

5.9. Le Unioni

5.9.1. Generalità

L'assemblaggio di strutture in legno va eseguito con opportuni **sistemi di unione** che collegano fra loro gli elementi e assumono un ruolo determinante per la sicurezza dell'intera struttura, in particolare se devono **ripristinare la continuità** degli elementi:

- giunti con **continuità assiale** (travature reticolari);
- giunti con **continuità a taglio** (travi Gerber);
- giunti con **continuità flessionale e tagliante** (coperture di grandi luci).

Nelle strutture in **legno massiccio** le unioni sono in genere soggette a sforzi modesti, mentre nel caso di strutture in **legno lamellare** le sollecitazioni che interessano il giunto di collegamento possono essere invece di notevole intensità.

Infatti la tecnologia del legno lamellare ha consentito:

- un miglior controllo delle caratteristiche meccaniche del materiale (nodi, cipollature, fessure)
- produzione di elementi con forme e dimensioni qualunque (elementi rettilinei e curvi di grande lunghezza)

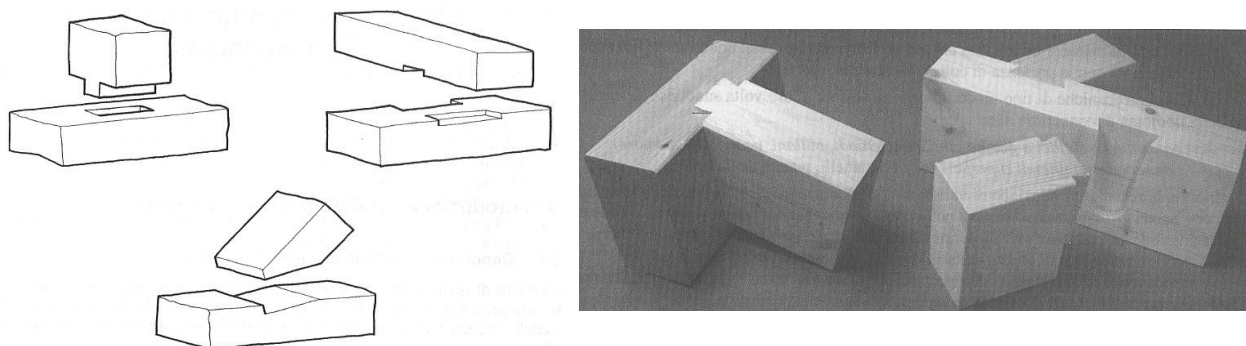
Quindi in generale si ha

- necessità di realizzare **unioni di grandi dimensioni**;
- necessità di **conoscere l'effettivo funzionamento** del tipo di unione considerato;
- necessità di tenere sotto controllo le **pericolose possibili trazioni ortogonali alle fibre** provocate dalla giunzione considerata.

5.9.2. Tipologie di unione

I collegamenti possono essere realizzati:

