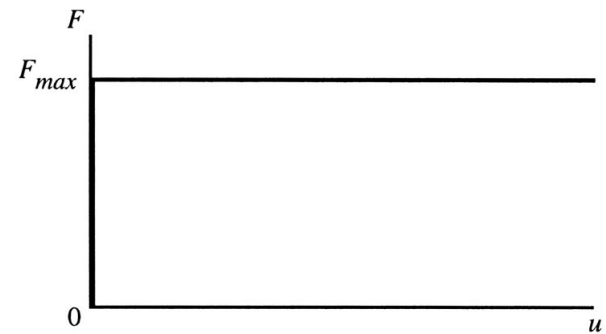


Diagramma teorico



$f_{h,k}$ dipende da:

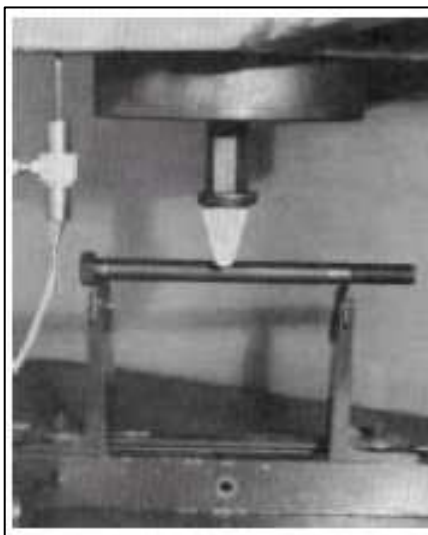
d = diametro connettore

ρ_k = massa volumica caratteristica del legno

α = inclinazione della forza rispetto alle fibre

Le norme forniscono espressioni di $f_{h,k}$
 $f_{h,k} = F(\rho_k, d)$

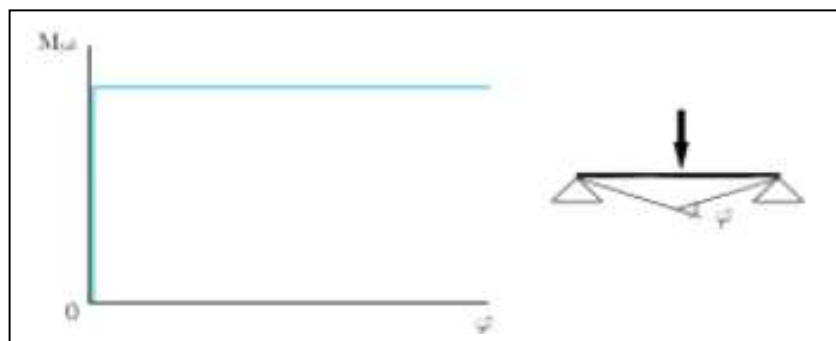
La resistenza a FLESSIONE del connettore metallico



Il momento di completa plasticizzazione $M_{y,k}$ si determina mediante prove sperimentali

$$M_{y,k} = f_{y,k} \cdot W_p \text{ [Nmm]}$$

(EN 409 e EN 14358)



$M_{y,k}$ dipende da:
 d = diametro connettore
 $f_{y,k}$ o $f_{u,k}$ = resistenza caratteristica allo snervamento o a rottura

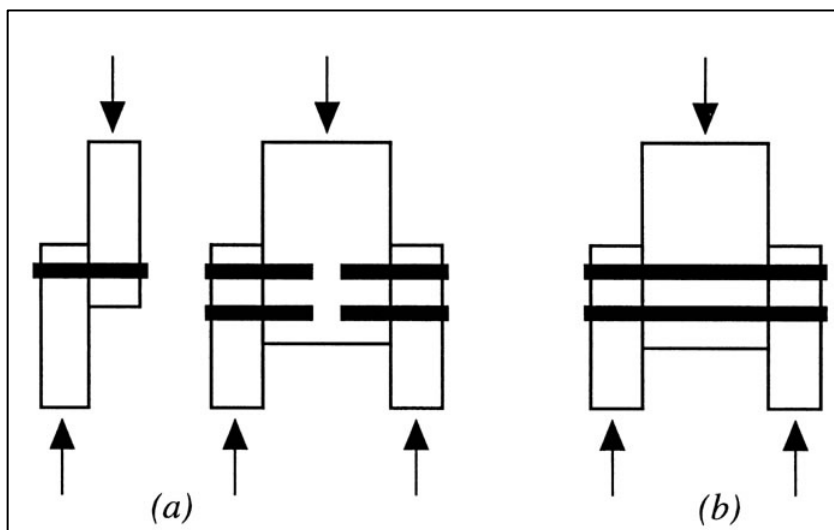
Le norme forniscono espressioni di $M_{y,k}$ per i vari tipi di connettori

Il calcolo della capacità portante della unione

La capacità portante (R_k) è valutata sempre per singola sezione resistente del connettore (per singolo piano o sezione di taglio)

La resistenza totale del connettore (R_{tot}) risulta:

$$R_{tot} = m \cdot R_k \quad \text{con } m = 1 \text{ o } 2$$

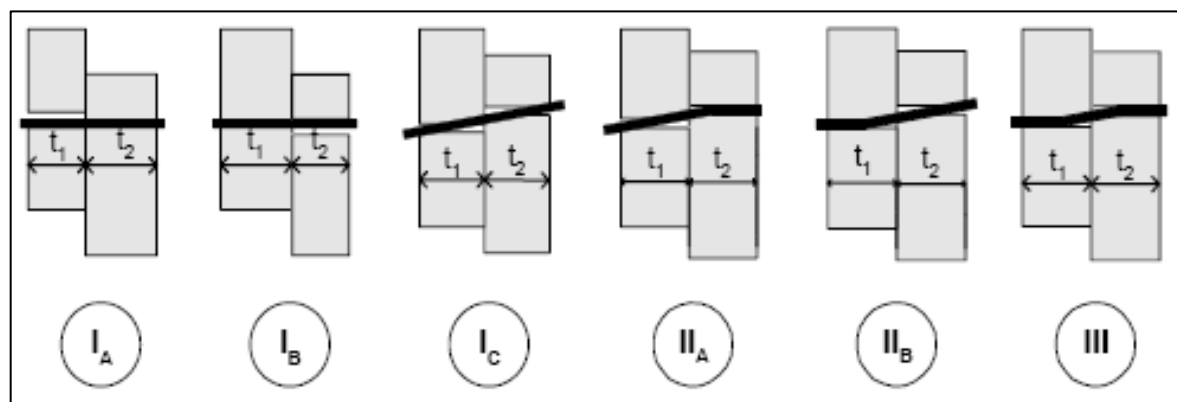


Si considerano solo
connessioni ad 1 o 2 piani
di taglio

a) ad 1 piano di taglio
b) a 2 piani di taglio

I meccanismi di rottura cambiano tra le unioni ad 1 piano di taglio e quelle a 2 piani di taglio

Connessioni LEGNO-LEGNO ad 1 piano di taglio



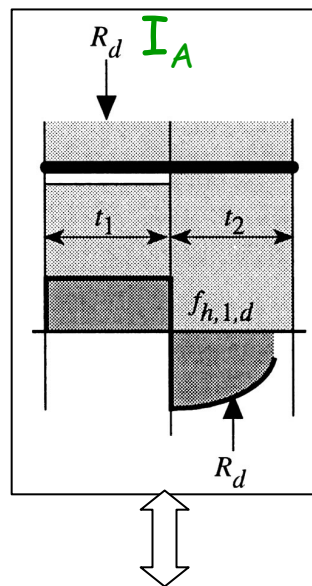
I possibili
meccanismi di
rottura

I_A (I_B): rifollamento del legno nell'elemento 1 (2)
 I_C : rifollamento del legno in entrambi gli elementi
 II_A (II_B): rifollamento parziale del legno e snervamento del connettore nel tratto 2 (1)
 III : rifollamento parziale del legno e snervamento in entrambi i tratti

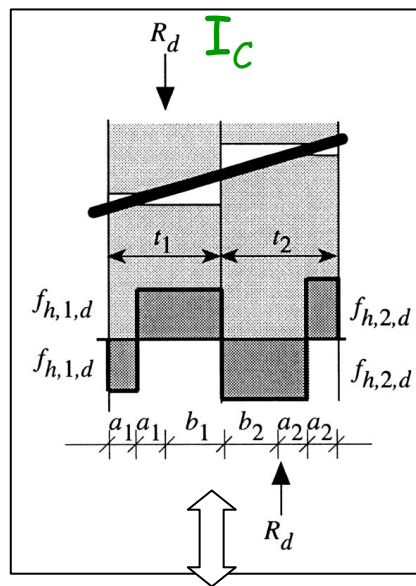
I dati: t_1 t_2 d (dimensioni geometriche)
 $f_{h,1,k}$ $f_{h,2,k}$ $\beta = f_{h,1,k} / f_{h,2,k}$ (resistenza del legno)
 $M_{y,k}$ (resistenza dell'elemento metallico)

