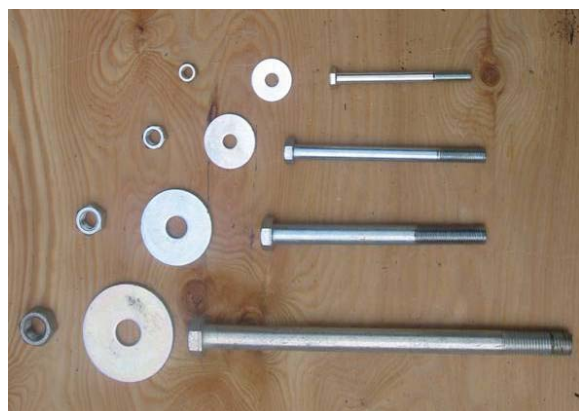


promo\_legno

## Sistemi di connessioni Connessioni a gambo cilindrico

Marco Ballerini



## PARTE H: Connessioni

### **Parte H2: Le connessioni con elementi a gambo cilindrico**

( autore: ing. Marco Ballerini )

#### **Contenuti:**

- 1** *Connettori meccanici a gambo cilindrico; tipologie di connessione con connettori a gambo cilindrico*
- 2** *Modello di calcolo per sollecitazioni perpendicolari all'asse del connettore*
  - *osservazioni introduttive*
  - *teoria di Johansen*
    - resistenza di rifollamento e momento plastico del connettore*
  - *resistenza di connessioni legno-legno - EC5 (2003)*
  - *resistenza di connessioni legno-acciaio - EC5 (2003)*
  - *spaziature, distanze dall'estremità e dai bordi, numero efficace - EC5 (2003)*
  - *verifiche di resistenza complementari (plug-shear & splitting) - EC5 (2003)*
- 3** *Dimensionamento di una connessione con chiodi*
- 4** *Rigidezza delle connessioni con connettori cilindrici*
- 5** *Efficienza ed ingombro dei connettori cilindrici*
- 6** *Dimensionamento di una connessione con perni e bulloni calibrati*
- 7** *Modello di calcolo per sollecitazioni parallele all'asse del connettore*
- 8** *Dimensionamento della connessione di una scarpa di appoggio*

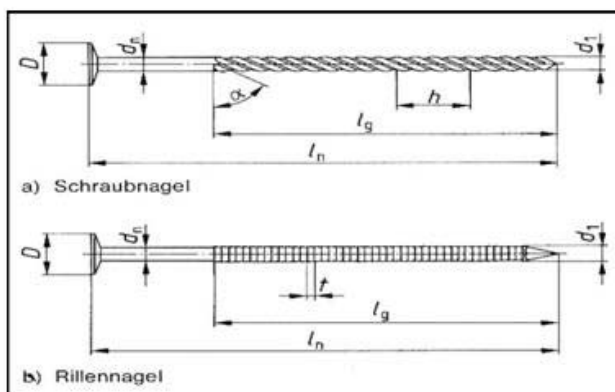
## 1.1 Tipologie di connettori a gambo cilindrico:

- ❖ **Chiodi**
- ❖ **Viti**
- ❖ **Perni (o spinotti), bulloni calibrati, bulloni**

### **Chiodi:**

Sono in genere realizzati in filo di acciaio con tensione di rottura  $f_u \geq 600 \text{ MPa}$

Si hanno due categorie: chiodi lisci e chiodi ad adherenza migliorata (ad anelli e a elica)



Possono essere infissi a martello (in sedi preforate per i diametri più grandi) o con chiodatrici automatiche



**dimensioni:**

**chiodi lisci:**

**1.8 x 35 mm**



**8.8 x 300 mm**

**chiodi ad elica:**

**4.0 x 40 ÷ 100 mm**

**5.1 x 80 ÷ 320 mm**

**6.0 x 60 ÷ 100 mm**

**chiodi ad anelli:**

**2.5 x 25 ÷ 70 mm**

**2.9 x 30 ÷ 70 mm**

**3.1 x 35 ÷ 90 mm**

**4.0 x 40 ÷ 100 mm**

**6.0 x 60 ÷ 330 mm**

	glattschaftige Nägel		profilierte Nägel	
	runde Drahtstifte $\overset{+2d_n}{\text{---}}$	runde Maschinenstifte $\overset{+2d_n}{\text{---}}$	Schraubnägel $\overset{\alpha}{\text{---}}$	Rillennägel $\overset{\alpha}{\text{---}}$
maßgebende Norm bzw. Eignungsnachweis	DIN 1151	DIN 1143 Teil 1	Einstufungsschein (siehe Anhang C)	
Nagelmaße $d_n \times l_n$ [ $\frac{1}{10}$ mm x mm] bzw. [mm x mm]	18 x 35 20 x 40 22 x 45 22 x 50 25 x 55 25 x 60 28 x 65 31 x 65 31 x 70 31 x 80 34 x 80 34 x 90	38 x 100 42 x 100 42 x 110 42 x 120 46 x 130 55 x 140 55 x 160 60 x 180 70 x 210 76 x 230 76 x 260 88 x 260	18 x 35 20 x 40 20 x 45 22 x 50 25 x 55 25 x 60 28 x 65 31 x 70 31 x 80 34 x 90	4,0 x 40 4,0 x 50 4,0 x 60 4,0 x 75 4,0 x 100 5,1 x 80 5,1 x 100 5,1 x 110 5,1 x 125 5,1 x 150 5,1 x 180 5,1 x 210 5,1 x 236
			5,1 x 260 5,1 x 280 5,1 x 300 5,1 x 320 6,0 x 60 6,0 x 80 6,0 x 100 6,0 x 100	2,5 x 25... (5°)... 70 2,9 x 30... (5°)... 70 3,1 x 35... (5°)... 80, 90 4,0 x 40... (10°)... 70 4,0 x 75 4,0 x 100 6,0 x 60 6,0 x 80 6,0 x 100 6,0 x 110... 330
Bezeichnung (Beispiel)	Na (Na 42 x 100)	Na (Na 34 x 90)	SNa (SNa 4,0 x 60)	RNa (RNa 4,0 x 60)
Gewindesteigung $\alpha$			sehr gering ( $\geq 5^\circ$ bis $20^\circ$ ) gering ( $\geq 20^\circ$ bis $55^\circ$ ) mittel ( $\geq 55^\circ$ bis $65^\circ$ ) groß ( $\geq 65^\circ$ bis $75^\circ$ ) extra groß ( $\geq 75^\circ$ bis $85^\circ$ )	$< 5^\circ$

<sup>1)</sup> Klammerwerte: Stufung in mm

**Viti:**

Il settore dei connettori a vite è un settore in rapida evoluzione:

si hanno le viti **tradizionali** .....

da inserire in sedi preforate (due prefori: uno con diametro pari al diametro del gambo e il secondo con diametro  $d_1$  pari al 70% del gambo)

le dimensioni vanno da:

- **viti a testa svasata**

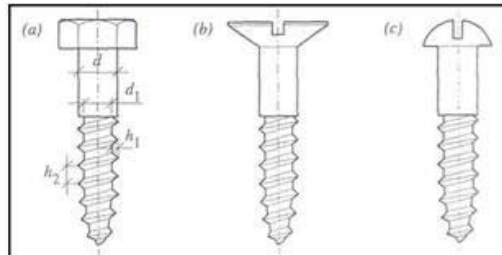
$$\phi = 3 \div 10 \text{ mm}$$

$$L = 20 \div 400 \text{ mm}$$

- **viti a testa esagonale**

$$\phi = 4 \div 20 \text{ mm}$$

$$L = 20 \div 400 \text{ mm}$$



Nenn- durchmesser $d_n$	Verwendbare Nennlängen L		
	DIN 96 Halbrund-Holz- schrauben mit Schlitz	DIN 97 Senk-Holzschrauben mit Schlitz	DIN 971 Sechskant-Holz- schrauben
mm	mm	mm	mm
4	20 bis 50: Stufung 5 60	20 bis 50: Stufung 5 60	20 bis 40: Stufung 5
5	25 bis 50: Stufung 5 60, 70	25 bis 50: Stufung 5 60, 70, 80	25 bis 50: Stufung 5
6	30 bis 50: Stufung 5 60, 70, 80	30 bis 50: Stufung 5 60, 70, 80	30 bis 60: Stufung 5
8	---	40, 45 50 bis 80: Stufung 10	40 bis 80: Stufung 5 90, 100
10	---	---	45 bis 80: Stufung 5 90, 100
12	---	---	55 bis 80: Stufung 5 90 bis 120: Stufung 10
16	---	---	70, 75, 80 90 bis 160: Stufung 10
20	---	---	90 bis 200: Stufung 10
Längen über 90 mm: Stufung 10			Längen über 200 mm: Stufung 20



viti di più recente concezione tecnologica

**"viti moderne"...**

sono **autofilettanti**

hanno testa svasata  
(con specifica rondella)  
o testa esagonale

dimensioni:

$\phi = 3 \div 10 \text{ mm}$

$L = 20 \div 400 \text{ mm}$



e infine si hanno **"viti speciali"**,

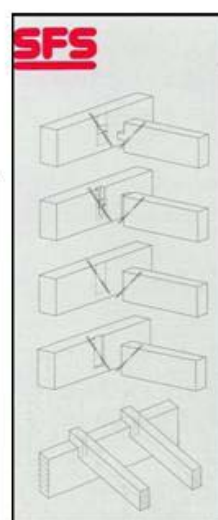
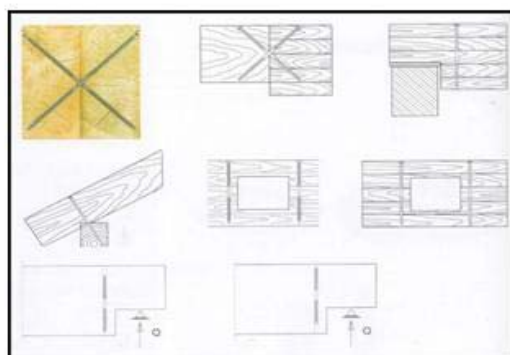
ad esempio viti con doppio filetto capaci di indurre stati di compressione fra elementi di legno oppure all'interno dello stesso elemento

si utilizzano per impieghi specifici

dimensioni:

**6.5 x 130 mm**

**8.2 x 160 ÷ 300 mm**



### **Perni (o spinotti), bulloni calibrati, bulloni:**

i **perni** (o spinotti) sono tondi lisci di acciaio; in genere sono svasati agli estremi per facilitarne l'inserimento

i **bulloni calibrati** ed i **bulloni** sono tondi di acciaio dotati di filetto ad uno oppure ad entrambi gli estremi

in genere sono in acciaio dolce (Fe360) quando ottenuti da barre, o bulloni di classe 4.6 o 5.6

perni e bulloni calibrati vanno inseriti in fori pari al diametro nominale del connettore; i bulloni invece possono essere inseriti in fori pari al diametro del connettore + 1 mm

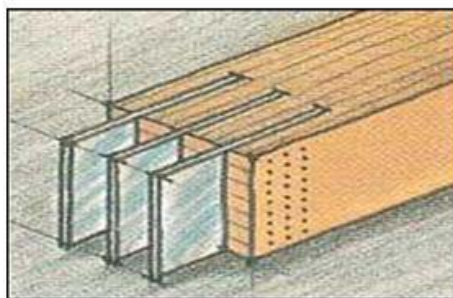
diametro: **8 ÷ 30 mm**

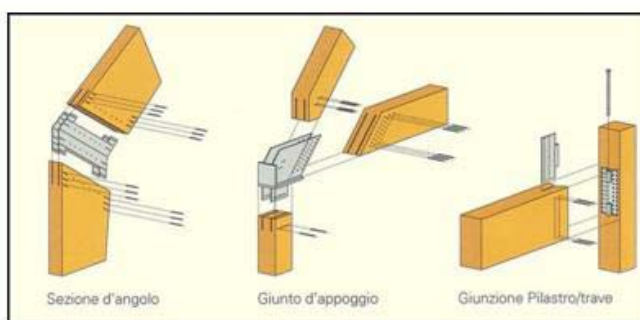
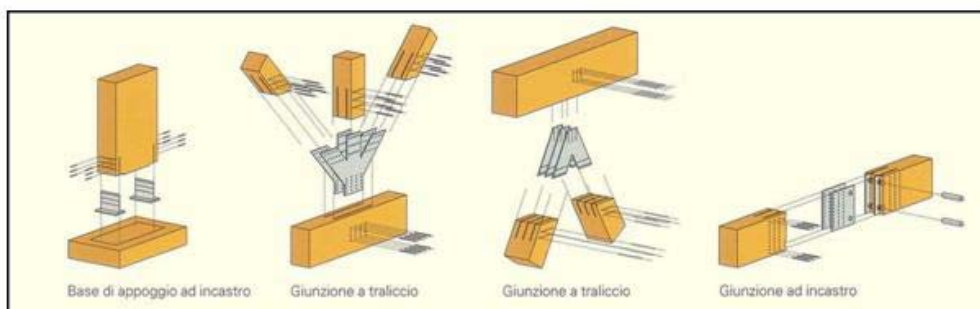


si hanno anche **“perni speciali”** appositamente progettati per connessioni legno-acciaio con piastre interne agli elementi di legno (sono ottimizzati sia per quanto riguarda la resistenza che la rigidezza)

sono perni dotati di lama di acciaio capaci di forare sia il legno che le piastre di acciaio ( $t_{max} = 5\text{ mm}$ , fino ad un massimo di 3)

diametro  
**5 x 73 ÷ 193 mm**  
**7 x 113 ÷ 233 mm**





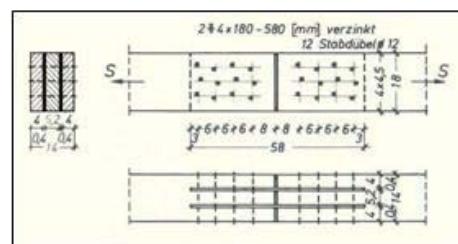


## 1.2 Tipologie di connessioni: tipologia / funzione statica

- ❖ **Connessioni per la trasmissione di forze assiali**
- ❖ **Connessioni per la trasmissione di forze di taglio**
- ❖ **Connessioni per la trasmissione di sollecitazioni flettenti**

### Connessioni per la trasmissione di forze assiali .....

*I connettori cilindrici si utilizzano principalmente per collegare aste tese (per mezzo di coprigiunti esterni, interni o lame metalliche) come i correnti inferiori delle travi reticolari, .....*





**Connessioni per la trasmissione di forze assiali .....**

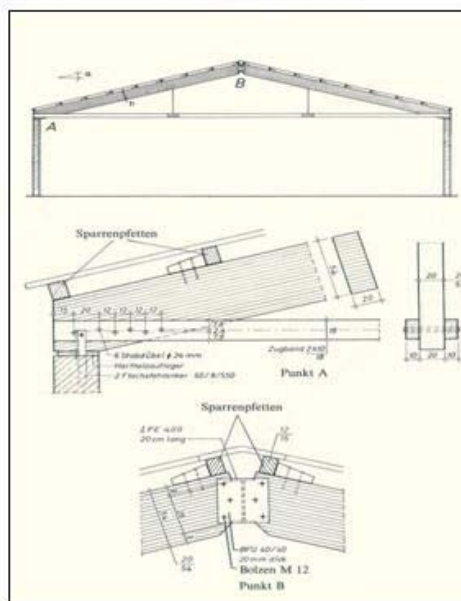


**Connessioni per la trasmissione di forze assiali .....**

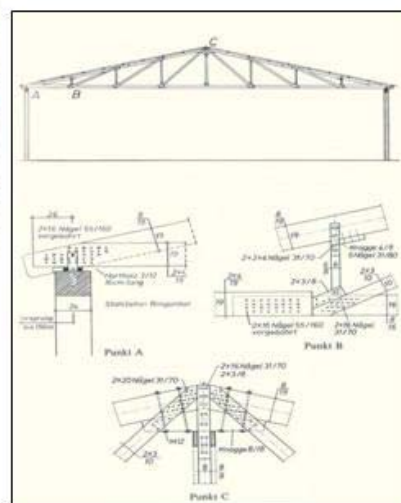


### Connessioni per la trasmissione di forze assiali .....

..... le connessioni puntone-  
catena di capriate, .....