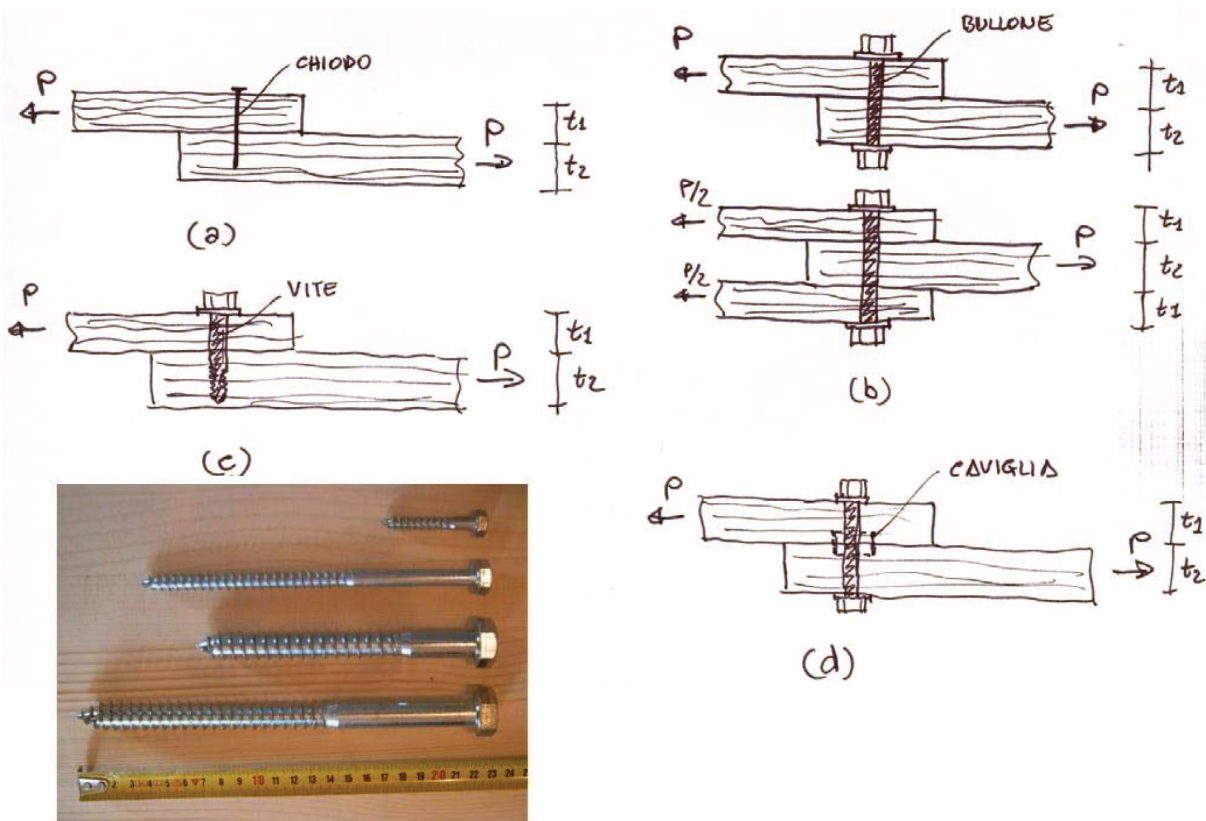
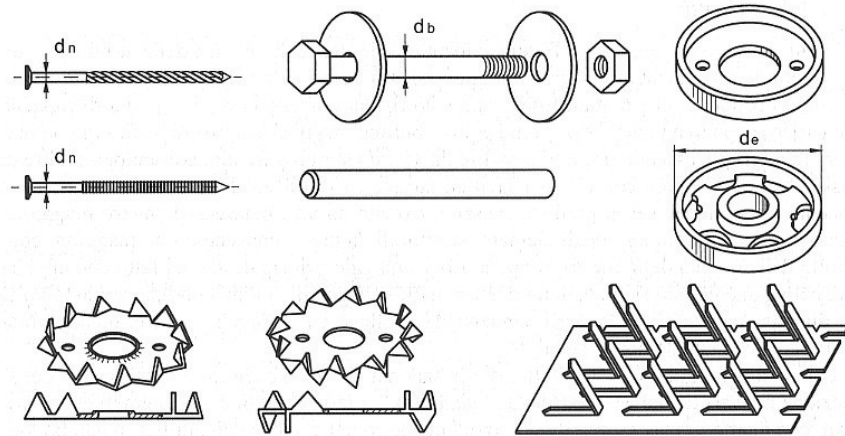
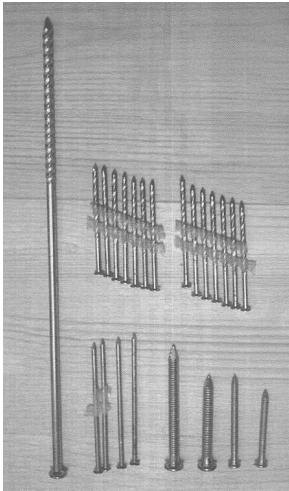
- **ad incastro fra gli elementi**;
- **unioni con dispositivi meccanici** (chiodi, bulloni, viti mordenti, caviglie, barre incollate);
- **unioni incollate** (richiedono caratteristiche termo-igrometriche particolari ed elevata precisione nei dosaggi, difficili da controllare in opera);