Connessioni LEGNO-LEGNO ad 1 piano di taglio

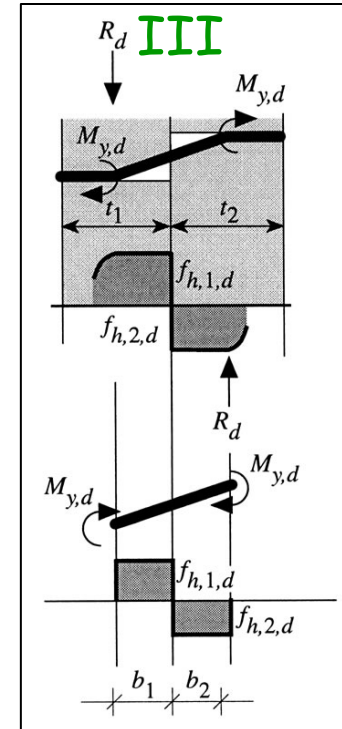
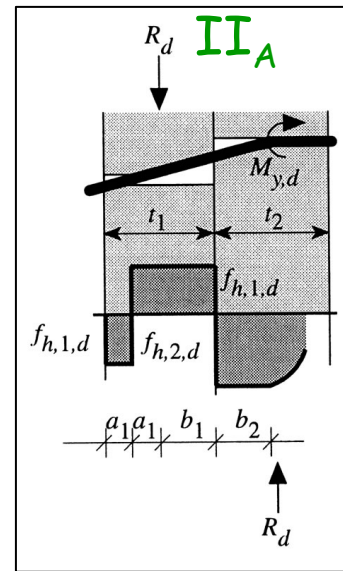
Per ciascun meccanismo di rottura la capacità portante (R_k) viene determinata definendo la distribuzione delle tensioni di rifollamento nel legno mediante condizioni di equilibrio



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



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



$$\xi = \beta \frac{(1+\theta)}{(1+\beta)} \left[\sqrt{1 + \frac{(1+\beta)}{\beta} \frac{(1+\beta\theta^2)}{(1+\theta)^2}} - 1 \right]$$

$$\theta = t_2/t_1$$

Connessioni LEGNO-LEGNO ad 1 piano di taglio

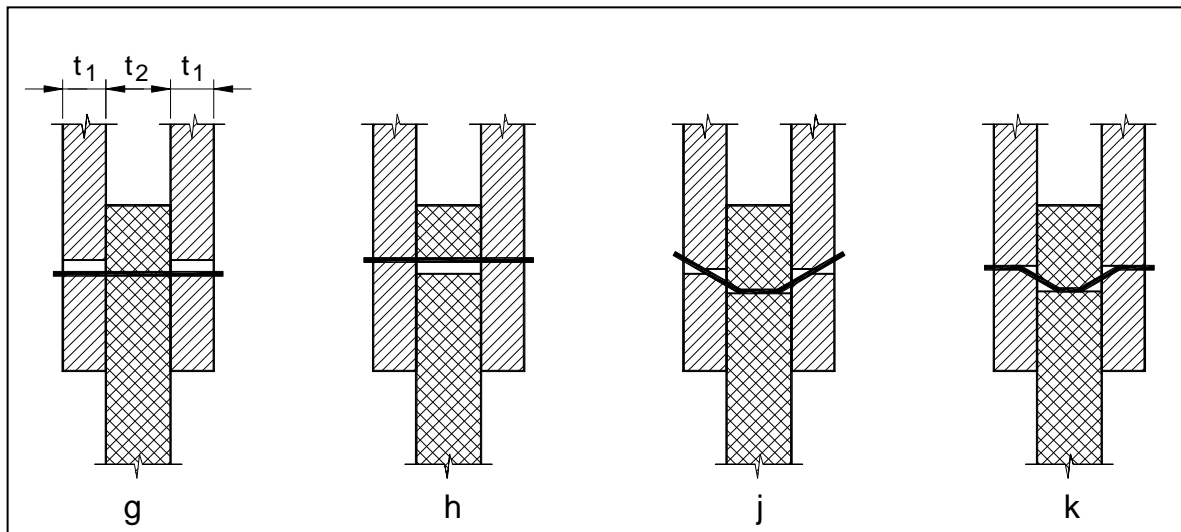
Capacità portante (R_k) per tutti i meccanismi di rottura

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

La capacità portante della connessione ($F_{v,Rk}$) è la minore di tutte le R_k

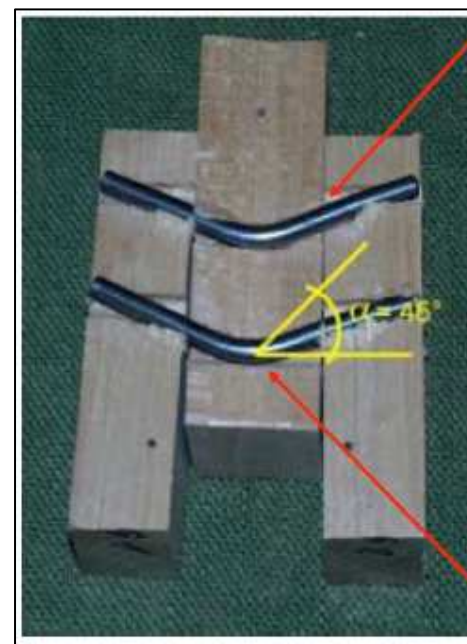
Resistenza di progetto della connessione: $F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot F_{v,Rk} / \gamma_m$ $\gamma_m = 1.3$ ~~1.5~~

Connessioni LEGNO-LEGNO a 2 piani di taglio



I possibili
meccanismi di
rottura

g: rifollamento del legno negli elementi esterni
h: rifollamento del legno nell'elemento interno
j: rifollamento del legno e snervamento
del connettore nella sezione centrale
k: rifollamento parziale del legno e snervamento
del connettore in tutti gli elementi



Connessioni LEGNO-LEGNO a 2 piani di taglio

Capacità portante (R_k) per tutti i possibili meccanismi di rottura

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

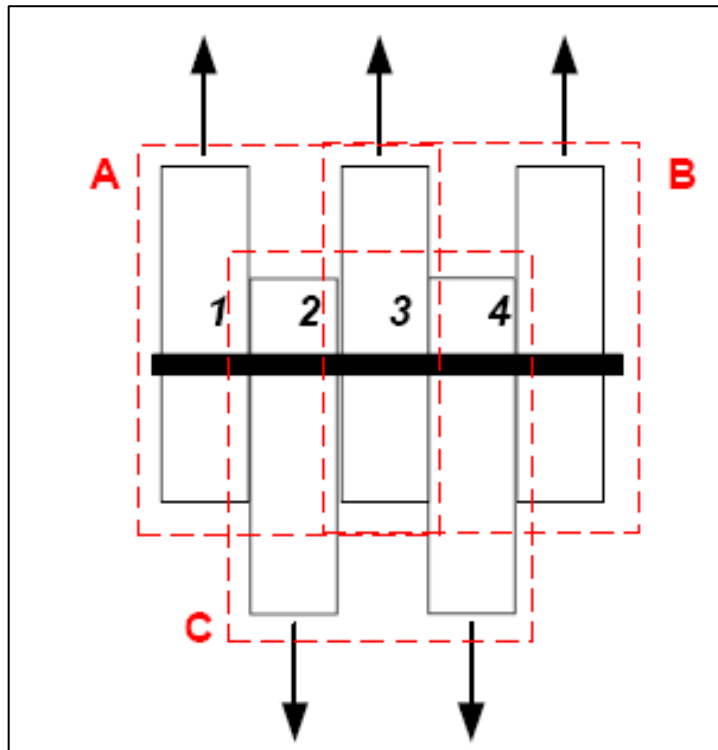
La capacità portante della connessione ($F_{v,Rk}$) è la minore di tutte le R_k

Resistenza di progetto della connessione: $F_{v,R,d} = k_{mod} \cdot F_{v,Rk} / \gamma_m$ ~~$\gamma_m = 1,3$~~ 1.5

Collegamenti a più di 2 piani di taglio (piani di taglio multipli)

Non si determina direttamente la capacità portante (R_k) per i possibili meccanismi di rottura

La resistenza globale della connessione è data dalla somma della resistenza minima di ciascuna sezione di taglio, considerata come appartenente ad una "sottoconnessione" a 2 piani di taglio