### Connessioni per la trasmissione di forze assiali .....





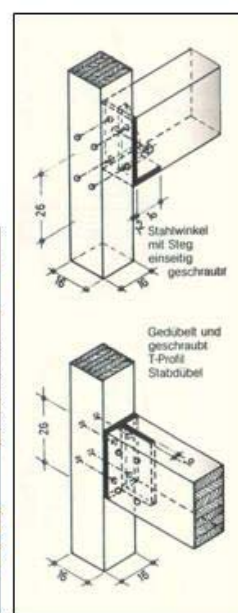
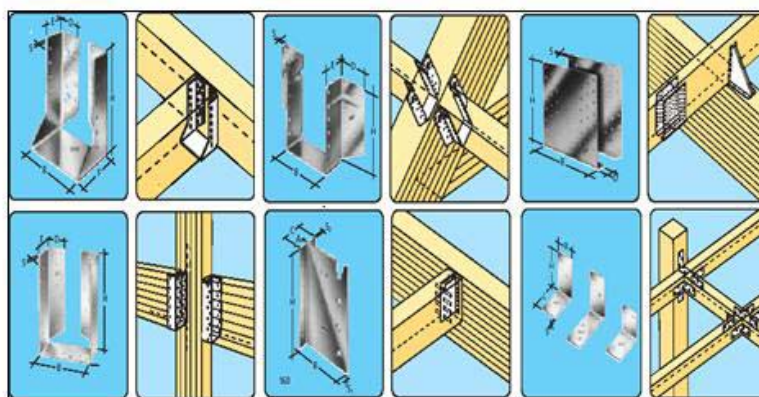
### Connessioni per la trasmissione di forze assiali

.....i vincoli di ancoraggio di pareti, vincoli di ancoraggio di sbalzi



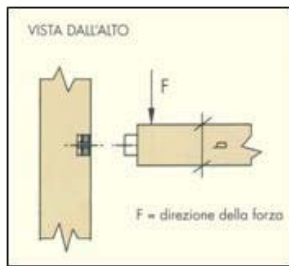
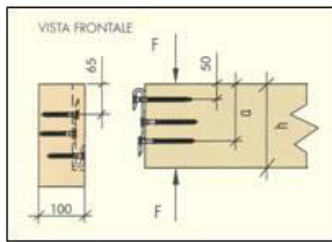
### Connessioni per la trasmissione di forze di taglio .....

I connettori cilindrici si impiegano anche per la trasmissione di forze di taglio (in genere accoppiati con altri elementi metallici) nelle connessioni trave-colonna o trave-trave, .....



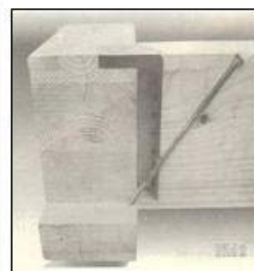
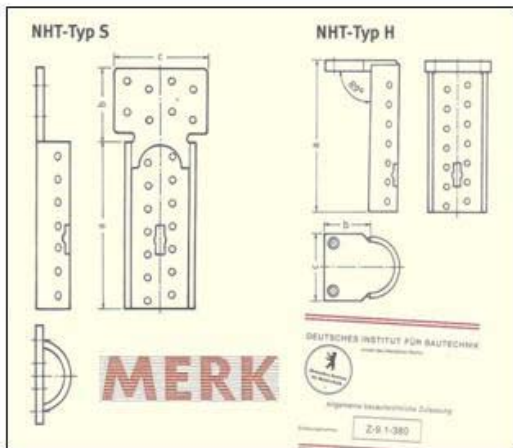
### Connessioni per la trasmissione di forze di taglio .....

..... in soluzioni brevettate .....



### Connessioni per la trasmissione di forze di taglio .....

..... in soluzioni brevettate .....



### **Connessioni per la trasmissione di forze di taglio .....**

*..... oppure artigianali .....*



### **Connessioni per la trasmissione di forze di taglio .....**

*..... per giunzioni Gerber, per la componente orizzontale delle travi a "pesce" (capriate), per gli attacchi degli elementi di controvento, .....*





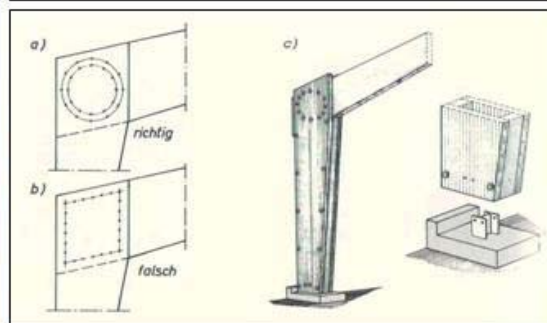
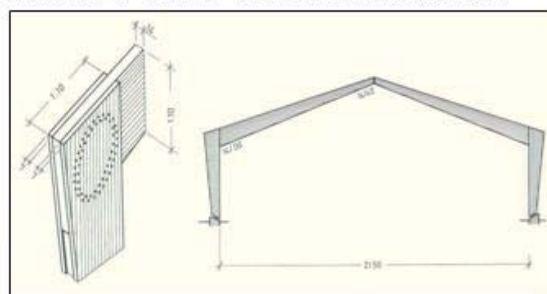
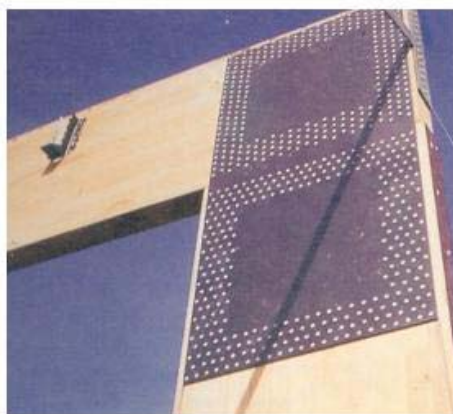
### Connessioni per la trasmissione di forze di taglio

..... per la connessione di pannelli portanti in legno lamellare incrociato.



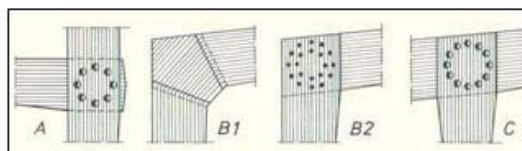
### Connessioni per la trasmissione di forze di sollecitazioni flettenti .....

I connettori cilindrici si impiegano anche per la trasmissione di momenti flettenti agli angoli dei portali a 2 o 3 cerniere, .....



### Connessioni per la trasmissione di forze di sollecitazioni flettenti .....

..... nel caso di mensole o per l'incastro di pilastri alla base, .....



**Riding Hall in Munich, West Germany**  
Architect: Atelier Kleinschmitt  
Engineer: Rüter, Miedler

Riding hall with 75,00 x 30,00 m riding track, bleachers for 2000 spectators, and service rooms. Roof is supported by single-bay frames with eaves on low side of roof and tapered columns on high side. Frame legs are box sections 35/131 to 195 cm, while frame beams are of one piece 15/184 cm; they are pinned rigidly with 14 steel dowels arranged in concentric circles. To help resist

high shear forces, on either side of each e-bow there is a 12 mm glued birch plywood panel, tapered panels 217 cm are attached to beams with steel angles. Horizontal bracing consists of solid wood diagonals.

Reference: Detail 4/1972, p. 73f

**Incastro dei pilastri**

con profile chiodati

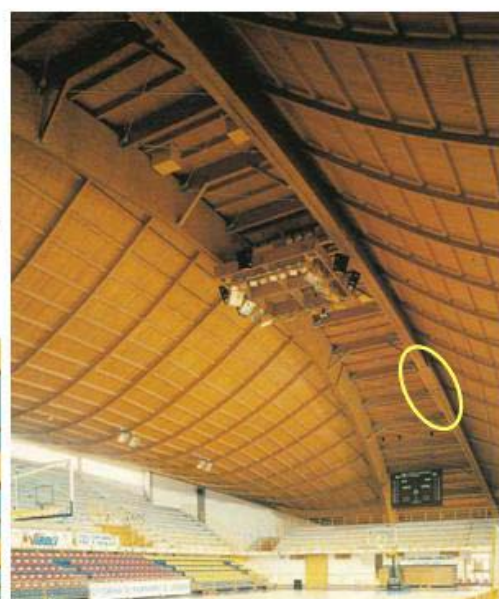
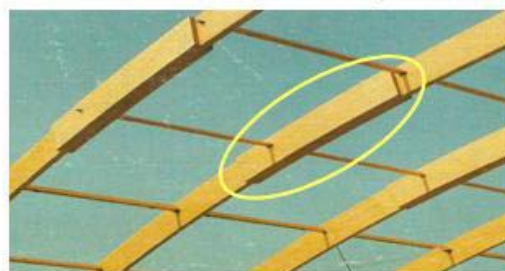
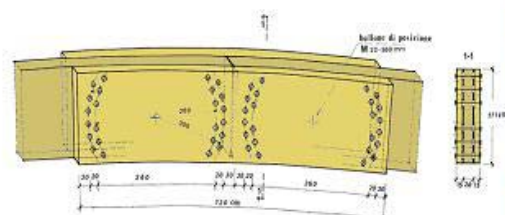
incastro con cappelli di acciaio, posti verso l'esterno

senza tagliata e incastrata

collegati con connettori piani in acciaio

### Connessioni per la trasmissione di forze di sollecitazioni flettenti .....

..... per la trasmissione di momenti flettenti in archi, .....



**Connessioni per la trasmissione di forze di sollecitazioni flettenti .....**

*..... per la realizzazione di giunti a momento in cupole*



**Connessioni per la trasmissione di forze di sollecitazioni flettenti**



## **2. Modello di calcolo per sollecitazioni perpendicolari all'asse del connettore**

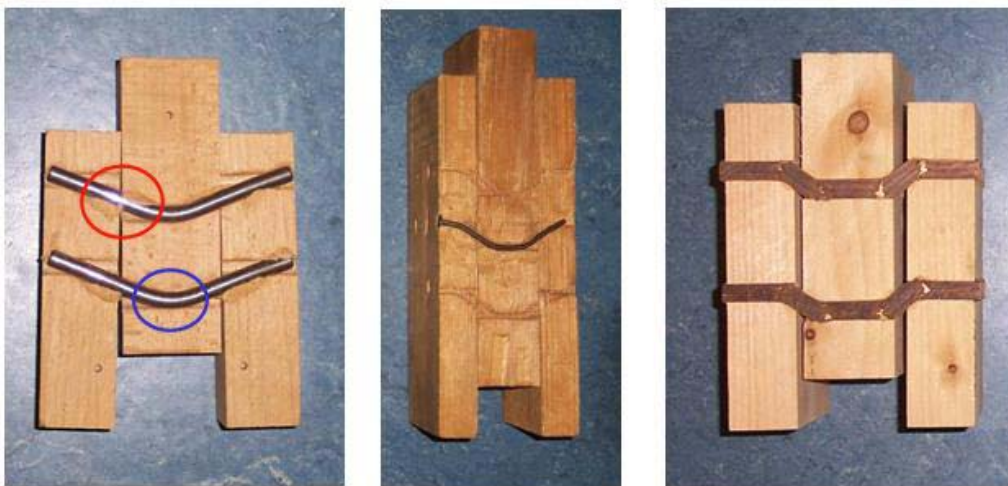
- ❖ **Osservazioni introduttive**
- ❖ **Teoria di Johansen**  
*resistenza di rifollamento e momento plastico del connettore*
- ❖ **Resistenza connessioni legno-legno (EC5-2003)**
- ❖ **Resistenza di connessioni legno-acciaio (EC5-2003)**
- ❖ **Spaziature, distanze dall'estremità e dai bordi, numero efficace (EC5-2003)**
- ❖ **Verifiche di resistenza complementari (block-shear & splitting) (EC5-2003)**

### **2.1 Osservazioni introduttive**

*Il modello di calcolo delle connessioni con connettori cilindrici sollecitati perpendicolarmente al loro asse si basa sulle modalità di collasso osservate sperimentalmente*

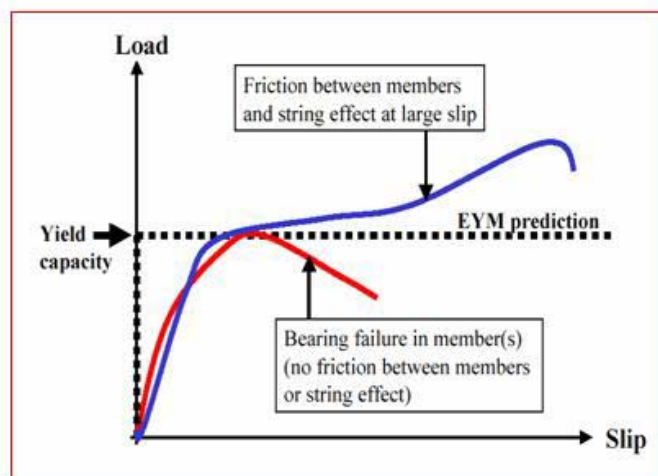


dalla sperimentazione infatti si osserva che il legno a contatto con il connettore può presentare notevoli deformazioni locali, "**rifollamento**" (soprattutto nella vicinanza dei piani di taglio), ed i connettori possono presentare una o più "**cerniere plastiche**" ovvero zone ristrette dove si concentrano le deformazioni e le rotazioni.