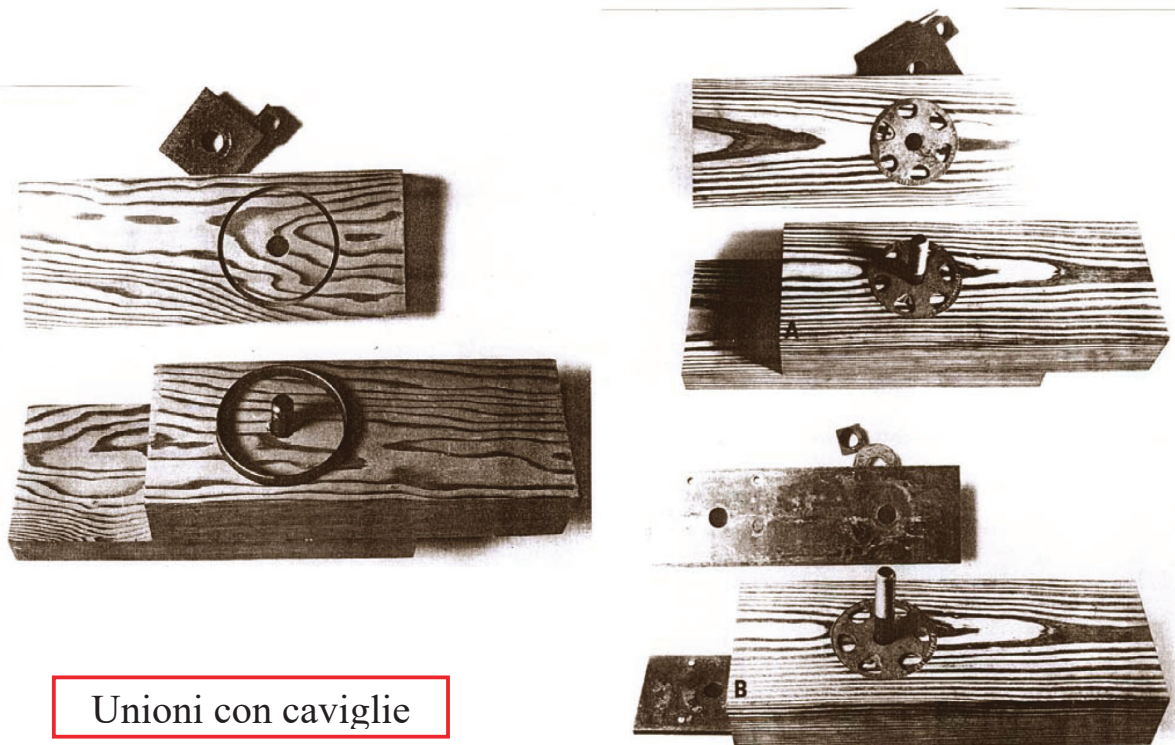
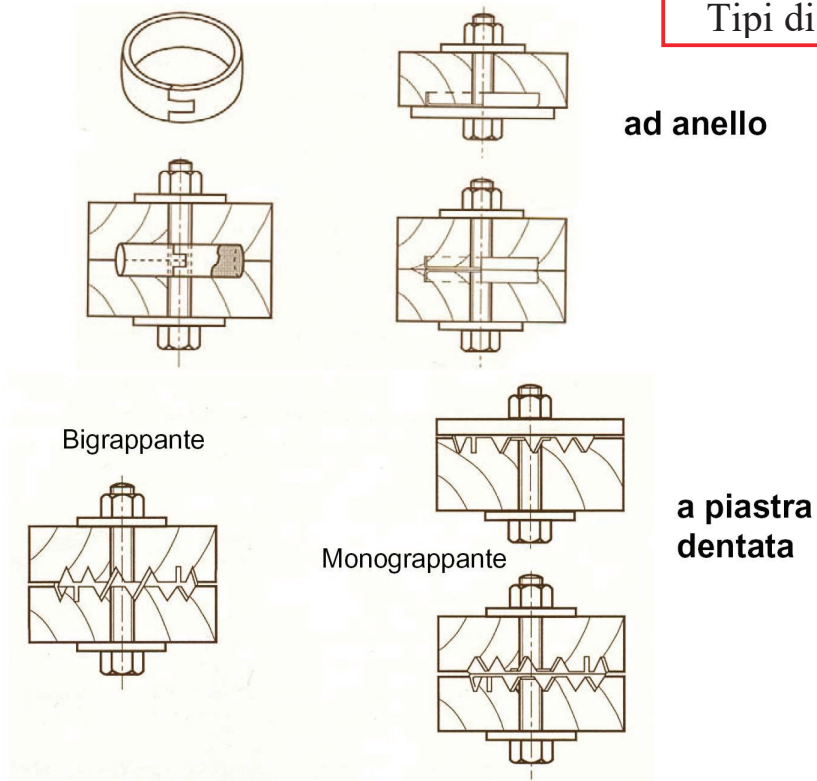
Esempi di unioni ad incastro