Sez.1 $R_k = \min [A]$

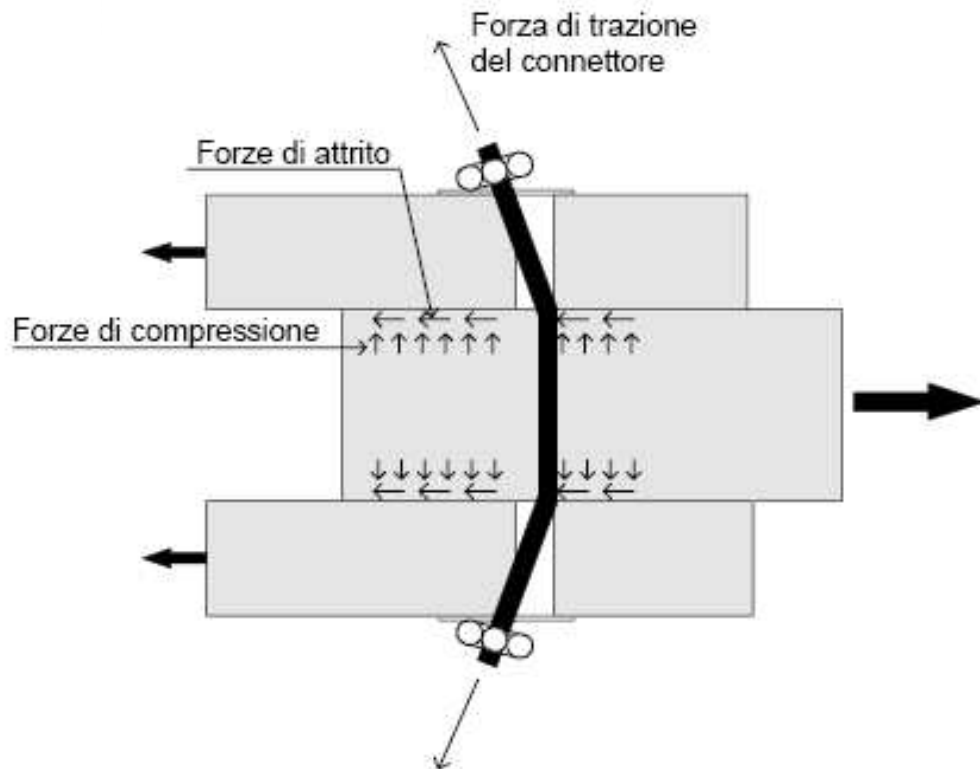
Sez.2 $R_k = \min [A - C]$

Sez.3 $R_k = \min [B - C]$

Sez.4 $R_k = \min [B]$

Resistenze aggiuntive della connessione : Effetto Fune

Nei modi di rottura con snervamento del connettore, esso, se dotato di resistenza assiale, lavorerà anche a trazione (oltre che a flessione e taglio)



Incremento di resistenza della connessione per:

- Attrito tra gli elementi collegati (dovuto alla compressione)
- Trazione nel gambo del connettore

Resistenze aggiuntive della connessione : Effetto Fune

L'incremento di resistenza per effetto fune si tiene in conto con:

- Coefficiente incrementativo (1.05-1.15) - attrito tra gli elementi collegati
- Termine aggiuntivo ($F_{ax,Rk}/4$) - trazione nel gambo del connettore

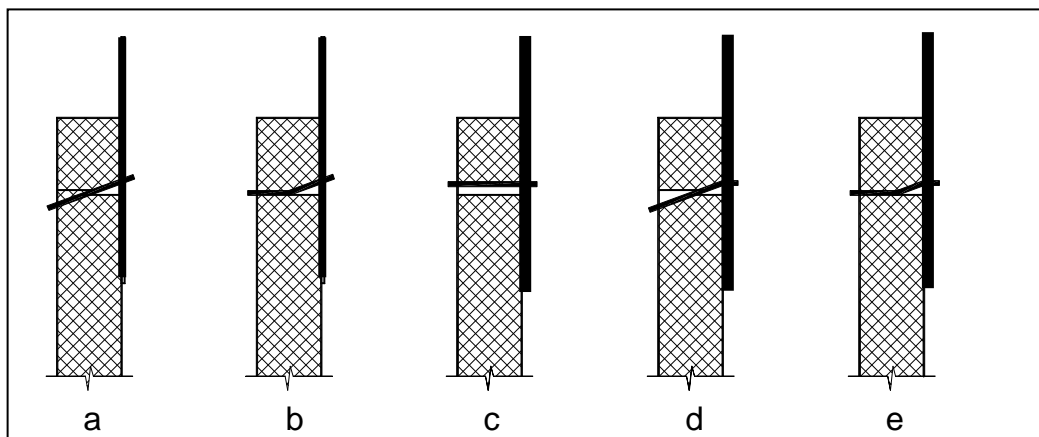
$F_{ax,Rk}$ = resistenza caratteristica all'estrazione del connettore

Il contributo per effetto fune ($F_{ax,Rk}/4$) deve essere limitato ad una aliquota della resistenza di Johansen, dipendente del tipo di connettore

viti	100%
chiodi a.m.	50%
chiodi quadri	25%
chiodi tondi	15%
culloni	25%
perni	0%

Connessioni LEGNO-ACCIAIO ad 1 piano di taglio

- piastre sottili ($t \leq d/2$) il perno ruota e non si può formare la cerniera plastica all'interfaccia legno-acciaio
- piastre spesse ($t > d/2$) il perno non può ruotare e si può formare la cerniera plastica all'interfaccia legno-acciaio



I possibili
meccanismi di
rottura

a - b piastra sottile
c - d - e piastra spessa

- a: rifollamento del legno con rotazione del connettore
b: rifollamento parziale del legno e snervamento del connettore nell'elemento
c: rifollamento del legno senza rotazione del connettore
d: rifollamento del legno e snervamento del connettore all'interfaccia
e: rifollamento parziale del legno e snervamento del connettore all'interfaccia

Connessioni LEGNO-ACCIAIO ad 1 piano di taglio

Capacità portante (R_k) per tutti i meccanismi di rottura

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

a

piastra sottile

b

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

c

d

piastra spessa

e

La capacità portante della connessione ($F_{v,Rk}$) è il minore di tutte le R_k

Resistenza di progetto della connessione: $F_{v,R,d} = k_{mod} \cdot F_{v,Rk} / \gamma_m$ $\gamma_m = 1.3$

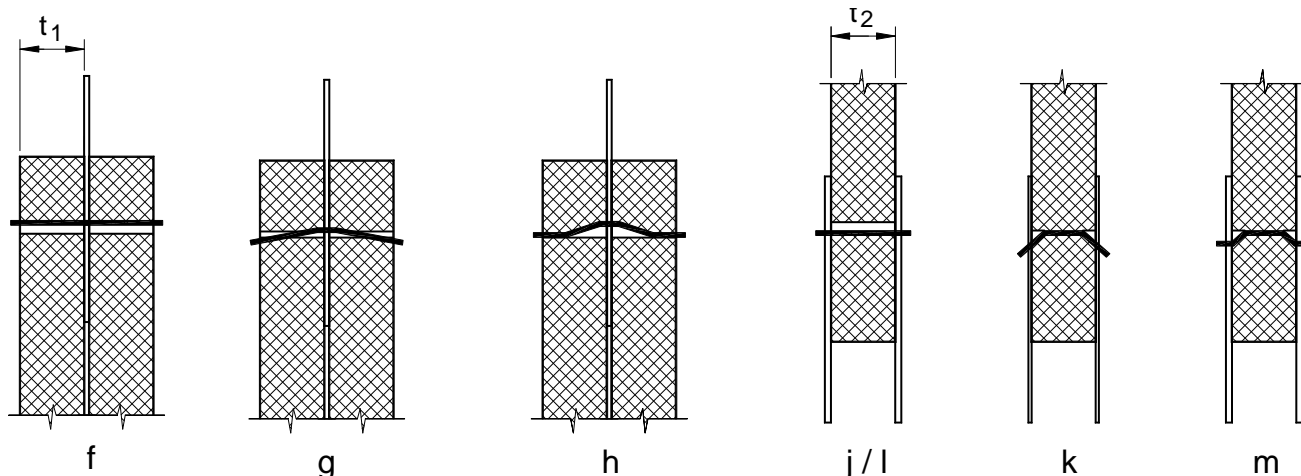
Connessioni LEGNO-ACCIAIO a 2 piano di taglio