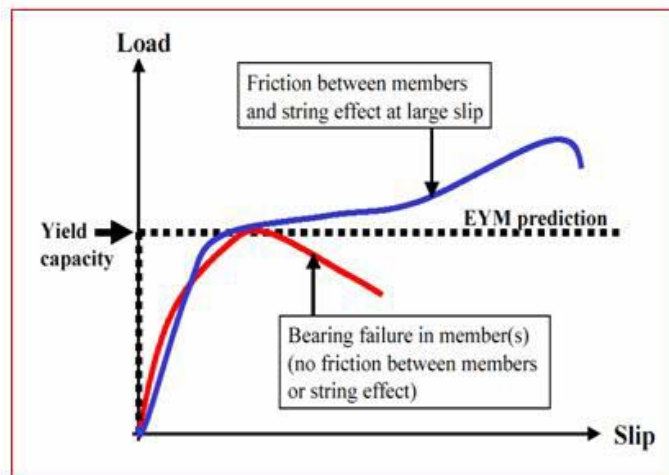


dalla curva carico-scorrimento si può osservare che le connessioni possono avere un comportamento "**abbastanza fragile**" (**curva rossa**), quando la rottura è governata dal solo **rifollamento** del legno, oppure un comportamento "**duttile**" quando la rottura è determinata anche dalla **plasticizzazione dei connettori** (**curva blu**)

in questo caso i connettori non si mantengono più perpendicolari alla direzione della forza ed allora il carico può aumentare a causa della forza di trazione che si viene a generare all'interno dei connettori: "**rope effect**". Ovviamente tale effetto è tanto più elevato quanto maggiore è lo scorrimento della connessione



il carico di collasso della connessione (a meno del "rope effect") può essere determinato in modo agevole per mezzo della **teoria plastica** sviluppata da **Johansen nel 1949** e nota anche come "**European Yield Model**" (EYM)



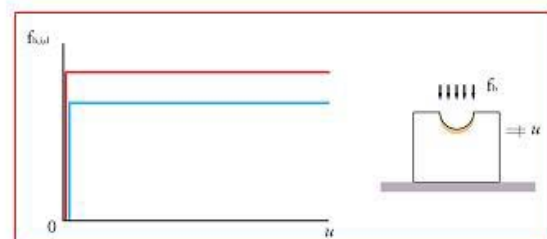
## 2.2 Teoria di Johansen (1949)

La teoria di Johansen è una **teoria plastica**. Essa assume per i materiali un **comportamento rigido-plastico** (ovvero trascura le deformazioni elastiche).

Per il legno si basa sulla **resistenza di rifollamento caratteristica**

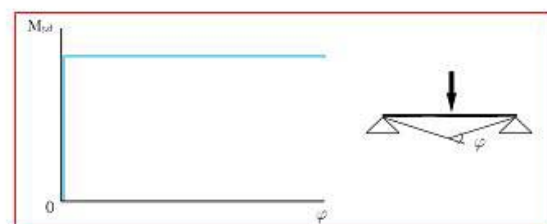
$$f_{h,i,k} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

degli elementi di legno che compongono la connessione ( $i=1, \dots, n$ )



Per il connettore si basa sul **momento plastico caratteristico**

$$M_{y,Rk} \text{ (Nmm)}$$



### 2.2.1 Resistenza di rifollamento $f_{h,k}$

Viene fornita dalla normativa. Quando necessario deve essere determinata tramite prove sperimentali – **norme EN 383 e EN 14358**

È definita come tensione di collasso della prova (nel caso di sollecitazione parallela alle fibre)

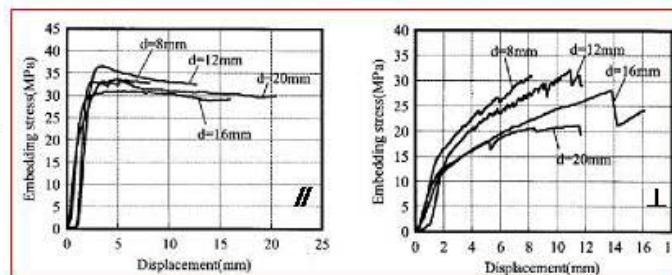
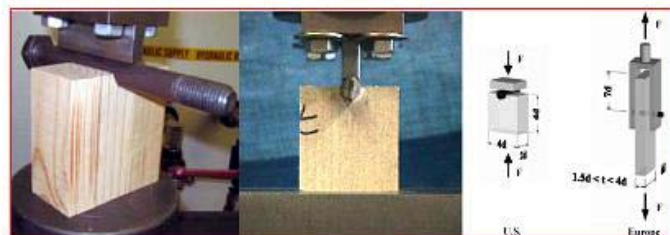
$$f_{h,k} = \frac{F_u}{d \cdot t}$$

In genere dipende da:

$d$  : diametro del connettore

$\rho_k$  : densità caratteristica del legno

$\alpha$  : angolo fra la direzione della forza e quella delle fibre

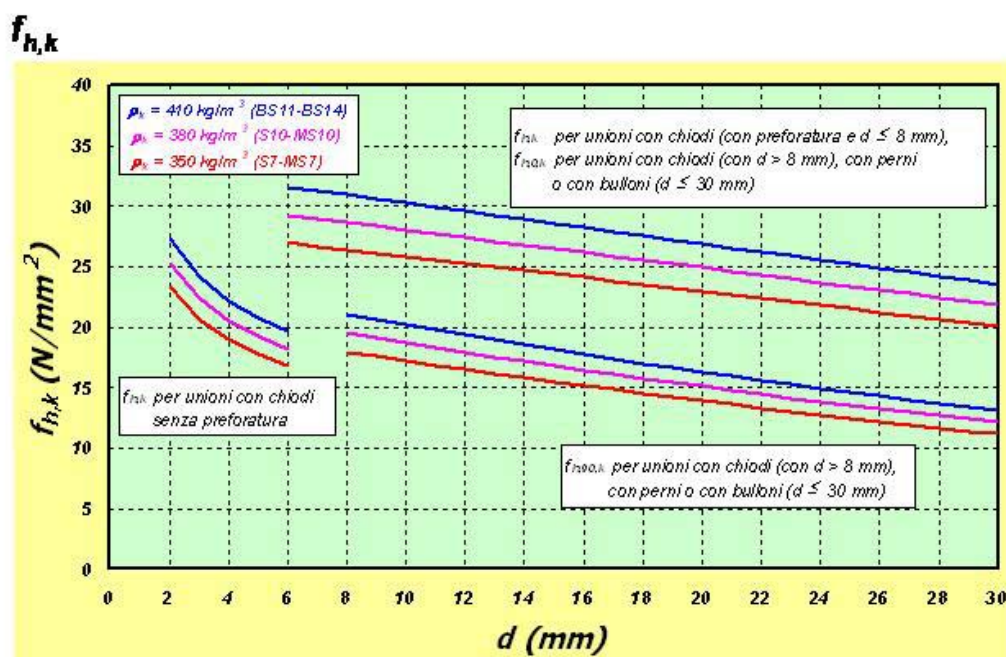


Per **il legno massiccio** e per **il legno lamellare**, l'Eurocodice 5 stabilisce le seguenti relazioni:

per chiodi con $d \leq 8$ mm e per viti con $d \leq 6$ mm con preforo	senza preforo
$f_{h,k} = 0.082 \cdot \left(1 - \frac{d}{100}\right) \cdot \rho_k$	$f_{h,k} = \frac{0.082 \cdot \rho_k}{\alpha^{0.3}}$

per perni o bulloni (fino a $d = 30$ mm), per chiodi con $d > 8$ mm e per viti con $d > 6$ mm	
$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$	
dove $f_{h,0,k} = 0.082 \cdot \left(1 - \frac{d}{100}\right) \cdot \rho_k$	$k_{90} = \begin{cases} 1.35 + 0.015 \cdot d & \text{per legno di conifera} \\ 1.30 + 0.015 \cdot d & \text{per elementi LVL} \\ 0.90 + 0.015 \cdot d & \text{per legno di latifolia} \end{cases}$

Per **i pannelli a base di legno** (pannelli compensati, OSB, pannelli di particelle, etc.) nelle unioni legno-pannello, valgono altre relazioni ..... si veda l'Eurocodice 5



### 2.2.2 Momento plastico (yield moment) $M_{y,Rk}$

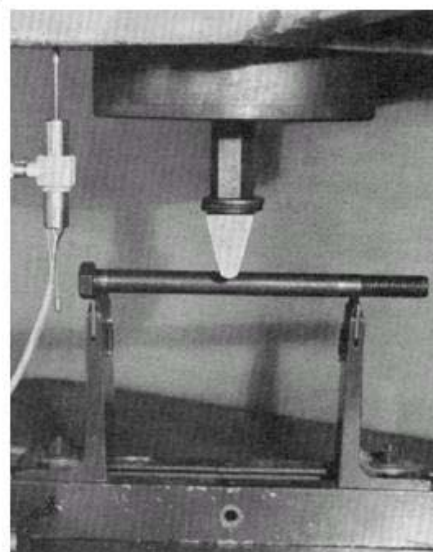
Viene fornito dalla normativa. Quando necessario deve essere determinato tramite prove sperimentali – **norme EN 409 e EN 14358**

È il momento di completa plasticizzazione del connettore (definita convenzionalmente)

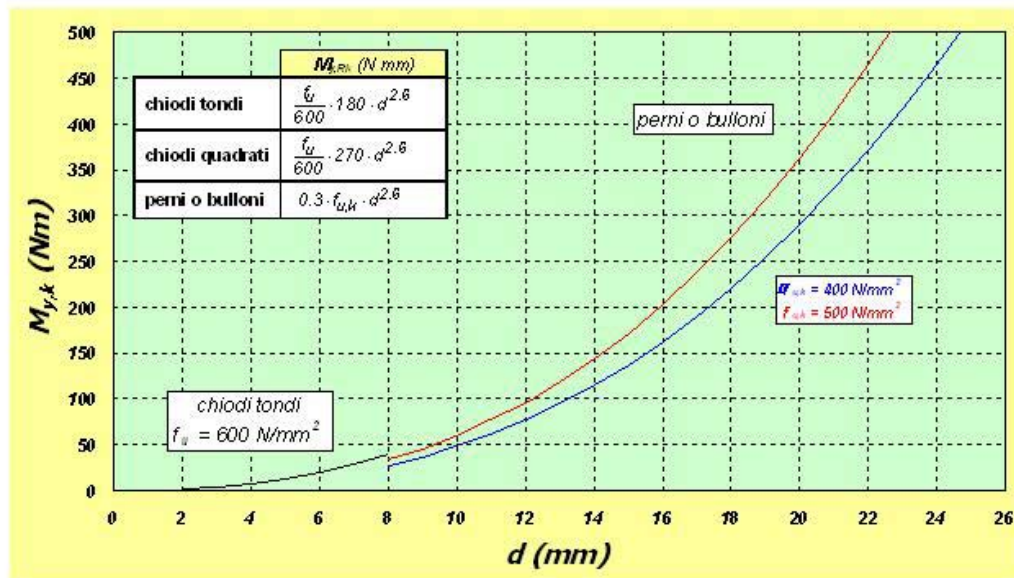
In genere dipende da:

$d$  : diametro del connettore

$f_{y,k}$  : tensione di snervamento del connettore  
(spesso sostituita dalla tensione ultima  $f_u$ )





$M_{y,Rk}$ 

### 2.3 Resistenza caratteristica e di calcolo delle connessioni (Eurocodice 5 – final draft – dicembre 2003)

La resistenza di calcolo delle connessioni viene calcolata sulla base della resistenza caratteristica in base alla seguente formula:

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

con  $\gamma_m$  : per le connessioni **1.3**

$k_{mod}$ : dipende dalla classe di durata del carico, dalla classe di servizio e dal materiale. Nel caso del legno massiccio e di quello lamellare

materiale (normativa)	classe di servizio	classe di durata del carico				
		perm.	lunga durata	media durata	breve durata	ist.
Legno massiccio (EN 14081-1)	1	0.6	0.7	0.8	0.9	1.1
	2					
Legno lamellare (EN 14080)	3	0.5	0.55	0.65	0.7	0.9

### 2.3.1 Resistenza di connessioni legno-legno ad 1 piano di taglio

La resistenza caratteristica di ogni connettore è:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} t_1 d \quad 8.6 (a) \\ f_{h,2,k} t_2 d \quad 8.6 (b) \\ \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1+\beta} \left( \sqrt{\beta + 2\beta^2 \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} + \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right)} + \beta^3 \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 - \beta \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right) + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad 8.6 (c) \\ 1.05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2+\beta} \left( \sqrt{2\beta(1+\beta) + 4\beta(2+\beta) \frac{M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right) + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad 8.6 (d) \\ 1.05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1+2\beta} \left( \sqrt{2\beta^2(1+\beta) + 4\beta(1+2\beta) \frac{M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_2^2}} - \beta \right) + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad 8.6 (e) \\ 1.15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad 8.6 (f) \end{array} \right.$$

**resistenze di Johansen  
(per le differenti modalità di rottura)**
**contributo dovuto allo  
"rope effect"**

dove:

$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}}$  è il rapporto fra le tensioni di rifollamento degli elementi (possono essere differenti perché si hanno diverse specie legnose o perché cambia l'angolo fra la direzione della sollecitazione e le fibre)

$t_1$  e  $t_2$  sono le lunghezze di infissione dei connettori negli elementi di legno

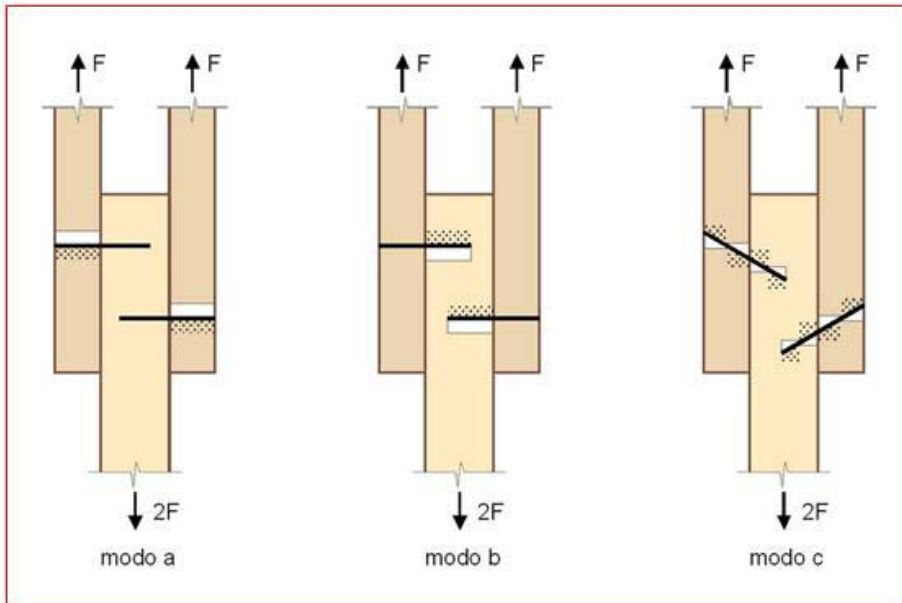
$F_{ax,Rk}$  è la resistenza caratteristica a estrazione del connettore

Nelle precedenti espressioni (ed anche in quelle successive) il contributo del "rope effect" deve essere limitato ad una percentuale della resistenza data dalle formule di Johansen. I valori percentuali sono:

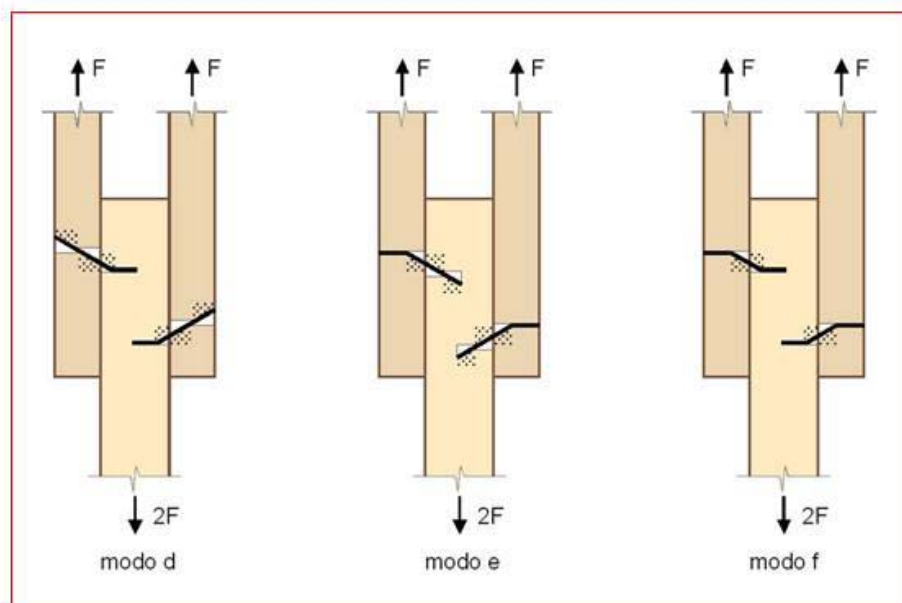
<del>100%</del>	<del>per le viti</del>
<del>15%</del>	<del>per i chiodi fondi</del>
<del>25%</del>	<del>per i chiodi quadri</del>
<del>50%</del>	<del>per gli altri chiodi</del>
<del>25%</del>	<del>per i bulloni</del>
<del>0%</del>	<del>per i perni</del>

**in questa presentazione non  
si farà uso del "rope effect"**

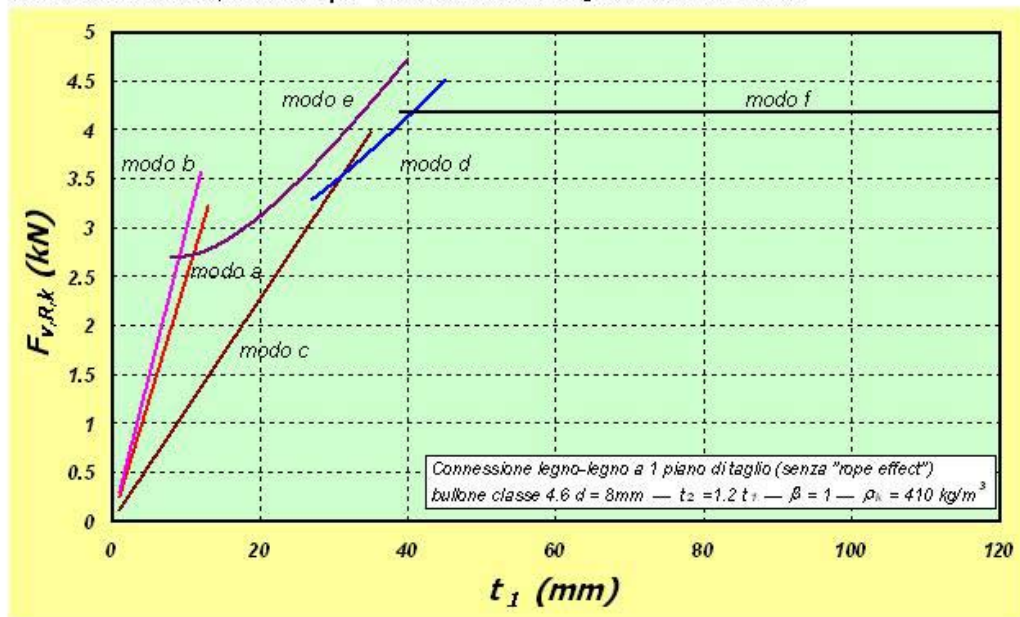
Le precedenti espressioni corrispondono alle seguenti modalità di collasso: ... a, b, c, ...



... d, e, f,



In funzione dello spessore  $t_1$ , la resistenza ha il seguente andamento:



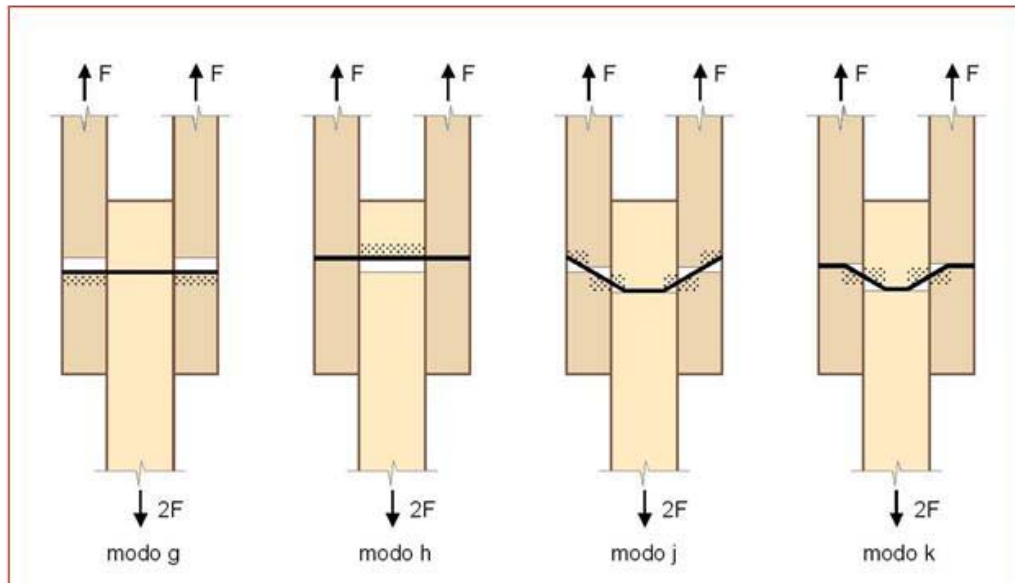
### 2.3.2 Resistenza di connessioni legno-legno a 2 piani di taglio

La resistenza caratteristica **di ogni sezione resistente di ogni connettore** è:

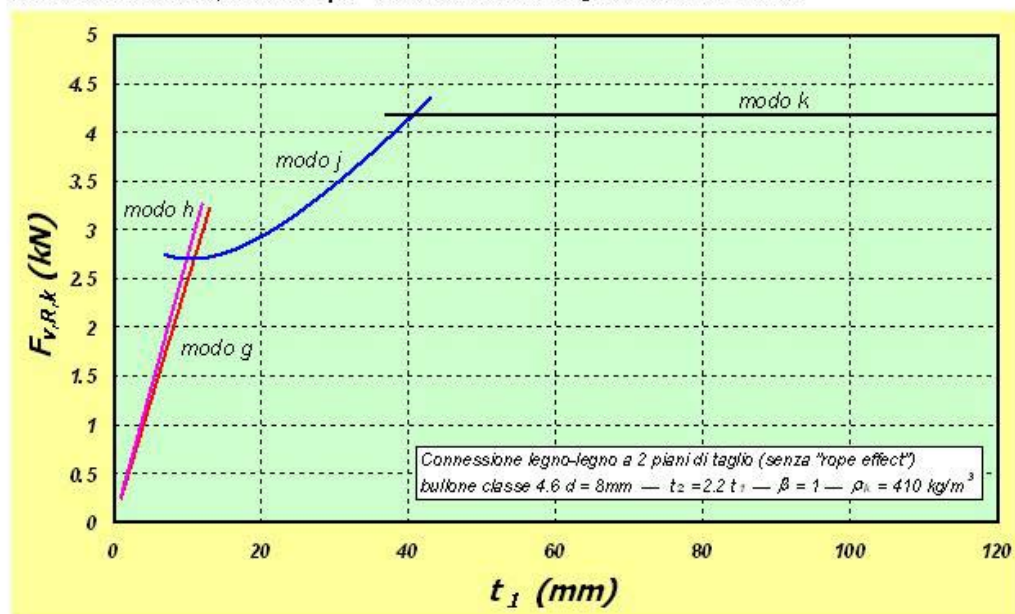
$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} t_1 d \quad 8.7 (g) \\ 0.5 f_{h,2,k} t_2 d \quad 8.7 (h) \\ 1.05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left( \sqrt{2\beta(1 + \beta) + 4\beta(2 + \beta) \frac{M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right) + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad 8.7 (j) \\ 1.15 \frac{\sqrt{2\beta}}{\sqrt{1 + \beta}} \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad 8.7 (k) \end{array} \right.$$

↓ **resistenze di Johansen (per le differenti modalità di rottura)**
↓ **contributo dovuto allo "rope effect"**

Le precedenti espressioni corrispondono alle seguenti modalità di collasso:



In funzione dello spessore  $t_1$ , la resistenza ha il seguente andamento:



### 2.3.3 Resistenza di connessioni legno-acciaio a 1 piano di taglio

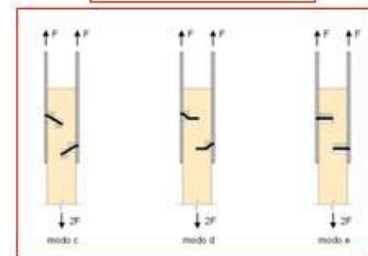
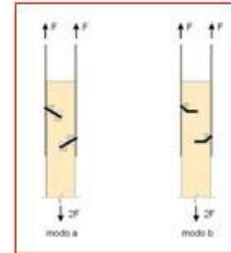
La resistenza caratteristica di ogni connettore è:

**per piastre di acciaio sottili ( $s \leq d/2$ ):**

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0.4 f_{h,k} t_1 d & 8.9 (a) \\ 1.15 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & 8.9 (b) \end{cases}$$

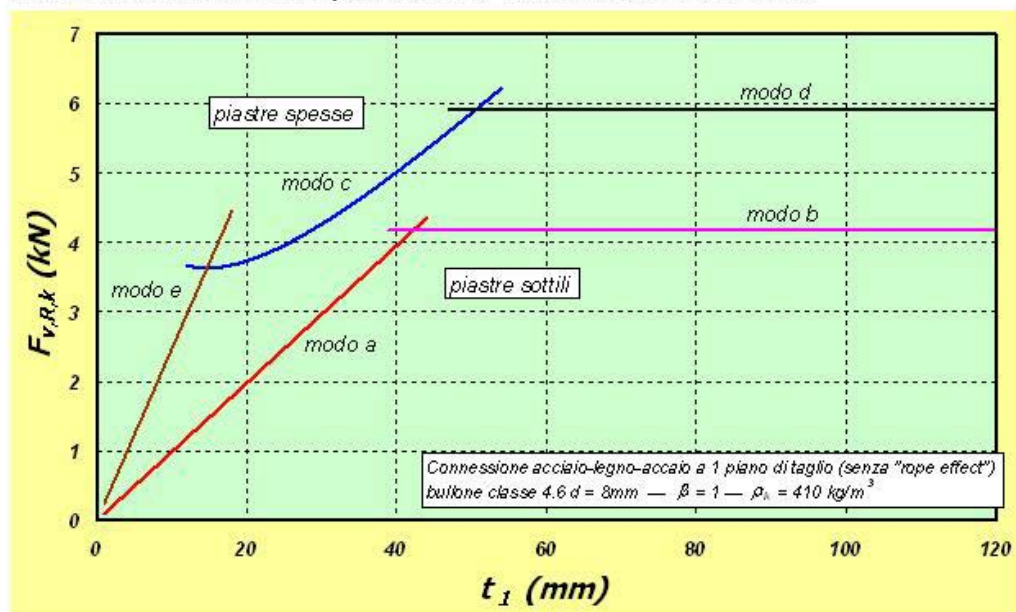
**per piastre di acciaio spesse ( $s \geq d$ ):**

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d \left( \sqrt{2 + 4 \frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right) + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & 8.10 (c) \\ 2.3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & 8.10 (d) \\ f_{h,k} t_1 d & 8.10 (e) \end{cases}$$



**Nel caso di piastre di spessore intermedio si interpola linearmente**

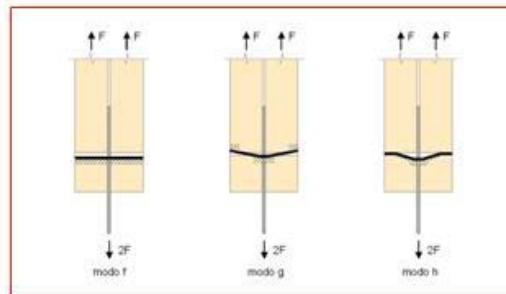
In funzione dello spessore  $t_1$ , la resistenza ha il seguente andamento:



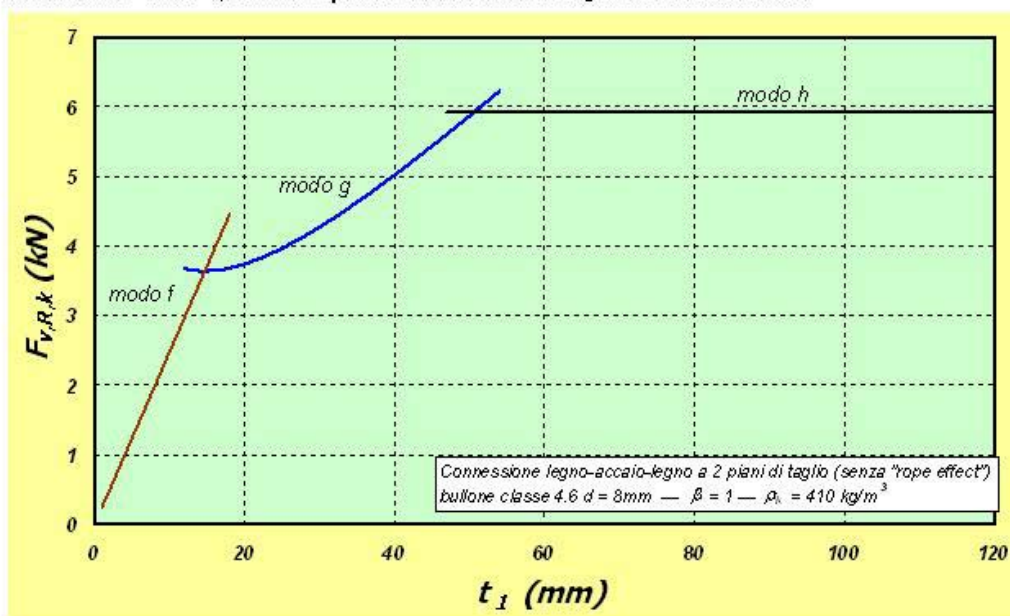
### 2.3.4 Resistenza di connessioni legno-acciaio a 2 piani di taglio (lamiere interne)

La resistenza caratteristica **di ogni sezione resistente di ogni connettore** è:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{ll} f_{h,k} t_l d & 8.11 (f) \\ f_{h,k} t_l d \left( \sqrt{2 + 4 \frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} d t_l^2}} - 1 \right) + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & 8.11 (g) \\ 2.3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & 8.11 (h) \end{array} \right.$$



In funzione dello spessore  $t_l$ , la resistenza ha il seguente andamento:



### 2.3.5 Resistenza di connessioni legno-acciaio a 2 piani di taglio (lamiere esterne)

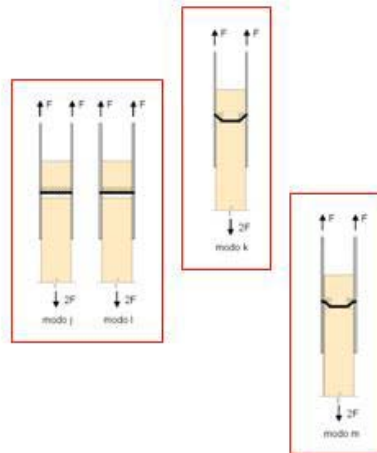
La resistenza caratteristica **di ogni sezione resistente di ogni connettore** è:

**per piastre di acciaio sottili ( $s \leq d/2$ ):**

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0.5 f_{h,k} t_2 d & 8.12 (j) \\ 1.15 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & 8.12 (k) \end{cases}$$

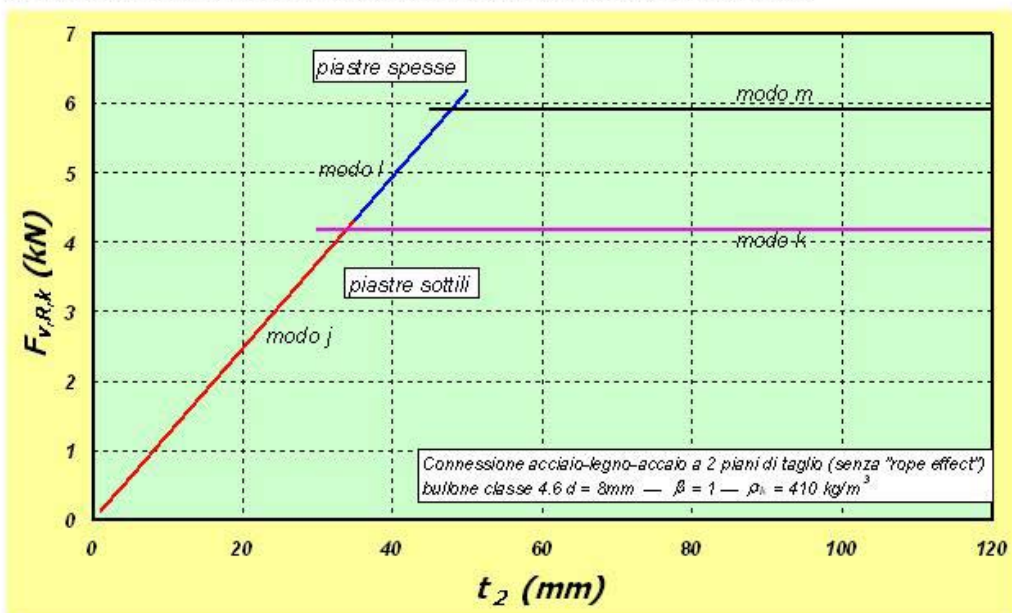
**per piastre di acciaio spesse ( $s \geq d$ ):**

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0.5 f_{h,k} t_2 d & 8.13 (l) \\ 2.3 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & 8.13 (m) \end{cases}$$



**Nel caso di piastre di spessore intermedio si interpola linearmente**

In funzione dello spessore  $t_2$  la resistenza ha il seguente andamento:



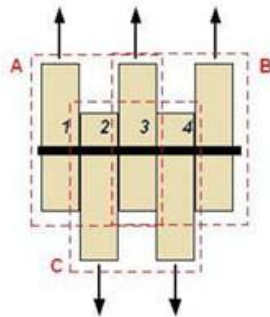


### 2.3.6 Resistenza di connessioni con connettori a più piani di taglio

La resistenza totale offerta da ogni connettore è la somma delle resistenze delle singole sezioni resistenti.

La resistenza delle singole sezioni è determinata con riferimento a "**sottoconnessioni**" **a 2 sezioni resistenti**.

I meccanismi di collasso delle singole sezioni resistenti **devono essere compatibili** con quelli delle sezioni vicine.

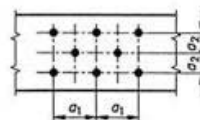
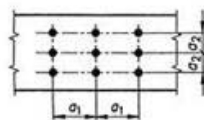


Sezione 1	$R_v = \min \{ A \}$
Sezione 2	$R_v = \min \{ A - C \}$
Sezione 3	$R_v = \min \{ B - C \}$
Sezione 4	$R_v = \min \{ B \}$

### 2.4 Spaziature, distanze dall'estremità e dai bordi

Le resistenze delle connessioni precedentemente illustrate sono garantite quando i connettori sono disposti in modo da rispettare delle **spaziature minime** (parallele ed ortogonali alla direzione delle fibre) e delle **distanze dall'estremità e dai bordi degli elementi in legno minime** (soprattutto se le estremità ed i bordi sono sollecitati).

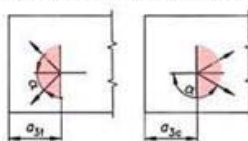
**spaziature minime** :  $a_1$  (parallela alle fibre) e  $a_2$  (ortogonale alle fibre)



**distanze dall'estremità** :

$a_{3,t}$  (estremità sollecitata)

$a_{3,c}$  (estremità non sollecitata)



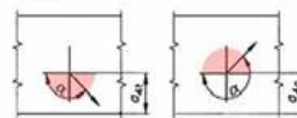
$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$

$90^\circ < \alpha < 270^\circ$

**distanze dal bordo** :

$a_{4,t}$  (bordo sollecitato)

$a_{4,c}$  (bordo non sollecitato)



$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$

$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$

sono fornite in tabelle

### per i chiodi:

Tabella 8.2 – Valori minimi di spaziatura, distanza dalle estremità, e distanza dai bordi per le unioni legno-legno con chiodi

spaziature e distanze dall'estremità e dai bordi (figura 8.7)	angolo $\alpha$	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)	$0 \leq \alpha \leq 360$		$5 d$	$7 d$	$(3 +  \sin \alpha ) d$
$a_{3,1}$ (distanza dall'estremità caricata)	$-90 \leq \alpha \leq 90$		$(10 + 5 \cos \alpha) d$	$(15 + 5 \cos \alpha) d$	$(7 + 5 \cos \alpha) d$
$a_{3,0}$ (distanza dall'estremità non caricata)	$90 \leq \alpha \leq 270$		$10 d$	$15 d$	$7 d$
$a_{4,1}$ (distanza dal bordo caricato)	$0 \leq \alpha \leq 180$	$d < 5 \text{ mm}$ : $d \geq 5 \text{ mm}$ :	$(5 + 2 \sin \alpha) d$ $(5 + 5 \sin \alpha) d$	$(7 + 2 \sin \alpha) d$ $(7 + 5 \sin \alpha) d$	$(3 + 2 \sin \alpha) d$ $(3 + 4 \sin \alpha) d$
$a_{4,0}$ (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					

### per i bulloni:

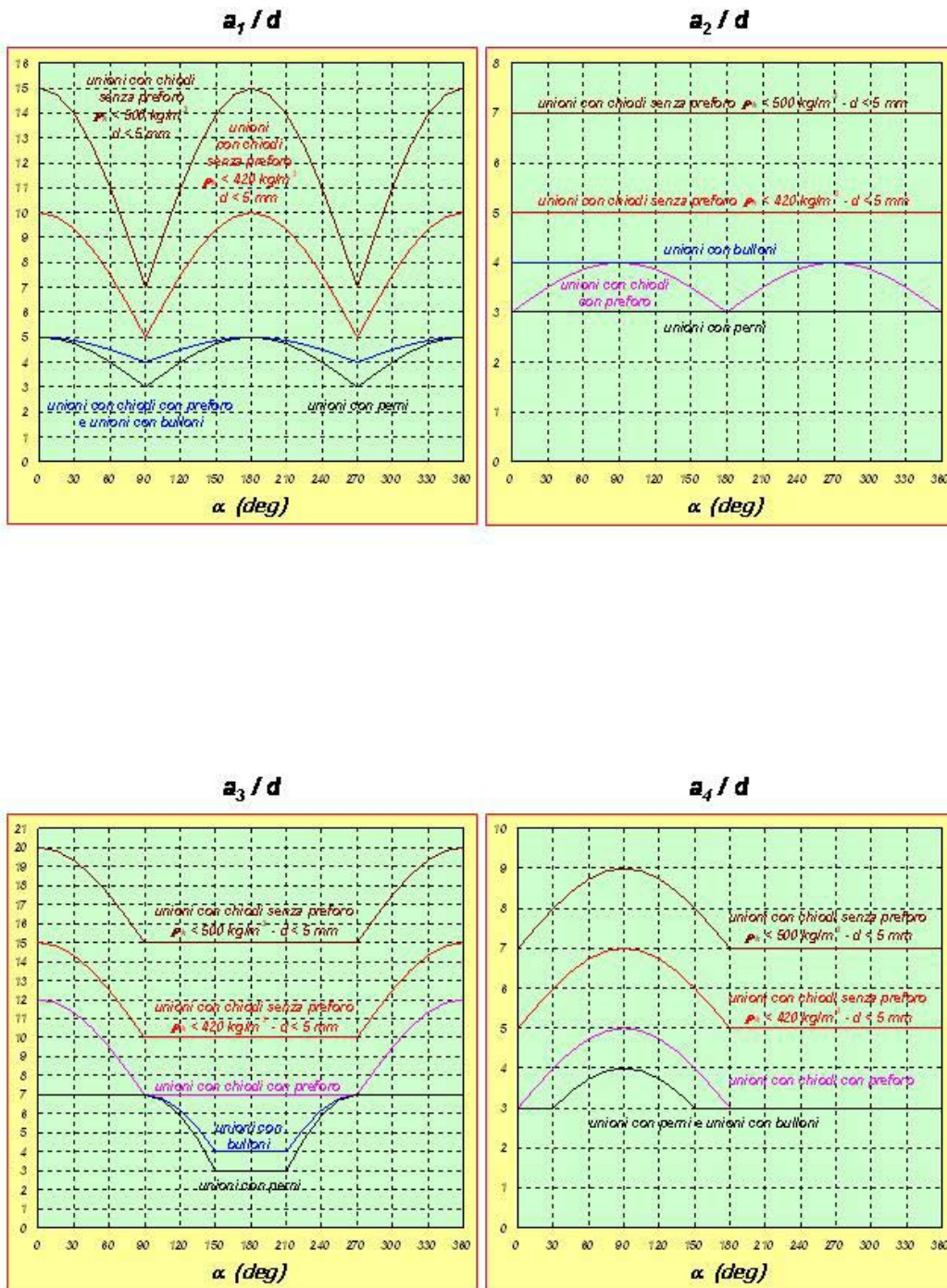
Tabella 8.4 – Valori minimi di spaziatura, distanza dalle estremità, e distanza dai bordi per le unioni legno-legno con bulloni

spaziature e distanze dall'estremità e dai bordi (figura 8.7)	angolo $\alpha$	valori minimi
$a_1$ (spaziatura longitudinale)	$0 \leq \alpha \leq 360$	$(4 +  \cos \alpha ) d$
$a_2$ (spaziatura trasversale)	$0 \leq \alpha \leq 360$	$4 d$
$a_{3,1}$ (distanza dall'estremità caricata)	$-90 \leq \alpha \leq 90$	$7 d$ [ma non meno di 80 mm]
$a_{3,0}$ (distanza dall'estremità non caricata)	$90 \leq \alpha \leq 270$	$(1 + 6  \sin \alpha ) d$ [ma non meno di 4 d]
$a_{4,1}$ (distanza dal bordo caricato)	$0 \leq \alpha \leq 180$	$(2 + 2 \sin \alpha) d$ [ma non meno di 3 d]
$a_{4,0}$ (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 $\alpha$	valori minimi
$a_1$ (spaziatura longitudinale)	$0 \leq \alpha \leq 360$	$(3 + 2  \cos \alpha ) d$
$a_2$ (spaziatura trasversale)	$0 \leq \alpha \leq 360$	$3 d$
$a_{3,1}$ (distanza dall'estremità caricata)	$-90 \leq \alpha \leq 90$	$7 d$ [ma non meno di 80 mm]
$a_{3,0}$ (distanza dall'estremità non caricata)	$90 \leq \alpha \leq 150$	$(a_{3,1}  \sin \alpha ) d$ [ma non meno di 3 d]
	$150 \leq \alpha \leq 210$	$3 d$
	$210 \leq \alpha \leq 270$	$(a_{3,1}  \sin \alpha ) d$ [ma non meno di 3 d]
$a_{4,1}$ (distanza dal bordo caricato)	$0 \leq \alpha \leq 180$	$(2 + 2 \sin \alpha) d$ [ma non meno di 3 d]
$a_{4,0}$ (distanza dal bordo non caricato)	$180 \leq \alpha \leq 360$	$3 d$



### 2.4.1 Numero efficace

La resistenza di una connessione con più connettori in direzione parallela alle fibre **non è pari** alla somma delle resistenze dei singoli connettori.

Per una fila di connettori in direzione parallela alle fibre, si deve verificare che la componente nella direzione delle fibre della forza sollecitante sia minore della resistenza di calcolo derivante da:

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

dove

$n_{ef}$  è il numero efficace di connettori in direzione parallela alle fibre  
 $F_{v,Rk}$  è la capacità portante di ogni connettore nella direzione delle fibre

**nel caso delle unioni chiodate, la capacità portante caratteristica nella direzione delle fibre deve essere calcolata per mezzo di  $n_{ef}$**

$$n_{ef} = \begin{cases} n & \text{per chiodi sfalsati di almeno 1 diametro} \\ n \cdot k_w & \end{cases}$$

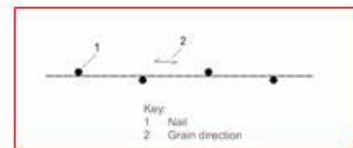
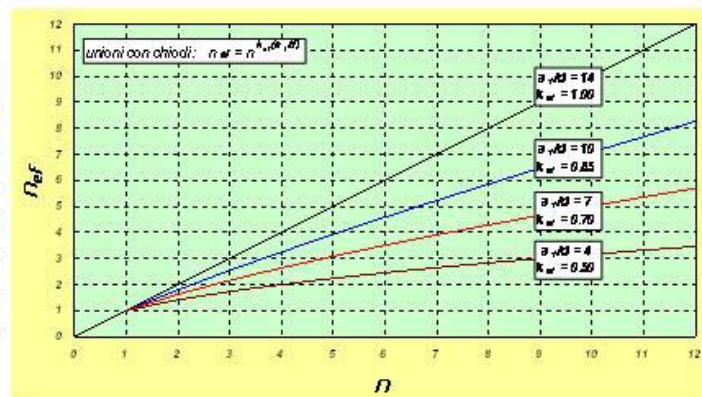


Tabella 8.1 – Valori di  $k_w$

Spaziatura longitudinale $a_1/d$	$k_w$	
	senza preforo	con preforo
$\geq 14$	1.0	1.0
$= 10$	0.85	0.85
$= 7$	0.7	0.7
$= 4$	....	0.5
per valori intermedi di $a_1/d$ interpolare linearmente		

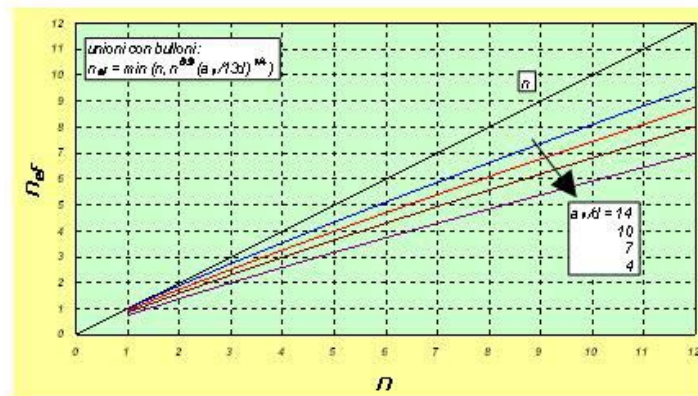


**nel caso delle unioni con bulloni o perni, si ha:**

$$n_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} n \\ n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \end{array} \right. \quad \text{per } \alpha = 0 \qquad n_{ef} = n \quad \text{per } \alpha = 90$$

$$n_{ef} = \left[ \min \left\{ \begin{array}{l} n \\ n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \end{array} \right\} \cdot \left( 1 - \frac{\alpha}{90} \right) + n \cdot \left( \frac{\alpha}{90} \right) \right] \quad \text{per } 0 \leq \alpha \leq 90$$

dove  $\alpha$  è l'angolo fra la direzione della forza e quella delle fibre



## 2.5 Regole specifiche per chiodi e viti

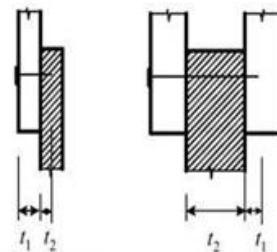
### Chiodi:

#### $t_1$ 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

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



#### resistenza laterale in caso di infissione parallela alle fibre

chiodi lisci:

- infissi parallelamente alle fibre non dovrebbero essere considerati resistenti
- possono essere utilizzati solo in strutture secondarie con una resistenza pari a 1/3 di quella dei chiodi infissi perpendicolarmente alle fibre

chiodi ad aderenza migliorata:

- si possono impiegare in strutture non secondarie con una resistenza pari a 1/3 di quella dei chiodi infissi perpendicolarmente alle fibre e a patto di soddisfare ulteriori prescrizioni (numero minimo, lunghezza di infissione minima, classe di servizio, etc.)