- unioni chiodate;
- unioni bullonate o con spinotti;
- unioni con viti mordenti;
- unioni con caviglie;

Le unioni con dispositivi meccanici comprendono:



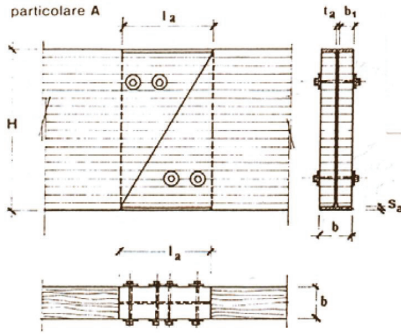
Tipi di caviglie



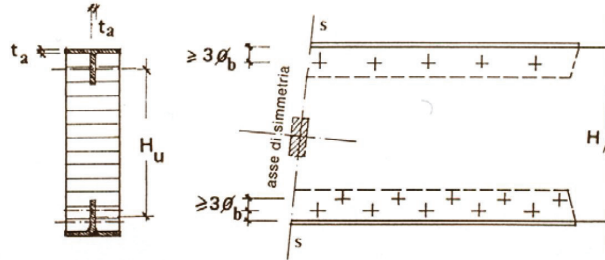
Unioni con caviglie

TIPOLOGIE DI UNIONE