- piastra centrale

non c'è differenza tra piastra spessa e piastra sottile

- piastre laterali

i meccanismi sono diversi tra piastra sottile e piastra spessa



I possibili
meccanismi di
rottura

k piastra sottile

m piastra spessa

f: rifollamento del legno senza rotazione del connettore

g: rifollamento del legno e snervamento del connettore all'interfaccia

h: rifollamento parziale del legno e snervamento del connettore

j/l: rifollamento del legno (piastre sottili o spesse)

k: rifollamento del legno e snervamento del connettore nell'elemento

m: rifollamento del legno e snervamento del connettore

Connessioni LEGNO-ACCIAIO a 2 piani di taglio

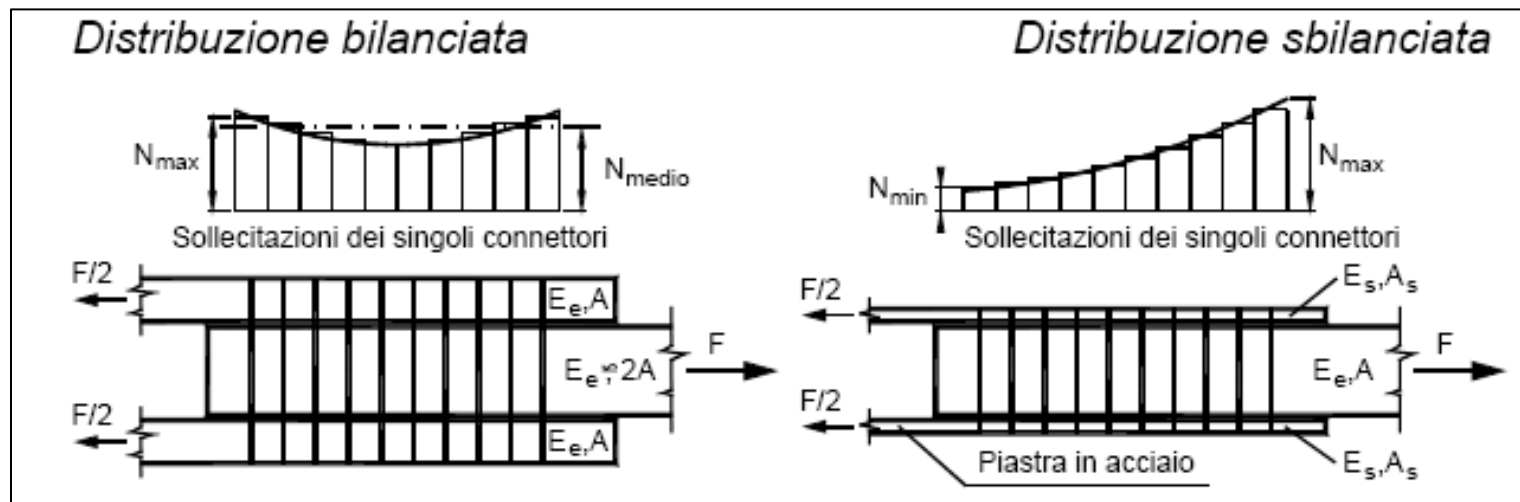
Capacità portante (R_k) per tutti i meccanismi di rottura

$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,k} t_1 d \\ f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,k}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,1,k}} d + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$	f	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p style="color: red;">piastra centrale (sottile o spessa)</p> </div>
	g	
	h	
$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5 f_{h,2,k} t_2 d \\ 1,15 \sqrt{M_{y,k} f_{h,2,k}} d + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$	j	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p style="color: red;">piastre laterali sottili</p> </div>
	k	
$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5 f_{h,2,k} t_2 d \\ 2,3 \sqrt{M_{y,k} f_{h,2,k}} d + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$	l	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p style="color: red;">piastre laterali spesse</p> </div>
	m	

La capacità portante della connessione ($F_{v,Rk}$) è il minore di tutte le R_k

Resistenza di progetto della connessione: $F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot F_{v,Rk} / \gamma_m \quad \gamma_m = 1.3$

Collegamenti con mezzi di unione multipli: effetto di gruppo - numero efficace di connettori (n_{eff})

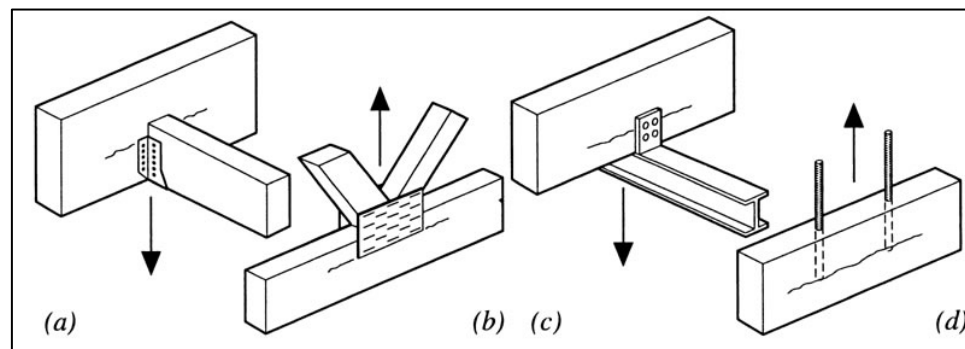
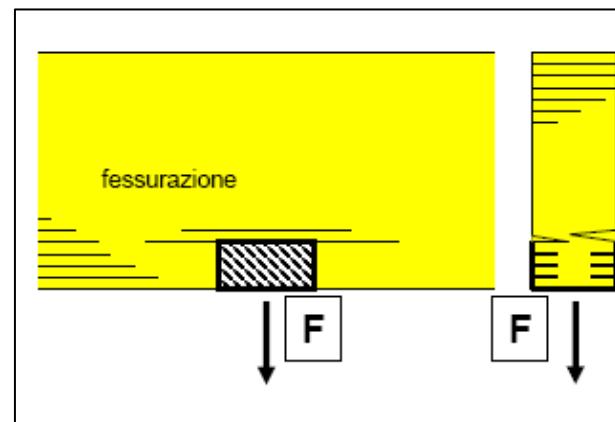
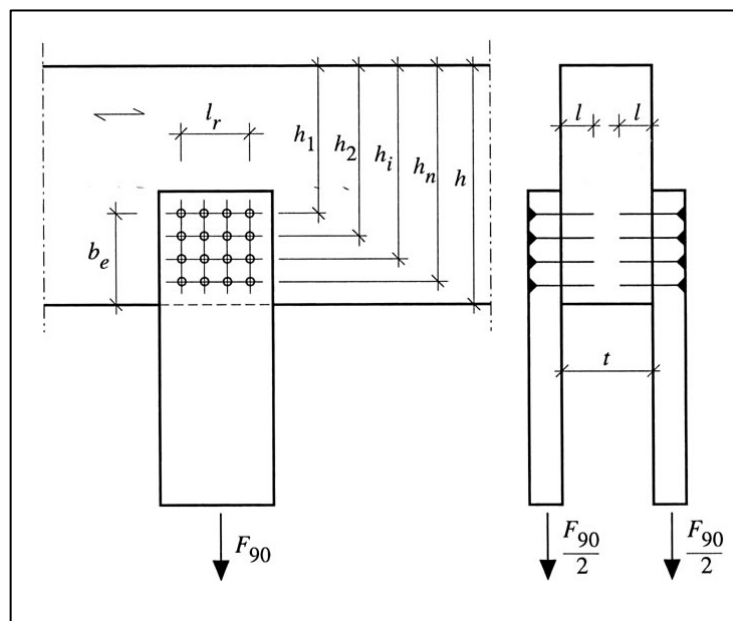


- Nel caso di unioni a molti connettori allineati non tutti sono ugualmente efficaci
- Esiste un numero massimo di connettori, per cui l'utilizzo di un elemento aggiuntivo non influenza in modo significativo la capacità portante dell'unione
- Si definisce un "numero efficace" (n_{eff}) per i connettori allineati, che è \leq al numero di quelli effettivamente presenti
- Il numero efficace (n_{eff}) dipende dal tipo di connettore: è maggiore per elementi poco rigidi e duttili (chiodi), minore per quelli più rigidi (bulloni)

PROBLEMI GENERALI DELLE UNIONI

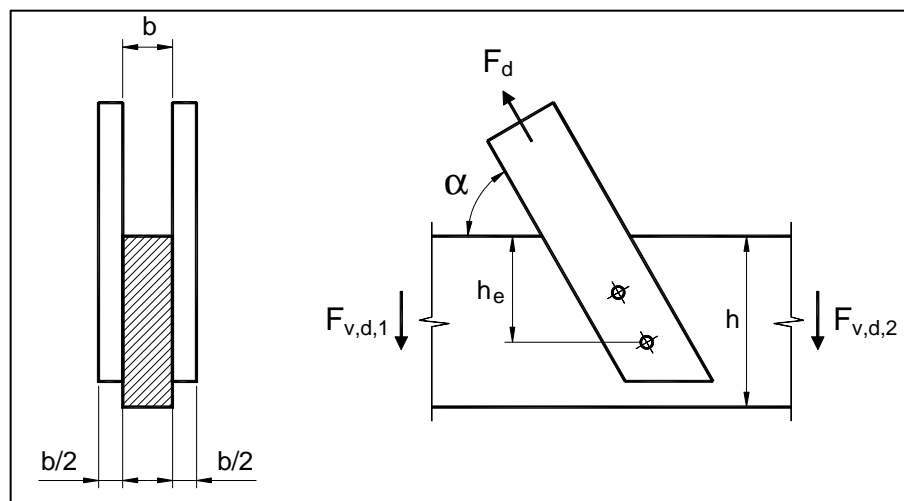
Forze di connessione inclinate rispetto alla fibratura