**sovrapposizione**

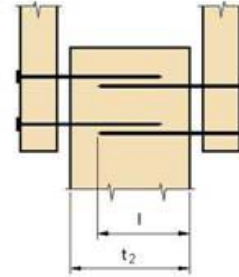
i chiodi possono sovrapporsi  
in direzione longitudinale se

$$t - t_2 > 4d$$

**preforatura**

il preforo è necessario quando:

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

**Viti:****diametro effettivo  $d_{ef}$** 

viti a gambo liscio:  $d_{ef} = d$

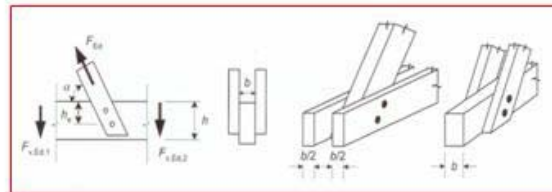
se il gambo della vite entra nell'elemento che  
riceve la punta per almeno 4d

altre viti:  $d_{ef} = 1.1 d_{th,root}$

il diametro di nocciolo della vite (th, root = thread  
root)

### 2.6.1 Verifiche di resistenza complementari ... ... trazione ortogonale (splitting) ...

Quando la connessione trasmette una  
forza inclinata rispetto all'asse  
dell'elemento si può avere il collasso  
per formazione di una fessura  
longitudinale (splitting)



La verifica si conduce controllando che la forza di taglio massima ( $F_{v,Ed}$ ) sia minore  
della metà della resistenza a fessurazione della trave ( $F_{90,Rd}$ ) ovvero:

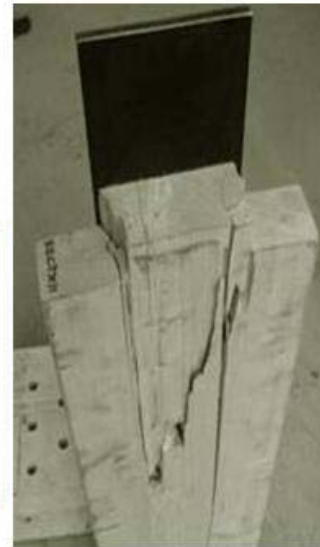
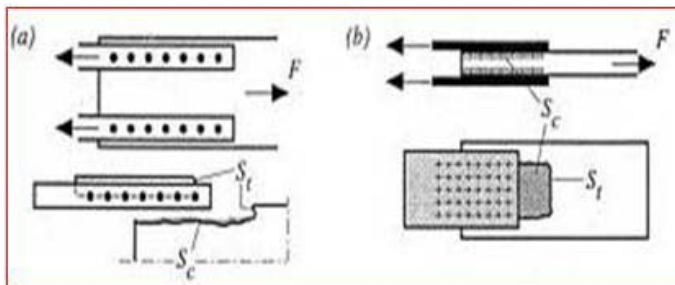
$$F_{v,Ed} = \max \left\{ \begin{array}{l} F_{v,Ed,1} \\ F_{v,Ed,2} \end{array} \right\} \leq \frac{F_{90,Rd}}{2}$$

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

$$w = \begin{cases} \left( \frac{w_{pl}}{100} \right)^{0.35} & \geq 1 \text{ per piastre dentate} \\ 1 & \text{per altri tipi di connettori} \end{cases}$$

## 2.6.2 Verifiche di resistenza complementari .... ... block-shear failure & plug-shear failure

nelle connessioni legno-acciaio, quando la forza agisce in direzione dell'estremità dell'elemento, si può avere il collasso lungo il perimetro della connessione con fratture locali per taglio e trazione di parte della sezione (block-shear failure o plug-shear failure)



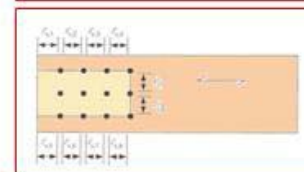
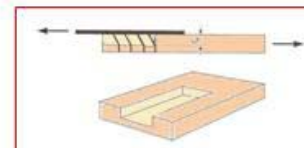
La resistenza per block-shear e plug-shear è:

$$F_{bs,Rk} = \min \begin{cases} 1.5 A_{net,t} \cdot f_{t,0,k} \\ 0.7 A_{net,v} \cdot f_{v,k} \end{cases}$$

$$A_{net,t} = L_{net,t} \cdot t_1 \quad L_{net,t} = \sum l_{t,i} \quad t_1 = \min \begin{cases} t \\ l_{inf} \end{cases}$$

$$A_{net,v} = L_{net,v} \cdot t_1 \quad \text{per le modalità di collasso } e, f, j/l, k, m$$

$$A_{net,v} = 0.5 L_{net,v} (L_{net,t} + 2 t_{ef}) \quad \text{per le altre modalità di collasso}$$



**piastre sottili:**

$$L_{net,v} = \sum l_{v,i} \quad t_{ef} = \begin{cases} 0.4 \cdot t_1 & \text{modo (a)} \\ 1.4 \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} d}} & \text{modo (b)} \end{cases}$$

**piastre spesse:**

$$t_{ef} = \begin{cases} 2 \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} d}} & \text{modi (d, h)} \\ t_1 \left[ \sqrt{2 + \frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] & \text{modi (c, g)} \end{cases}$$

### 2.6.3 Riduzione di resistenza per connessioni soggette a carichi alterni

La resistenza caratteristica di connessioni soggette al sollecitazioni di segno opposto derivanti da azioni di lunga o media durata deve essere opportunamente ridotta.

L'effetto di sollecitazioni di segno opposto causato da azioni di lunga o media durata può essere tenuto in considerazione dimensionando la connessione per la più severa delle seguenti sollecitazioni:

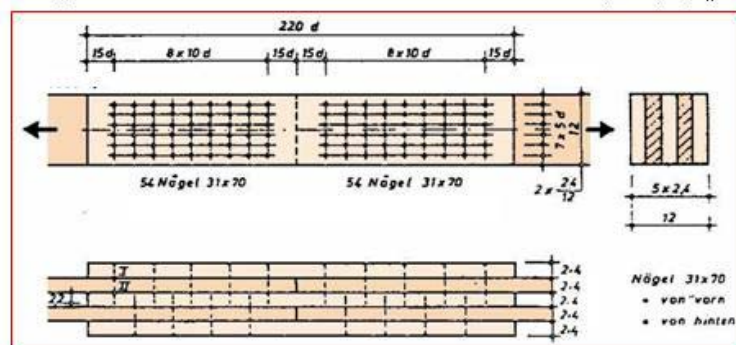
$$F_{Ed} = \begin{cases} F_{t,Ed} + 0.5 \cdot F_{c,Ed} \\ F_{c,Ed} + 0.5 \cdot F_{t,Ed} \end{cases}$$

dove  $F_{t,Ed}$  e  $F_{c,Ed}$  sono rispettivamente le sollecitazioni di trazione e di compressione di calcolo

### 3. Dimensionamento di una connessione con chiodi

#### Dati:

- connessione costituita da 54 chiodi ad anello a 2 sezioni resistenti 3.1 x 70 mm infissi senza preforo
- disposizione dei chiodi come da figura (spaziatura longitudinale  $a_1 = 35 \text{ mm} \cong 10d$  nel coprigiunto centrale)
- sollecitazione di calcolo di trazione pari a di 40 kN derivante da combinazione di carico con azioni di media durata ( $k_{mod} = 0.8$ )
- tavole di legno di abete rosso classe di assortimento S10 (C24) -  $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$





**Resistenza di rifollamento:**  $f_{h,k} = \frac{0.082 \cdot \rho_k}{d^{0.3}} = \frac{0.082 \cdot 350}{3.1^{0.3}} \cong 20.44 \text{ MPa}$

**Momento plastico:**  $M_{y,Rk} = \frac{f_u}{600} \cdot 180 \cdot d^{2.6} = 180 \cdot 3.1^{2.6} \cong 3410 \text{ Nmm}$

**Resistenza caratteristica di 1 sezione di taglio ( $\beta = 1$ ,  $t_1 = 22 \text{ mm}$ ,  $t_2 = 24 \text{ mm}$ ):**

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} t_1 d & = 1.39 \text{ kN} & 8.7 \text{ (g)} \\ 0.5 f_{h,2,k} t_2 d & = 0.76 \text{ kN} & 8.7 \text{ (h)} \\ 1.05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left( \sqrt{2\beta(1 + \beta) + 4\beta(2 + \beta) \frac{M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right) & \cong 0.64 \text{ kN} & 8.7 \text{ (i)} \\ 1.15 \sqrt{\frac{2\beta}{7 + \beta}} \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} & \cong 0.75 \text{ kN} & 8.7 \text{ (k)} \end{cases}$$

**Resistenza totale caratteristica:**

$$F_{v,ef,Rk} = n_{ef} \cdot n_{sez} \cdot F_{v,Rk} = 54 \cdot 2 \cdot 0.64 \cong 69 \text{ kN}$$

$n_{ef} = n$  in quanto i chiodi negli allineamenti sono sfalsati di un diametro (6 righe di 9 chiodi ognuna con spaziatura longitudinale pari a  $10d$  nel coprigiunto centrale)

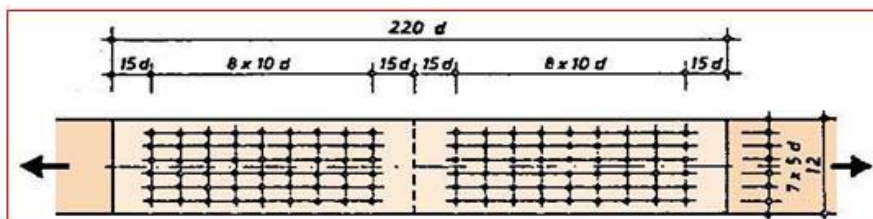
**Resistenza totale di calcolo:**

$$F_{v,eff,Rd} = k_{mod} \frac{F_{v,eff,Rk}}{\gamma_m} = 0.8 \frac{69}{1.3} \cong 42.5 \text{ kN} > F_{v,Ed} = 40 \text{ kN}$$



**Verifica delle spaziature minime e delle distanze dall'estremità e dai bordi:**

$$\begin{cases} \alpha = 0^\circ \\ \text{no preforo} \\ \rho_k < 420 \text{ kg/m}^3 \\ d < 5 \text{ mm} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} a_1 = 35 \text{ mm} > a_{1,min} = 10 \cdot d = 31 \text{ mm} \\ a_3 = 50 \text{ mm} > a_{3,min} = 15 \cdot d = 46.5 \text{ mm} \\ a_2 = 16 \text{ mm} > a_{2,min} = 5 \cdot d = 15.5 \text{ mm} \\ a_4 = 20 \text{ mm} > a_{4,min} = 5 \cdot d = 15.5 \text{ mm} \end{cases}$$



Il giunto (formato da 2 connessioni simmetriche di 54 chiodi ognuna) è lungo 76 cm

**Verifica della lunghezza minima di infissione:**

$$l_{inf} = 22 \text{ mm} > l_{inf,min} = 6 \cdot d = 18.6 \text{ mm} \quad \checkmark$$

**Verifica dello spessore minimo degli elementi in assenza di preforatura:**

$$t = 24 \text{ mm} > t_{min} = \max \begin{cases} 7d & = 21.7 \text{ mm} \\ (13d - 30) \frac{F_k}{400} & \cong 9.0 \text{ mm} \end{cases} \quad \checkmark$$

**Verifica degli elementi ( 2.4 x 12 cm, S10 (C24),  $f_{t,0,k} = 14 \text{ N/mm}^2$  ):**

non si considerano riduzioni di sezione per la presenza dei connettori in quanto  $d < 6 \text{ mm}$  ed inoltre assenza di preforo

**Aste e coprigiunto centrale:** sono sollecitate simmetricamente da una forza pari a  $N_d/2 = 20 \text{ kN}$

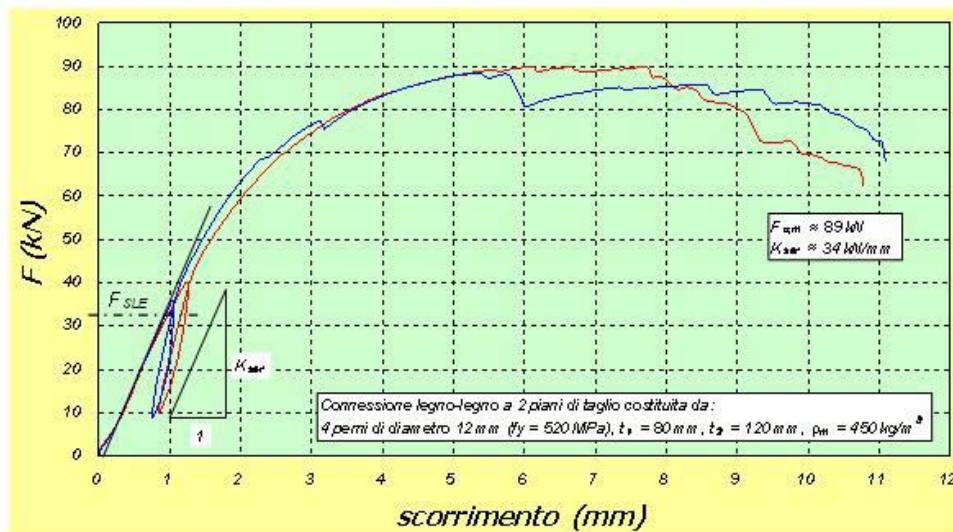
$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_d/2}{A} = \frac{20000 \cdot \text{N}}{24 \cdot 120 \text{ mm}^2} = 6.94 \text{ N/mm}^2 < f_{t,90,d} = k_{mod} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_m} = 0.8 \frac{14}{1.3} = 8.6 \text{ N/mm}^2 \quad \checkmark$$