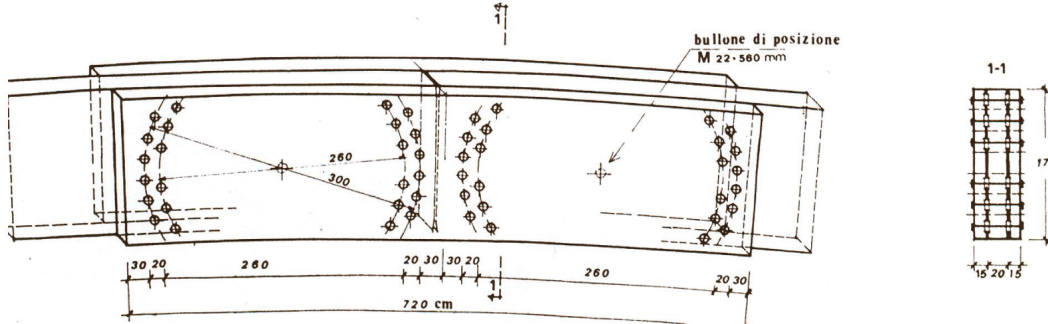
A TAGLIO



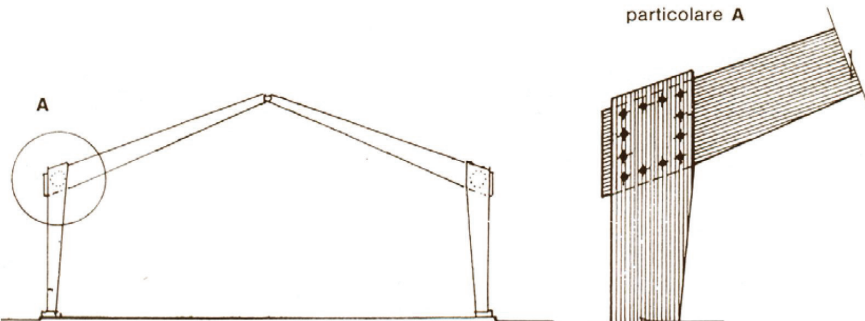
A TAGLIO-FLESSIONE



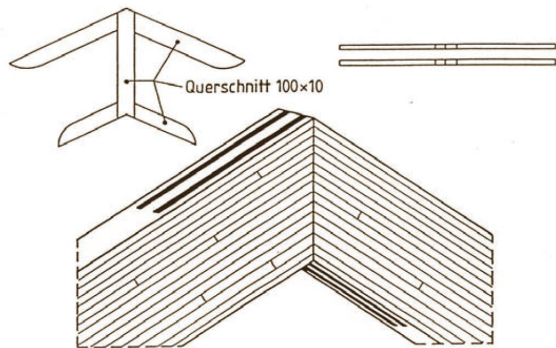
A TAGLIO-FLESSIONE

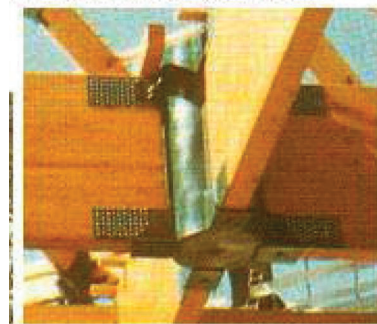
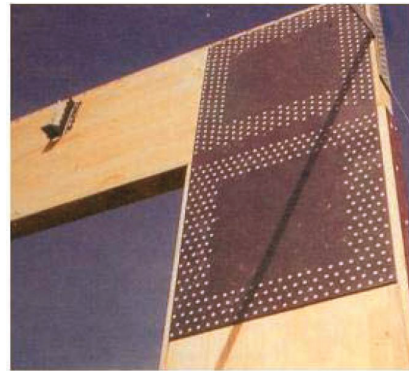
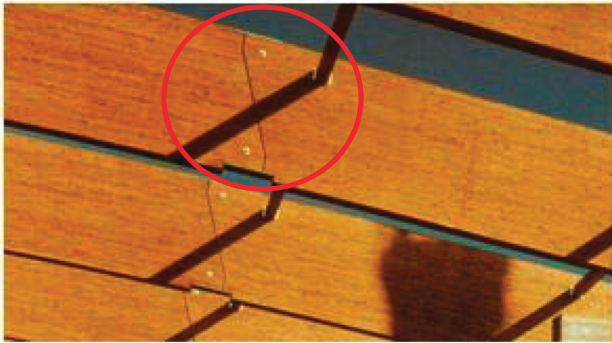