I collegamenti che devono trasmettere forze non parallele all'asse di uno degli elementi determinano trazioni ortogonali alla fibratura



Forze di connessione inclinate rispetto alla fibratura

La verifica convenzionale da normativa (CNR DT206)

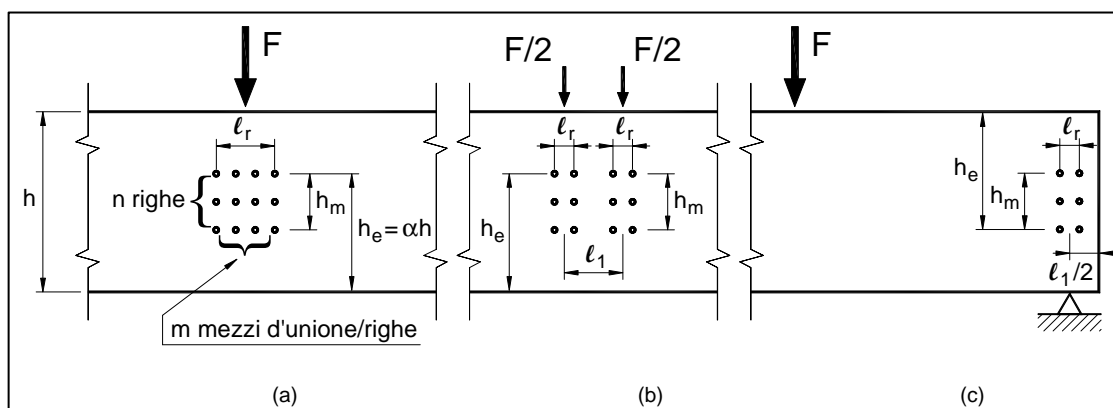


$$F_d \sin \alpha = F_{v,d,1} + F_{v,d,2}$$

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

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

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

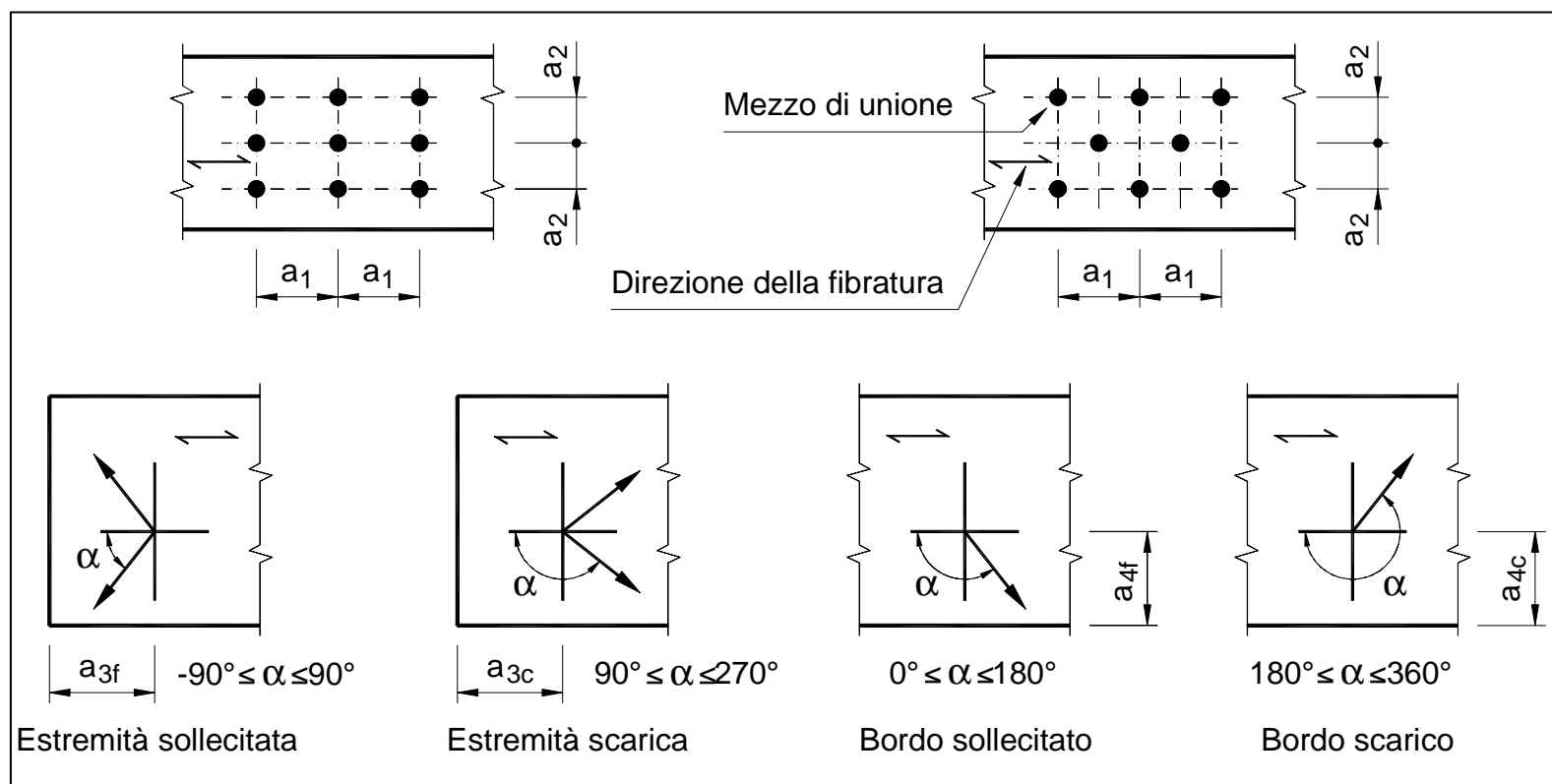


$$f_w = 1 + 0.75 \left(\frac{l_r + l_1}{h} \right) \leq 2$$

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

PROBLEMI GENERALI DELLE UNIONI

Per evitare rotture fragili occorre rispettare le distanze tra i connettori metallici ed i margini dai bordi e dalle estremità degli elementi lignei



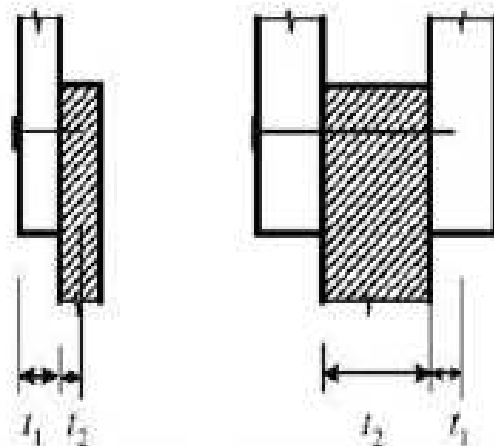
Regole specifiche per i diversi tipi di connettori: I CHIODI (1)

Spessori t_1 e t_2

t_1 e t_2 corrispondono alle lunghezze di infissione o allo spessore degli elementi come illustrato nelle figure

Lunghezze di infissione minime

$$l_{inf,min} = \begin{cases} 8d & \text{per i chiodi lisci} \\ 6d & \text{per gli altri} \end{cases}$$



Sovrapposizione

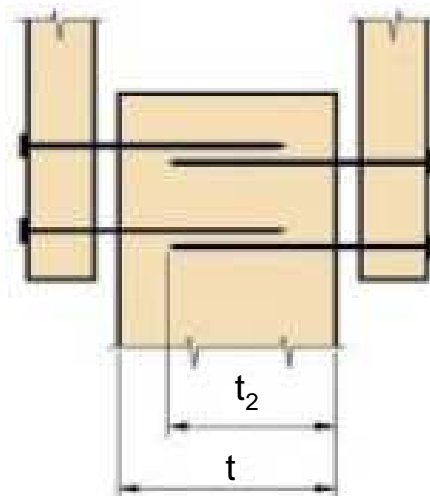
i chiodi possono sovrapporsi in direzione longitudinale se

$$t - t_2 > 4d$$

Preforatura

il preforo è necessario quando:

$$\rho_k > 500 \text{ kg/m}^3 \quad ; \quad d > 8 \text{ mm} \quad ; \quad t \leq \max \begin{cases} 7d \\ (13d - 30) \frac{\rho_k}{400} \end{cases}$$



Regole specifiche per i diversi tipi di connettori:

I CHIODI (2)

Le resistenze caratteristiche

- Resistenza caratteristica a rifollamento del legno [N/mm²]

$$f_{h,k} = 0,082 \rho_k d^{-0,3} \quad \text{senza preforatura} \quad \rho_k [\text{kg/m}^3]$$

$$f_{h,k} = 0,082 \rho_k (1 - 0,01 d) \quad \text{con preforatura} \quad d [\text{mm}]$$