**Coprigiunti laterali:** sono sollecitate in modo non simmetricamente da una forza pari a  $N_d/4 = 10 \text{ kN}$

$$\sigma_{t,0,d} = 1.5 \frac{N_d/2}{A} = 1.5 \frac{10000}{24 \cdot 120} = 5.2 \text{ MPa} < f_{t,90,d} = 8.6 \text{ MPa} \quad \checkmark$$

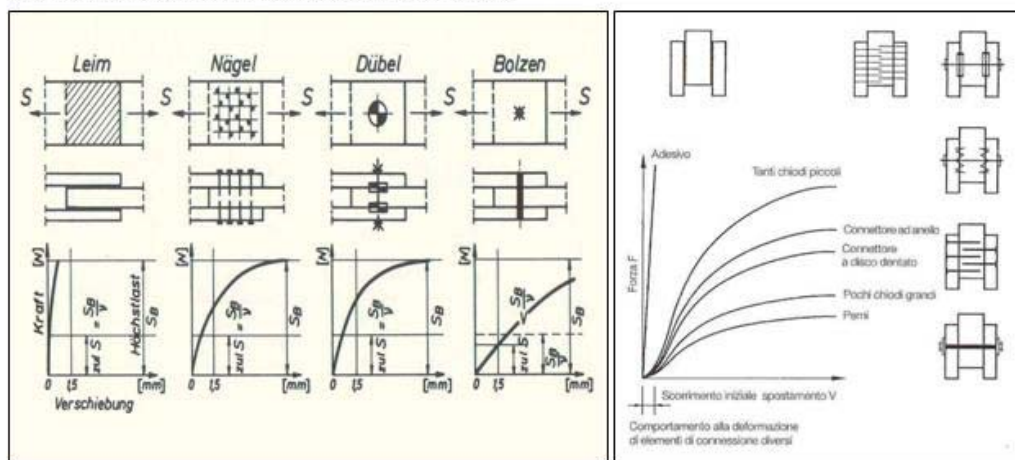
**4. Rigidezza delle connessioni con connettori cilindrici**

La rigidezza di una connessione è la forza necessaria per imporre alla connessione uno scorrimento (slip) unitario.



Le connessioni più rigide sono quelle incollate, seguono quelle realizzate con tanti piccoli connettori cilindrici, poi quelle con pochi connettori grandi ed infine quelle con bulloni (gioco foro-bullone).

Come regola generale si può affermare che le connessioni più rigide sono quelle che riescono a distribuire il più uniformemente possibile le sollecitazioni provenienti dai connettori sull'intero volume degli elementi.



La rigidità delle connessioni con connettori cilindrici dipende da numerosi fattori.

I principali sono:

il diametro del connettore, la densità degli elementi di legno, la geometria della connessione, la tipologia (connessioni legno-legno, legno-acciaio o legno-pannello), la modalità di rottura (e quindi la snellezza del connettore), la prefettura.

L'Eurocodice 5 fornisce una formula semplificata per il calcolo della rigidità in quanto questa grandezza è caratterizzata da grande variabilità:

$k_{ser}$ : rigidità (modulo di taglio) per piano di taglio e per connettore in corrispondenza dei carichi di servizio

Connessioni legno-legno, legno-acciaio e legno-pannello	
Connessioni con perni, bulloni, viti e chiodi (con preforo)	Connessioni con chiodi (senza preforo)
$k_{ser} = \frac{\rho_k^{1.5} \cdot d}{20}$	$k_{ser} = \frac{\rho_k^{1.5} \cdot d^{0.8}}{25}$

Si sottolinea che i valori forniti dalle formule rappresentano solo "un valore medio" della rigidità delle connessioni in quanto trascurano molti fattori.

Inoltre si sottolinea che  $k_{ser}$  è la rigidità elastica della connessione divisa per il numero di connettori ed il numero di piani di taglio di ogni connettore.

### Deformabilità del giunto precedentemente dimensionato

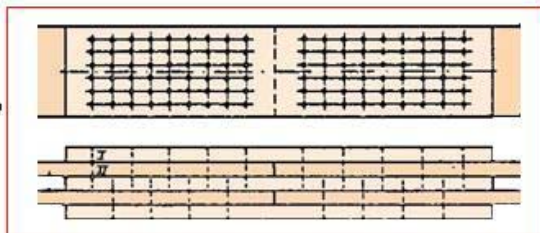
Il giunto è costituito da 2 connessioni simmetriche legno-legno costituite ognuna da 54 chiodi ad anelli 3.1 x 70 mm infissi senza preforo.

La sollecitazione ultima ( $N_{d,SLU}$ ) è pari a 40 kN, quella in corrispondenza allo stato limite di servizio ( $N_{d,SLE}$ ) è pari a 27.5 kN.

#### Rigidezza:

$$k_{ser} = \frac{p_k^{1.5} \cdot d^{0.8}}{25} = \frac{350^{1.5} \cdot 3.1^{0.8}}{25} \cong 650 \text{ N/mm}$$

$$K_{ser} = n_{conn} \cdot n_{sez} \cdot k_{ser} \cong 69.9 \text{ kN/mm}$$



#### Deformazione totale del giunto per carichi di servizio:

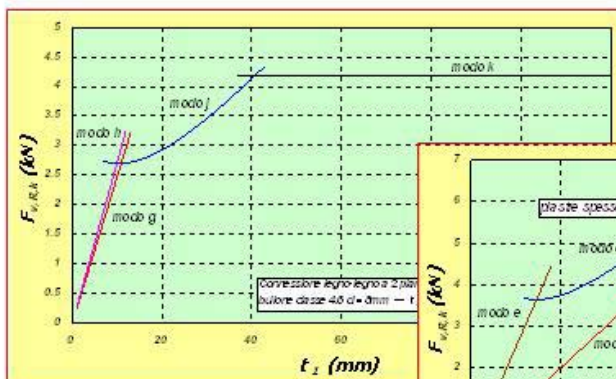
$$\delta_1 = \frac{N_{d,SLE}}{K_{ser}} = \frac{27.5}{69.9} \cong 0.39 \text{ mm}$$

Il giunto come detto è costituito da 2 connessioni, pertanto la deformazione totale è:

$$\delta_{tot} = 2 \cdot \delta_1 \cong 0.79 \text{ mm}$$

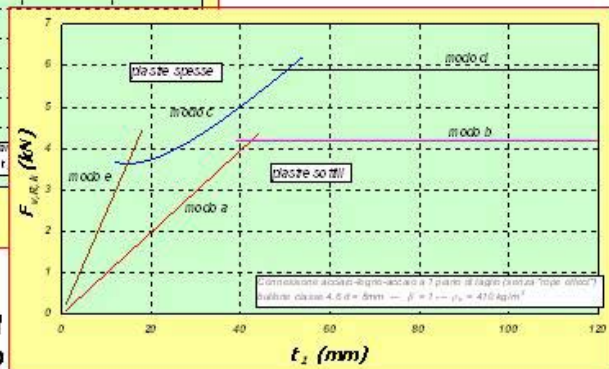
### 5. Efficienza ed ingombro dei connettori cilindrici

L'efficienza dei connettori a gambo cilindrico è essenzialmente connessa alla snellezza degli stessi. All'aumentare della snellezza (definibile come  $t_1/d$ ) infatti, a parità di altre condizioni, aumenta la capacità portante della connessione.

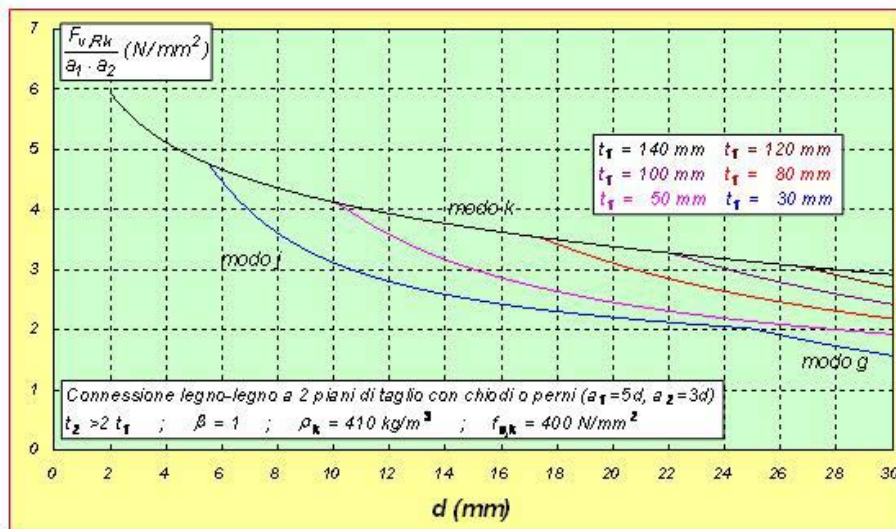


Connessione legno-legno a 2 piani di taglio

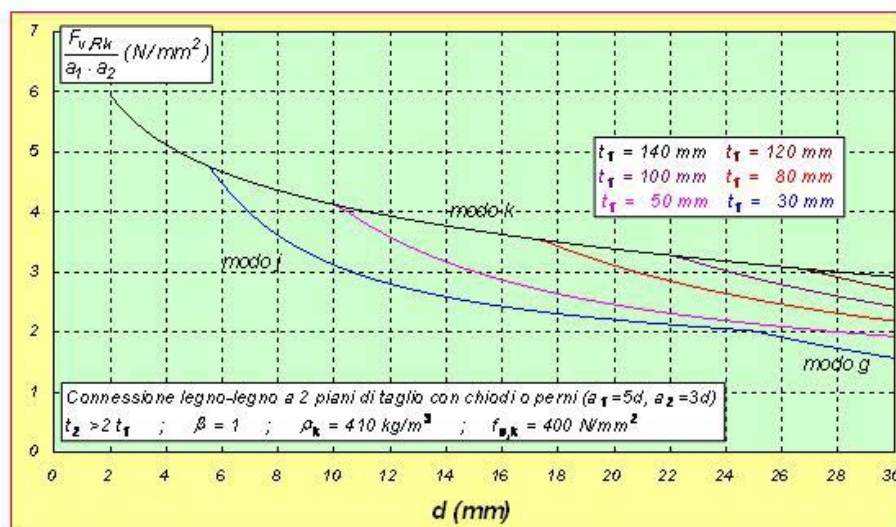
Connessione legno-acciaio a 1 piano di taglio



Se si definisce "efficienza" il rapporto fra la resistenza e l'area di rispetto del connettore (prodotto delle spaziature longitudinali e trasversali  $a_1$  e  $a_2$ ) si può osservare che i connettori più efficienti sono quelli di minore diametro.



Inoltre, si può osservare che al diminuire dello spessore  $t_f$  (e quindi della snellezza) l'efficienza diminuisce più velocemente in quanto si attivano di modalità di collasso meno resistenti.



Infine al concetto di efficienza è collegato l'ingombro della connessione.

Infatti usualmente il problema di progetto si presenta nel seguente modo:

"all'interno di una superficie degli elementi assegnata A, progettare una connessione capace di trasmettere una assegnata sollecitazione di calcolo  $S_d$ "

Pertanto:

$$S_d \leq n_{conn} \cdot F_{v,Rd} \quad \text{ma} \quad n_{conn} = \frac{A}{a_1 \cdot a_2}$$

$$\text{allora} \quad S_d \leq \left( \frac{A}{a_1 \cdot a_2} \right) \cdot F_{v,Rd} = A \cdot \left( \frac{F_{v,Rd}}{a_1 \cdot a_2} \right) = A \cdot \eta \quad (\eta = \text{efficienza})$$

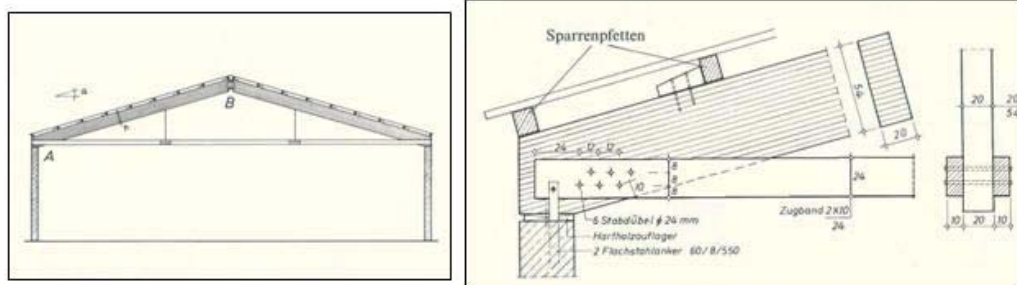
$$\text{per cui:} \quad A \geq \frac{S_d}{\eta}$$

da cui si vede che maggiore è l'efficienza e minore è l'ingombro della connessione.