TIPOLOGIE DI UNIONE



**FLESSIONE
TAGLIO E
SFORZO
NORMALE**





5.9.3. Progetto delle unioni (connettori metallici a gambo cilindrico)

Nel progetto delle unioni è necessario determinare

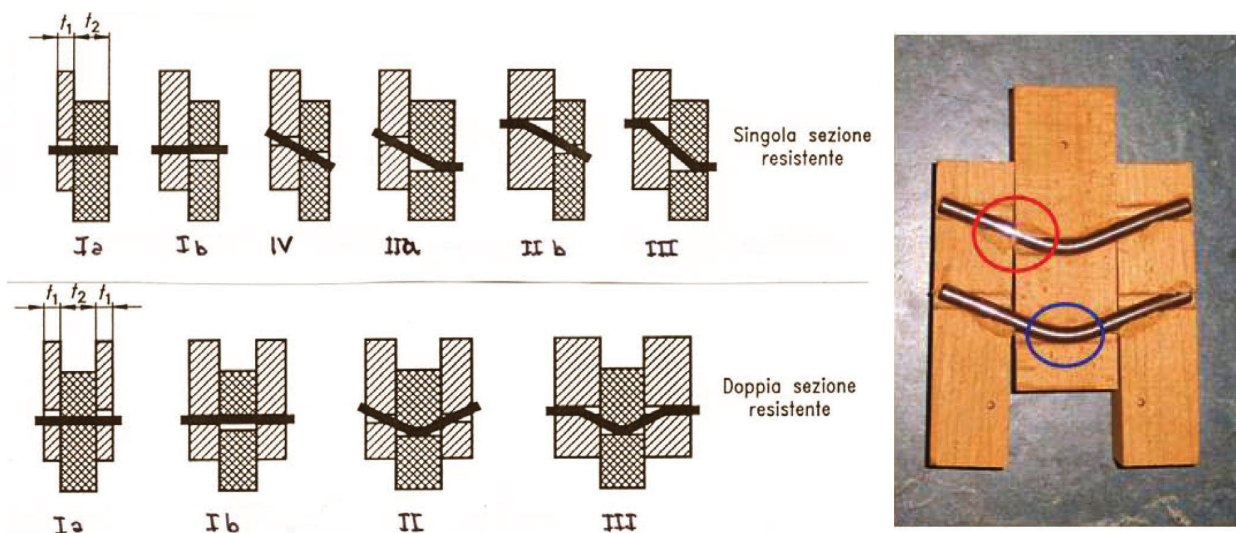
- capacità portante
- deformabilità in esercizio

Nel caso di unioni con connettori a gambo cilindrico (chiodi, bulloni, spinotti, viti, ecc.) la capacità portante a taglio si determina mediante **European Yield Model (EYM)**.

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

Possibili meccanismi di collasso:

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



Fattori da cui dipende la capacità portante di un'unione:

- tensione di rifollamento del legno (densità del legno, inclinazione con la direzione delle fibre, dimensione del connettore);
- momento plastico del connettore M_y ;
- diametro e numero dei connettori d, n ;
- spessore degli elementi di unione t_i ;
- distanze fra i connettori e distanze dai bordi a_1, a_2, a_3, a_4 ;

Tensione di rifollamento:

Nelle unioni di elementi di legno, eseguite con connettori meccanici, la forza viene trasmessa attraverso le pareti di uno o più fori. Assume quindi notevole importanza valutare la resistenza al rifollamento delle pareti del foro. Tale resistenza può essere determinata mediante prove sperimentali specifiche (UNI EN 383).

In letteratura vengono presentate vari relazioni; le principali sono quella di Whale e Smith (EC5) e quella di Soltis e Wilkinson (NDS 1991 – National Design Specification for Wood Construction, USA):

Whale e Smith (EC5) propongono:

$$f_{h,0,k} = 0.082(1 - 0.01d) \rho_k$$

per sollecitazioni parallele alle fibre

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

per sollecitazioni inclinate - Hankinson

dove k_{90} è il rapporto fra la tensione di rifollamento in direzione parallela e quella ortogonale alle fibre ed ha le seguenti espressioni:

$$k_{90} = 1.35 + 0.015d$$

per legno di conifera con $\rho = 400 \text{ kg/m}^3$

$$k_{90} = 0.90 + 0.015d$$

per legno di latifoglie con $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$

Soltis e Wilkinson propongono:

$$f_{h,0,k} = 77.22 \rho_k$$

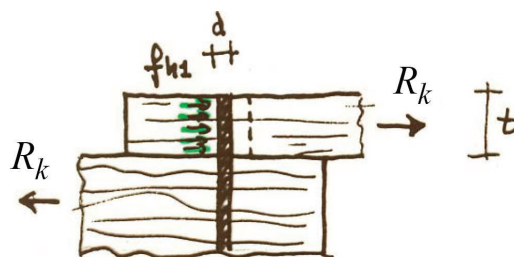
per sollecitazioni parallele alle fibre

$$f_{h,90,k} = 211.96 \cdot \rho^{1.45} \cdot d^{0.5}$$

per sollecitazioni ortogonali alle fibre

Capacità portante unioni a SINGOLO connettore (unioni legno – legno):