- Resistenza allo snervamento per chiodi tondi [Nmm]

$$M_{y,k} = 0,13 f_{u,k} d^3$$

Il numero efficace dei connettori: $n_{ef} = n^{k_{ef}}$

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}

n = numero di chiodi in una fila

Regole specifiche per i diversi tipi di connettori: I CHIODI (3)

Interassi e distanze dai bordi

spaziature e distanze dall'estremità e dai bordi (figura 8.7)	angolo α	diametro d	senza preforo		con preforo
			$\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$	$\rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$	
a_1 (spaziatura longitudinale)	$0 \leq \alpha \leq 360$	$d < 5 \text{ mm}$: $d \geq 5 \text{ mm}$:	$(5 + 5 \cos \alpha) d$ $(5 + 7 \cos \alpha) d$	$(7 + 8 \cos \alpha) d$	$(4 + \cos \alpha) d$
a_2 (spaziatura trasversale)	$0 \leq \alpha \leq 360$		$5 d$	$7 d$	$(3 + \sin \alpha) d$
$a_{3,t}$ (distanza dall'estremità caricata)	$-90 \leq \alpha \leq 90$		$(10 + 5 \cos \alpha) d$	$(15 + 5 \cos \alpha) d$	$(7 + 5 \cos \alpha) d$
$a_{3,c}$ (distanza dall'estremità non caricata)	$90 \leq \alpha \leq 270$		$10 d$	$15 d$	$7 d$
$a_{4,t}$ (distanza dal bordo caricato)	$0 \leq \alpha \leq 180$	$d < 5 \text{ mm}$: $d \geq 5 \text{ mm}$:	$(5 + 2 \sin \alpha) d$ $(5 + 5 \sin \alpha) d$	$(7 + 2 \sin \alpha) d$ $(7 + 5 \sin \alpha) d$	$(3 + 2 \sin \alpha) d$ $(3 + 4 \sin \alpha) d$
$a_{4,c}$ (distanza dal bordo non caricato)	$180 \leq \alpha \leq 360$		$5 d$	$7 d$	$3 d$
le spaziature minime possono essere ridotte del:					
			15%	nel caso di unioni legno-pannello	
			30%	nel caso di unioni legno-acciaio	

Regole specifiche per i diversi tipi di connettori: I BULLONI E GLI SPINOTTI (1)

Le resistenze caratteristiche

- Resistenza caratteristica a rifollamento del legno [N/mm²]

Si deve tener conto dell'inclinazione α dello sforzo rispetto alla fibratura

$$f_{h,\alpha,k} = f_{h,o,k} / (k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha)$$

$$f_{h,o,k} = 0,082 \rho_k (1 - 0,01 d)$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 d \quad (\text{per le conifere})$$

- Resistenza allo snervamento del perno [Nmm]

$$M_{y,k} = 0,08 f_{u,k} d^3$$

Il numero efficace dei connettori:

$$n_{\text{eff}} = \min \left(n, \quad n^{0,9} \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \right)$$

Regole specifiche per i diversi tipi di connettori: I BULLONI E GLI SPINOTTI (2)

Interassi e distanze dai bordi

per i bulloni:

Tabella 8.4 – Valori minimi di spaziatura, distanza dalle estremità, e distanza dai bordi per le unioni legno-legno con bulloni

spaziature e distanze dall'estremità e dai bordi (figura 8.7)	angolo α	valori minimi
a_1 (spaziatura longitudinale)	$0 \leq \alpha \leq 360$	$(4 + \cos \alpha) d$
a_2 (spaziatura trasversale)	$0 \leq \alpha \leq 360$	$4 d$
$a_{3,t}$ (distanza dall'estremità caricata)	$-90 \leq \alpha \leq 90$	$7 d$ [ma non meno di 80 mm]
$a_{3,c}$ (distanza dall'estremità non caricata)	$90 \leq \alpha \leq 270$	$(1 + 6 \sin \alpha) d$ [ma non meno di 4 d]
$a_{4,t}$ (distanza dal bordo caricato)	$0 \leq \alpha \leq 180$	$(2 + 2 \sin \alpha) d$ [ma non meno di 3 d]
$a_{4,c}$ (distanza dal bordo non caricato)	$180 \leq \alpha \leq 360$	$3 d$

per i perni:

Tabella 8.5 – Valori minimi di spaziatura, distanza dalle estremità, e distanza dai bordi per le unioni legno-legno con perni

spaziature e distanze dall'estremità e dai bordi (figura 8.7)	angolo α	valori minimi
a_1 (spaziatura longitudinale)	$0 \leq \alpha \leq 360$	$(3 + 2 \cos \alpha) d$
a_2 (spaziatura trasversale)	$0 \leq \alpha \leq 360$	$3 d$
$a_{3,t}$ (distanza dall'estremità caricata)	$-90 \leq \alpha \leq 90$	$7 d$ [ma non meno di 80 mm]
$a_{3,c}$ (distanza dall'estremità non caricata)	$90 \leq \alpha \leq 150$	$(a_{3,t} \sin \alpha) d$ [ma non meno di 3 d]
	$150 \leq \alpha \leq 210$	$3 d$
	$210 \leq \alpha \leq 270$	$(a_{3,t} \sin \alpha) d$ [ma non meno di 3 d]
$a_{4,t}$ (distanza dal bordo caricato)	$0 \leq \alpha \leq 180$	$(2 + 2 \sin \alpha) d$ [ma non meno di 3 d]
$a_{4,c}$ (distanza dal bordo non caricato)	$180 \leq \alpha \leq 360$	$3 d$

Regole specifiche per i diversi tipi di connettori: **LE VITI**

Resistenze, interassi e distanze dai bordi, numero efficace

- Per le viti con ($d > 6 \text{ mm}$) valgono le regole degli **spinotti**
- Per le viti con ($d \leq 6 \text{ mm}$) valgono le regole dei **chiodi**

d = diametro della parte liscia

Altre prescrizioni

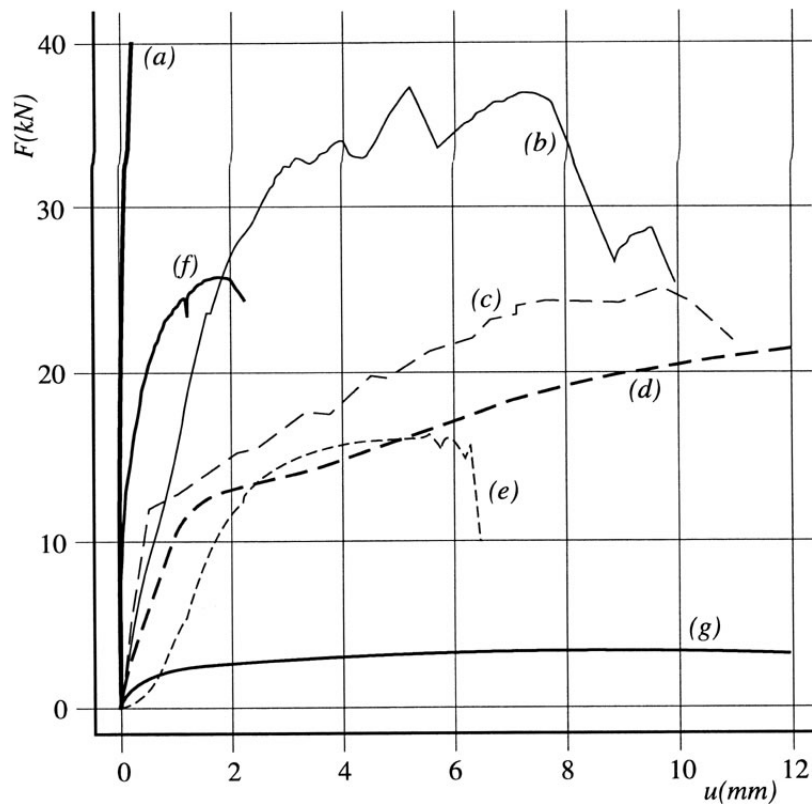
- Lunghezza minima di infissione = $6d$
- Diametro efficace (per i calcoli di resistenza):

$$d_{\text{eff}} = d \text{ (parte liscia) se } l_{\text{penetrazione gambo liscio}} > 4d$$

$$d_{\text{eff}} = 1,1 d_n \text{ (nucleo filettato) se } l_{\text{penetrazione gambo liscio}} < 4d$$

La deformabilità delle unioni

Il comportamento deformativo di diverse tipologie di collegamenti



- a) collegamento incollato (12500 mm^2);
- b) anello ($d = 100 \text{ mm}$);
- c) piastra dentata ($d = 62 \text{ mm}$);
- d) perno ($d = 14 \text{ mm}$);
- e) bullone ($d = 14 \text{ mm}$);
- f) piastra stampata ($100 \times 100 \text{ mm}^2$);
- g) chiodo ($d = 4.4 \text{ mm}$)