## 6. Dimensionamento di una connessione con perni

### Dati:

- connessione legno – legno costituita da 6 perni  $\phi 24 \text{ mm}$  a 2 sezioni resistenti ( $f_u = 400 \text{ N/mm}^2$ )
- disposizione dei perni come da figura ( $a_1 = 120 \text{ mm} = 5d$ ,  $a_2 = 80 \text{ mm} > 3d$ )
- sollecitazione di calcolo nella catena pari a  $140 \text{ kN}$  derivante da combinazione di carico con azioni di breve durata ( $k_{mod} = 0.9$ )
- elementi in legno lamellare di abete rosso BS11 (GL24h) -  $\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$



**Resistenza di rifollamento:**

catena:  $f_{h,1,k} = 0.082 \cdot (1 - 24/100) \cdot 380 \cong 23.68 \text{ MPa}$

puntone (la forza trasmessa dai perni forma un angolo di  $15^\circ$  con le fibre):

$$f_{h,2,\alpha,k} = \frac{f_{h,2,0,k} (= f_{h,1,k})}{(1.35 + 0.015d) \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \cong 22.61 \text{ MPa}$$

$$\beta = \frac{f_{h,2,\alpha,k}}{f_{h,1,k}} \cong 0.9546$$

**Momento plastico:**

$$M_{y,Rk} = 0.3 \cdot f_u \cdot d^{2.6} \cong 465300 \text{ Nmm}$$

**Resistenza caratteristica di 1 sezione di taglio ( $\beta=0.9546$ ,  $t_1=100 \text{ mm}$ ,  $t_2=200 \text{ mm}$ ):**

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{ll} f_{h,1,k} t_1 d & = 56.8 \text{ kN} \quad 8.7 (g) \\ 0.5 f_{h,2,k} t_2 d & = 54.3 \text{ kN} \quad 8.7 (h) \\ 1.05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2+\beta} \left( \sqrt{2\beta(t+\beta) + 4\beta(2+\beta) \frac{M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right) & \cong 24.3 \text{ kN} \quad 8.7 (i) \\ 1.15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} & \cong 26.1 \text{ kN} \quad 8.7 (k) \end{array} \right.$$

**Resistenza totale caratteristica:**

$n_{ef}$  (2 righe di 3 perni):  $n_{ef} = 2 \cdot \left( 4 \sqrt{\frac{5d}{13d}} \cdot 3^{0.9} \right) \cong 4.23$

$$F_{v,ef,Rk} = n_{ef} \cdot n_{sez} \cdot F_{v,Rk} = 4.23 \cdot 2 \cdot 24.3 \cong 205.7 \text{ kN}$$

**Resistenza totale di calcolo:**

$$F_{v,eff,Rd} = k_{mod} \frac{F_{v,eff,Rk}}{\gamma_m} = 0.9 \frac{205.7}{1.3} = 142.43 \text{ kN} > F_{v,Ed} = 140 \text{ kN} \quad \checkmark$$

**Verifica delle spaziature minime e delle distanze dall'estremità e dai bordi:**

per la catena ( $\alpha = 0^\circ$ )

$$\left\{ \begin{array}{l} a_1 = 120 \text{ mm} = a_{1,min} = 5 \cdot d = 120 \text{ mm} \\ a_3 = 240 \text{ mm} > a_{3,min} = 7 \cdot d = 168 \text{ mm} \\ a_2 = 80 \text{ mm} > a_{2,min} = 3 \cdot d = 72 \text{ mm} \\ a_4 = 80 \text{ mm} > a_{4,min} = 3 \cdot d = 72 \text{ mm} \end{array} \right. \quad \checkmark$$

mentre per il puntone ( $\alpha = 165^\circ$ ) basta verificare  $a_4 = 100 \text{ mm} > a_{4,min} = 3 \cdot d = 72 \text{ mm}$

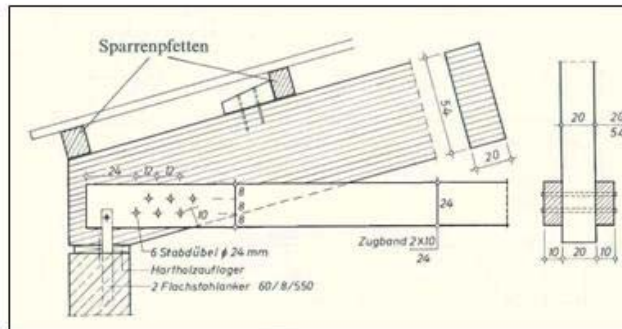
**Verifica della catena ( 2 x 10 x 24 cm, BS11 (GL24h),  $f_{t,0,k} = 16.5 \text{ N/mm}^2$  ):**

l'area netta della catena è:

$$A_{net} = 2 \cdot b \cdot h - 2 \cdot (b \cdot 2 \cdot d) = 2 \cdot 10 \cdot 24 - 2 \cdot (10 \cdot 2 \cdot 2.4) = 384 \text{ cm}^2$$

la catena riceve il carico eccentricamente attraverso la connessione, allora il carico deve essere amplificato del coefficiente 1.5:

$$\sigma_{t,0,d} = 1.5 \frac{N_d}{A_{net}} = 1.5 \frac{140000}{34800} = 6.03 \text{ MPa} < f_{t,90,d} = 0.9 \frac{16.5}{1.3} \cong 11.42 \text{ MPa} \quad \checkmark$$



## 7. Modello di calcolo per sollecitazioni parallele all'asse del connettore

### Chiodi:

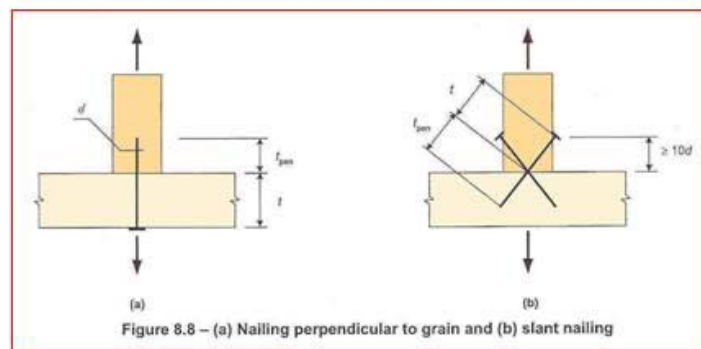
La resistenza a estrazione dei chiodi è:

$$F_{ax,Rk} = \min \begin{cases} f_{ax,k} \cdot d \cdot t_{pen} \\ \begin{cases} f_{ax,k} \cdot d \cdot t + f_{head,k} \cdot d_h^2 & \text{per chiodi lisci} \\ f_{head,k} \cdot d_h^2 & \text{per chiodi ad aderenza migliorata} \end{cases} \end{cases}$$

dove la prima espressione corrisponde alla estrazione del gambo del chiodo dall'elemento che riceve la punta dello stesso, la seconda invece corrisponde all'estrazione della testa del chiodo.

dove:  $f_{ax,k}$  e  $f_{head,k}$  sono le resistenze caratteristiche a estrazione del gambo e a estrazione della testa  
 $t_{pen}$  e  $t$  sono la lunghezza di infissione del chiodo e lo spessore dell'elemento attraversato  
 $d$  e  $d_h$  sono il diametro del gambo e quello della testa





Le precedenti espressioni valgono per chiodi infissi in direzione perpendicolare alle fibre.

Esistono delle restrizioni:

- i chiodi infissi parallelamente alle fibre (di testa) dovrebbero essere considerati incapaci di trasmettere forze
- i chiodi lisci non si devono usare per sollecitazioni permanenti o di lunga durata
- per i chiodi ad aderenza migliorata  $t_{pen}$  non può essere maggiore della parte ad aderenza migliorata del gambo

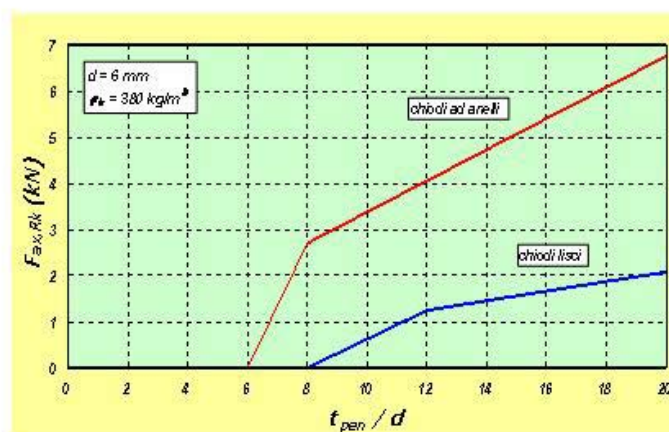
Resistenze caratteristiche:

per i chiodi lisci si ha:  $f_{ax,k} = 20 \cdot \left(\frac{\rho_k}{1000}\right)^2$        $f_{head,k} = 70 \cdot \left(\frac{\rho_k}{1000}\right)^2$

per i chiodi ad anello:  $f_{ax,k} = 65 \cdot \left(\frac{\rho_k}{1000}\right)^2$       (STEP1 – lezione C13)

Le precedenti espressioni valgono per lunghezze di infissione minime  $t_{pen}$  pari a  $12d$  per i chiodi lisci e a  $8d$  per quelli ad aderenza migliorata.

Nel caso di lunghezze minori (ma maggiori rispettivamente di  $8d$  e  $6d$ ) si devono apportare riduzioni:



Influenza dell'umidità:

In caso di elementi posti in opera con elevati tassi di umidità (e che quindi stagioneranno in opera), le resistenze caratteristiche  $f_{ax,k}$  e  $f_{head,k}$  devono essere ridotte di **1/3**.

Spaziature e distanze dai bordi:

Si applicano le medesime spaziature dei chiodi soggetti ad azioni taglianti.

Nel caso di chiodi inclinati, la distanza minima fra la testa del chiodo ed il bordo dell'elemento è  $10d$ .

Azioni combinate:

Nel caso di sollecitazioni combinate si deve verificare:

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

con  $m = 1$  per chiodi lisci e  $m = 2$  per quelli ad aderenza migliorata

Viti:

La resistenza a estrazione delle viti è:

$$F_{ax,\alpha,Rk} = n_{ef} \cdot (\pi \cdot d \cdot l_{ef})^{0,8} \cdot f_{ax,\alpha,k}$$

dove:

$$f_{ax,\alpha,k} = \frac{f_{ax,k}}{\sin^2 \alpha + 1.5 \cos^2 \alpha} \quad f_{ax,k} = 3.6 \cdot \left( \frac{\rho_k}{100} \right)^{1.5}$$

e:

$n_{ef}$  = numero di viti della connessione soggette a forze di estrazione

$l_{ef}$  = è la lunghezza di infissione (la sola parte filettata) meno 1 diametro

oltre all'estrazione si deve eseguire la verifica di estrazione della testa (come per i chiodi) e, quando  $l_{ef} > 10d$  anche la resistenza della vite a trazione

Lunghezza di infissione minima:  $l_{ef,min} = 6d$

Spaziature e distanze dai bordi:  $a_{1,min} = a_{2,min} = 4d$   
 $a_{3,min} = a_{4,min} = (4d / 2.5d)^*$

\* il valore minore per viti parallele alle fibre

Azioni combinate:

$m = 2$  come per i chiodi ad aderenza migliorata



Sebbene le piastre siano sottili ( $t = 2 \text{ mm} = d/2$ ), risultati sperimentali hanno dimostrato che nel caso di chiodi ad anello con gambo conico in prossimità della testa si ha comunque un effetto di incastro alle estremità dei chiodi anche per spessori sottili delle lamiere. Per tale motivo, per questa tipologia di chiodi, è possibile utilizzare i risultati delle piastre spesse (STEP 1 – lezione C13).

Resistenza di calcolo:  $F_{V,Rd} = k_{mod} \frac{F_{V,Rk}}{\gamma_m} = 0.9 \cdot \frac{1.66}{1.3} \cong 1.15 \text{ kN}$

Resistenza totale di calcolo:  $F_{V,tot,Rd} = n_{eff} \cdot F_{V,Rd} = 12 \cdot 1.15 \cong 13.83 \text{ kN}$

Verifica:

$$F_{V,tot,Rd} = 13.83 \text{ kN} > F_{V,tot,Ed} = 11 \text{ kN}$$



Si tenga presente inoltre che la differenza fra la sollecitazione di calcolo e la resistenza di calcolo nel caso di piastre sottili

$$\Delta F_{V,tot,Ed} = F_{V,tot,Ed} - F_{V,tot,Rd, \text{piastre sottili}} = 11 - (12 \cdot \frac{0.9}{1.3} \cdot 1.18) = 1.22 \text{ kN}$$

può essere agevolmente trasmessa per contatto fra la trave e la scarpa:

$$F_{c,90,Rd} = k_{mod} \frac{A_{cont} \cdot f_{c,90,k}}{\gamma_m} = 0.9 \cdot \frac{(100 \cdot 80) \cdot 2.7}{1.3} \cong 14.95 \text{ kN}$$

e può essere altrettanto agevolmente sostenuta dalla lamiera di base.

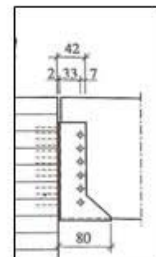
### **Connessione scarpa metallica – trave principale:**

La connessione è soggetta alla forza di taglio di calcolo che ha una eccentricità di 35 mm (si assume agire in asse alla connessione della trave secondaria).

Pertanto le sollecitazioni di calcolo sono:

$$F_{V,tot,Ed} = 11 \text{ kN} \quad M_{Ed} = F_{V,tot,Ed} \cdot e = 11 \cdot 0.035 = 0.385 \text{ kNm}$$

e la connessione è soggetta a sollecitazioni di taglio e trazione (estrazione)



### **Sollecitazione di taglio**

La forza di taglio si ripartisce uniformemente sui connettori:

$$F_{V,Ed} = \frac{F_{V,tot,Ed}}{n} = \frac{11000}{24} = 458.33 \text{ N}$$

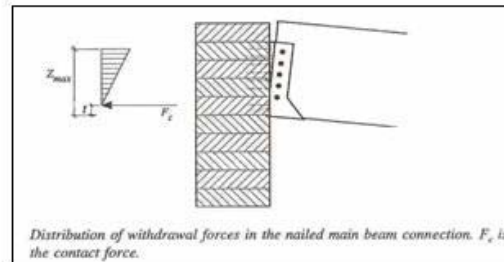
### **Resistenza di taglio**

Si assume la resistenza di calcolo già calcolata per la connessione con piastre spesse:

$$F_{V,Rd} = k_{mod} \frac{F_{V,Rk}}{\gamma_m} = 0.9 \cdot \frac{1.66}{1.3} \cong 1.15 \text{ kN}$$

**Sollecitazione di estrazione**

La sollecitazione di estrazione si può agevolmente calcolare se si suppone una distribuzione lineare delle forze di trazione sui connettori ed inoltre una distribuzione costante delle tensioni di compressione fra trave principale e trave secondaria.



Sotto queste ipotesi se si scrive l'equilibrio alla rotazione e l'equilibrio alla traslazione sulla sezione di contatto, si può scrivere:

$$F_i = \frac{M}{k}(z_i - t) \quad \text{con} \quad k = \sum_{i=1}^n (z_i - t)^2 + \frac{t}{2} \cdot \sum_{i=1}^n (z_i - t) \quad \text{e} \quad \sigma_{c,90} = \frac{1}{b \cdot t} \cdot \sum_{i=1}^n F_i$$

dove  $t$  è l'altezza della superficie di contatto fra trave principale e secondaria e  $z_i$  è la distanza dell' $i$ -esimo connettore dal bordo inferiore della trave secondaria.

Imponendo che la tensione di contatto  $\sigma_{c,90}$  sia uguale alla resistenza di compressione caratteristica  $f_{c,90,k} = 2.7 \text{ N/mm}^2$  si ha:

$$t = 16 \text{ mm} \quad ; \quad k = 66615 \text{ mm}^2 \quad \text{e} \quad F_{\max} = \frac{M}{k}(z_{\max} - t) = 676.2 \text{ N}$$

**Resistenza di estrazione**

La resistenza ad estrazione per i chiodi ad anello è (STEP1 – lezione C13):

$$f_{ax,k} = 65 \cdot \left( \frac{\rho_k}{1000} \right)^2 = 65 \cdot 0.38^2 \cong 9.4 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{ax,Rk} = f_{ax,k} \cdot d \cdot t_{pen} = 9.4 \cdot 4 \cdot 35 \cong 1314 \text{ N}$$

$$F_{ax,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{ax,Rk}}{\gamma_m} = 0.9 \cdot \frac{1314}{1.3} \cong 909 \text{ N}$$

**Verifica per azioni combinate**

$$\left( \frac{676.2}{909.7} \right)^2 + \left( \frac{458.3}{1152.4} \right)^2 = 0.743^2 + 0.398^2 = 0.553 + 0.158 = 0.71 \leq 1$$