Modo I - plasticizzazione del legno davanti al connettore



$$R_k = \min \begin{cases} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \\ f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d \end{cases}$$

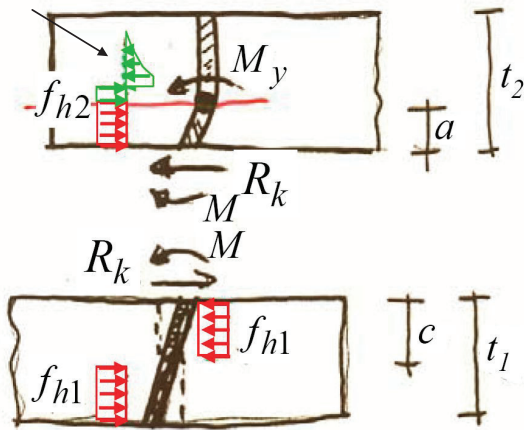
$$R_d = k_{\text{mod}} \frac{R_k}{\gamma_m}$$

$$\gamma_m = 1.5$$

dove: $f_{h,i,k}$ è la resistenza a rifollamento dell'elemento i ;
 t_i è lo spessore dell'elemento i ;
 d è il diametro del connettore

Modo II - contemporanea plasticizzazione del legno e formazione di una cerniera plastica nel connettore

autoequilibrate



Scriviamo le equazioni di equilibrio alla traslazione ed alla rotazione per ciascun elemento:

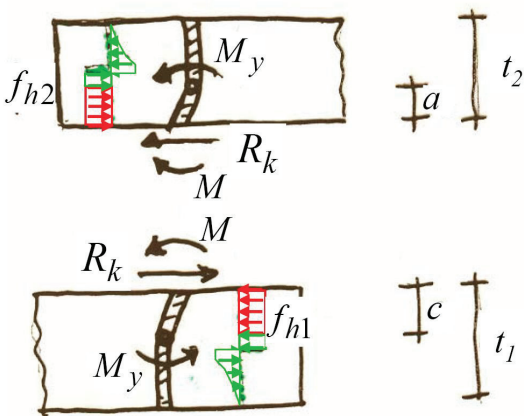
$$\begin{cases} R_k = f_{h,2,k} \cdot d \cdot a \\ M = M_{y,k} - f_{h,2,k} \cdot d \cdot \frac{a^2}{2} \\ R_k = f_{h,1,k} \cdot c \cdot d - f_{h,1,k} \cdot (t_1 - c) \cdot d = f_{h,1,k} \cdot d \cdot (2c - t_1) \\ M = f_{h,1,k} \cdot c \cdot d \cdot \frac{c}{2} - f_{h,1,k} \cdot (t_1 - c) \cdot d \left(c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

Risolviendo il sistema si ottiene:

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

ξ = coefficiente ricavato da prove sperimentali

Modo III - contemporanea plasticizzazione del legno e formazione di due cerniere plastiche nel connettore



Si hanno due cerniere plastiche incognite; scriviamo le equazioni di equilibrio alla traslazione ed alla rotazione per ciascun elemento:

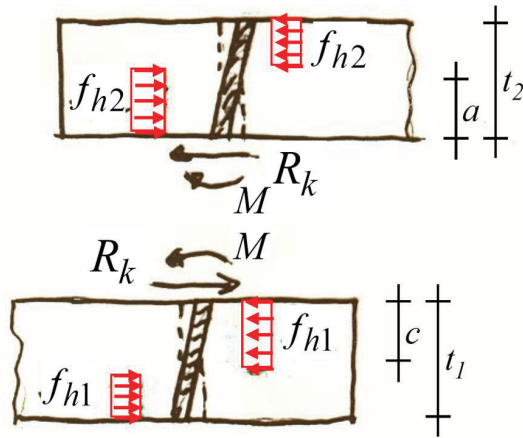
$$\begin{cases} R_k = f_{h,2,k} \cdot d \cdot a \\ M = M_{y,k} - f_{h,2,k} \cdot d \cdot \frac{a^2}{2} \\ R_k = f_{h,1,k} \cdot d \cdot c \\ M = f_{h,1,k} \cdot d \cdot \frac{c^2}{2} - M_{y,k} \end{cases}$$