Haller, P. (1998)

La deformabilità delle unioni

A parità di resistenza, unioni con connettori di tipo diverso esibiscono diversa rigidità

Elementi di collegamento	Numero	A_j (10^3 mm^2)	R_d (10^3 N)	K_{ser} (10^3 N/mm)
Connettori ad anello $d_c = 100 \text{ mm}$	2	266	52,6	45,6
spinotti $d = 24 \text{ mm}$	2	242	51,2	35,6
spinotti $d = 14 \text{ mm}$	4	165	52,4	41,5
spinotti $d = 9 \text{ mm}$	8	136	53,7	53,3
chodi $d = 3,4 \text{ mm}, l = 80$	2 x 38	240	52,9	59,9

La deformabilità delle unioni

La rigidezza di una tipologia di unione dipende dalla densità del legno e dal diametro dell'elemento di connessione

Valori di k_{ser} (in N/mm) in unioni legno-legno, per singolo elemento di collegamento e per piano di taglio, in funzione del diametro dell'elemento (diametro d in mm, massa volumica del legno in kg/m^3)

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)

I CONNETTORI SPECIALI

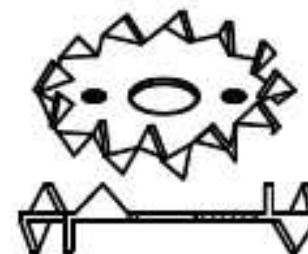
Collegamenti con *connettori metallici di superficie* (EN 912)



Piastre dentate ($d_n = 50 \div 160$ mm)

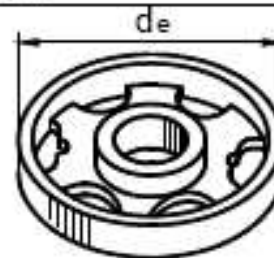
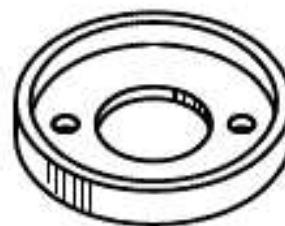


Tipo C1-C9



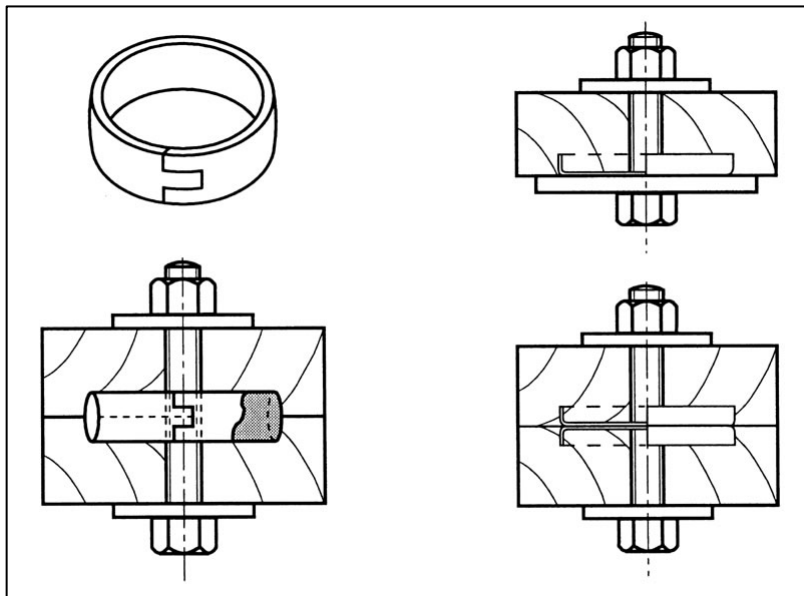
Tipo C10-C11

Anelli e caviglie ($d_n = 50 \div 160$ mm)

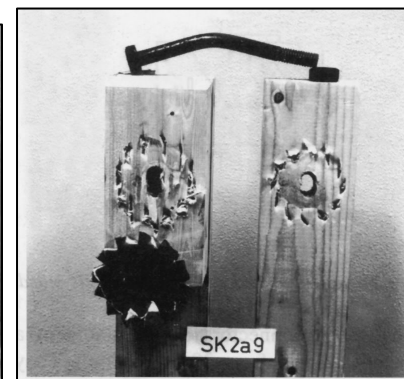
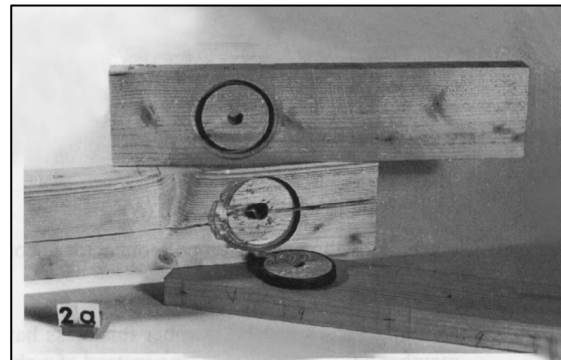
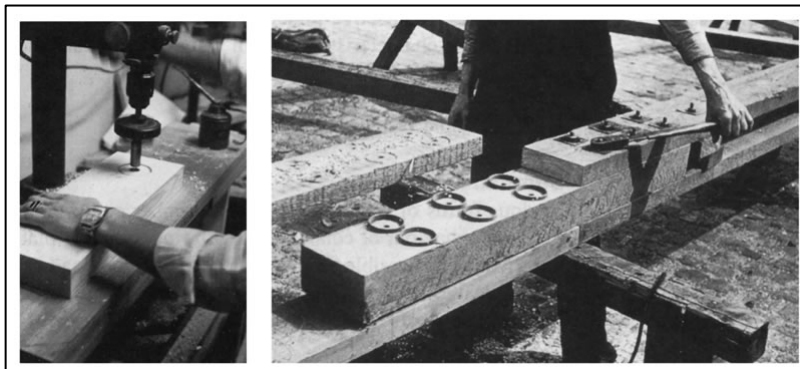
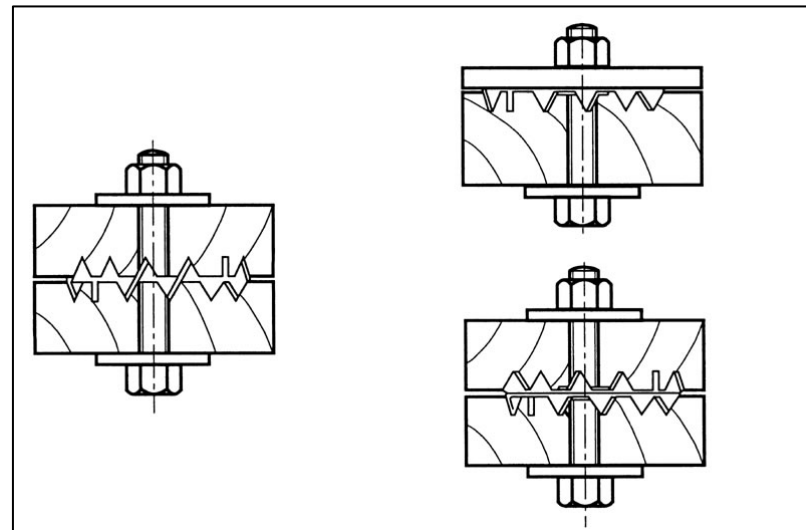


I CONNETTORI SPECIALI

Anelli e caviglie

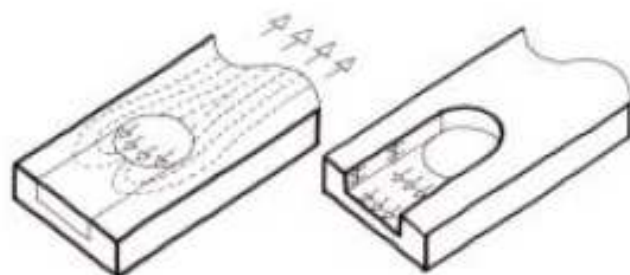


Piastre dentate

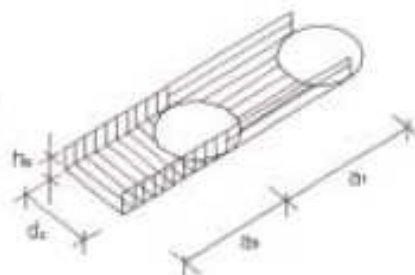


I CONNETTORI SPECIALI

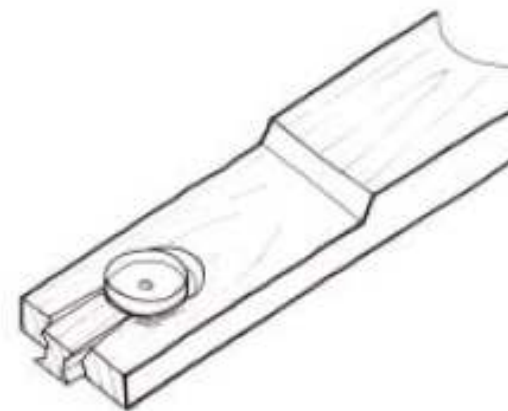
Modalità di rottura anelli e caviglie



Modalità di trasmissione degli sforzi



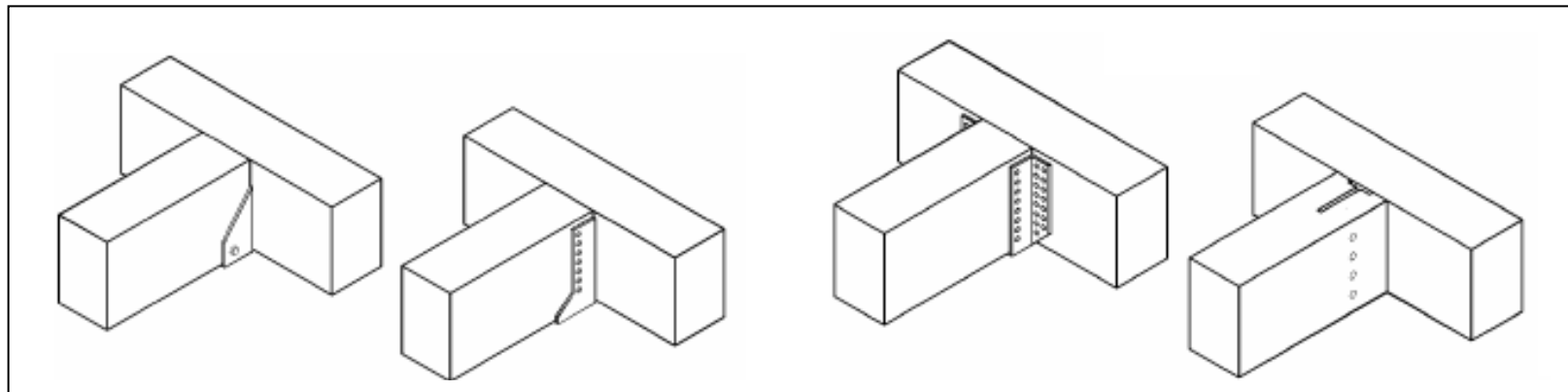
Modello meccanico di comportamento



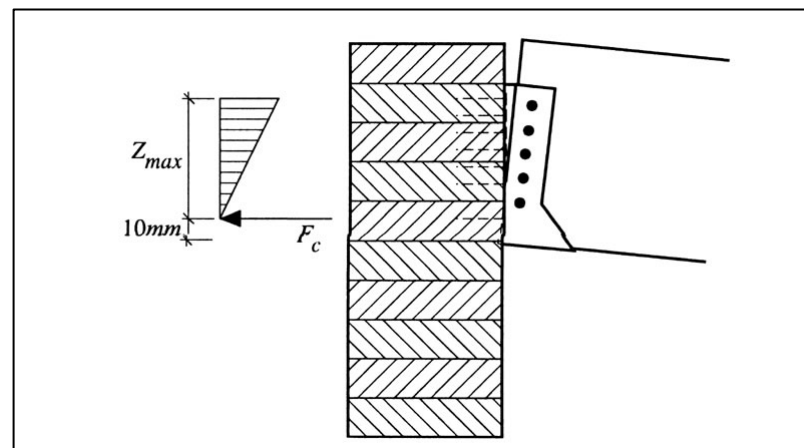
Modalità di rottura reale

- ***rifollamento*** del legno sotto l'azione del connettore
- ***fenditura*** (trazione ortogonale alla fibratura) degli elementi lignei (effetto cuneo)
- ***taglio*** del legno associato all'espulsione di un tassello di legno in corrispondenza del connettore più vicino al bordo

I COLLEGAMENTI CON PIASTRE E SCARPETTE METALLICHE CHIODATE



lamierino metallico sagomato a freddo

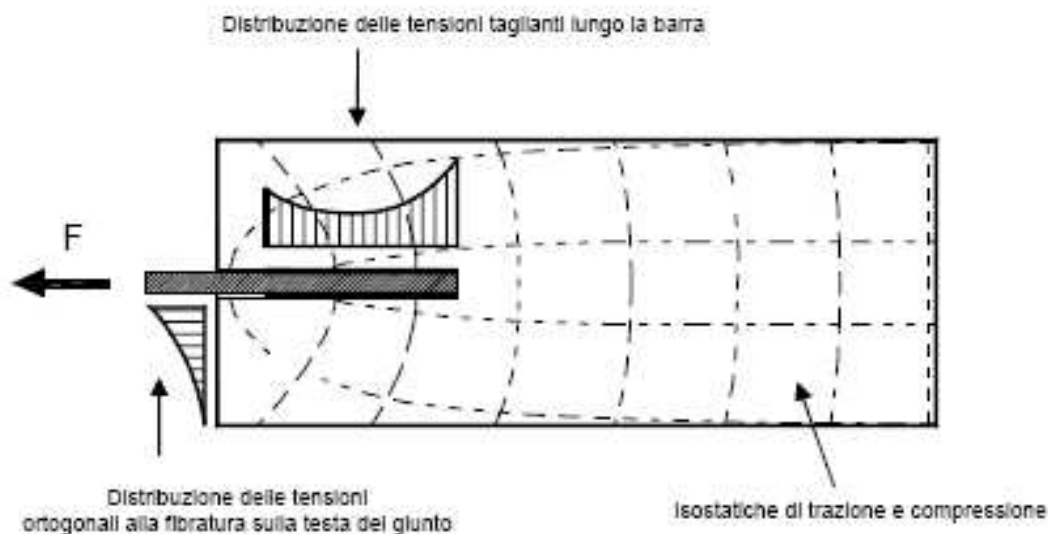


LE BARRE METALLICHE INCOLLATE

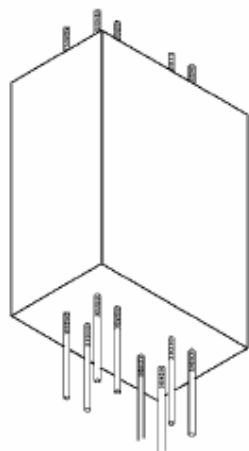
Si utilizzano barre di acciaio inserite in fori cilindrici ed incollate al legno con resine epossidiche

Le barre possono essere sollecitate a taglio o a trazione o in entrambe le direzioni

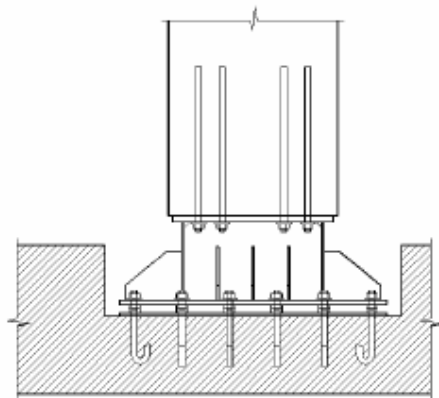
Comportamento a rottura di una barra incollata soggetta a trazione



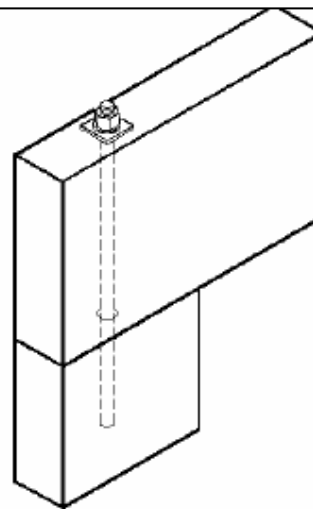
UTILIZZO DELLE BARRE METALLICHE INCOLLATE



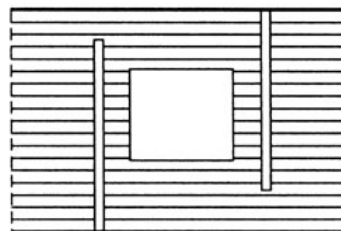
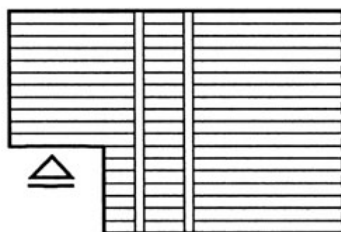
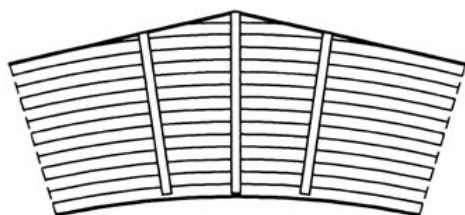
Incastro di base



Nodo d'angolo a momento



Collegamenti
rigidi



Rinforzi