Risolviendo il sistema si ottiene:

$$R_k = \xi \sqrt{\frac{2\beta}{(1 + \beta)}} \sqrt{2M_{y,k} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \quad \text{con } \beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}}$$

ξ = coefficiente ricavato da prove sperimentali

Modo IV - plasticizzazione del legno e rotazione rigida del connettore



Si ha rotazione del bullone, distribuzione delle tensioni s costanti per l'ipotesi di legame rigido plastico del legno;
le equazioni di equilibrio sono :

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

Risolvendo il sistema si ottiene:

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

Nel caso in cui si abbia un giunto simmetrico a 3 elementi, si ha

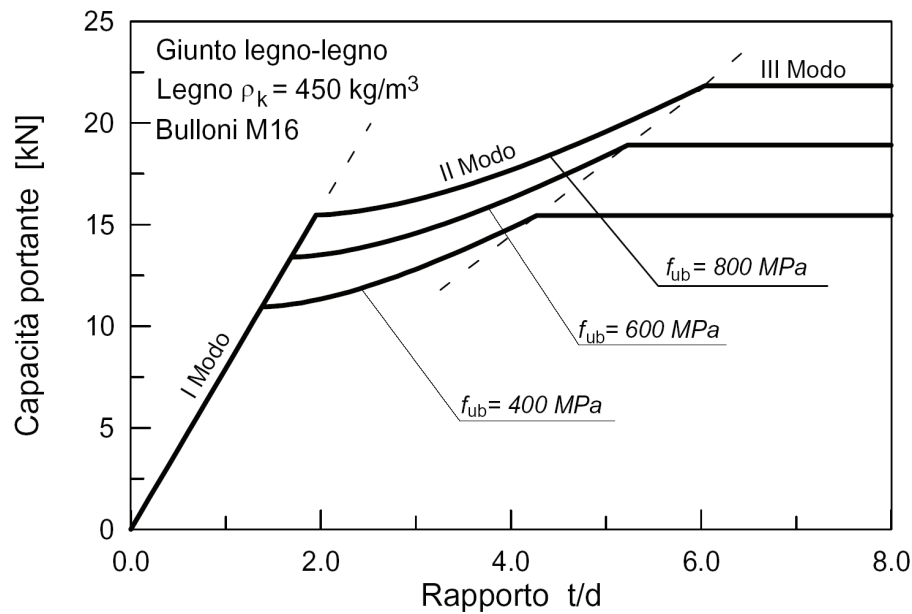
$$R_k = \min \begin{cases} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d & \text{(Modo 1a)} \\ f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d & \text{(Modo 1b)} \\ \xi \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] & \text{(Modo II)} \\ \xi \sqrt{\frac{2\beta}{(1 + \beta)}} \sqrt{2M_{y,k} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} & \text{(Modo III)} \end{cases}$$

con $\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}}$ ξ = coefficiente ricavato da prove sperimentali

$M_{y,k} = \frac{f_{y,k} \cdot d^3}{6}$ momento caratteristico di completa plasticizzazione del gambo del connettore

(formulazione variabile a seconda della tipologia del connettore)

Il diagramma seguente riporta il limite inferiore della capacità resistente di un'unione al variare della dimensione dei mezzi d'unione (rapporto spessore/diametro)



Capacità portante unioni legno – acciaio e legno – calcestruzzo:

Sono valide tutte le espressioni precedentemente esposte, fatto salvo calibrare le caratteristiche geometriche e meccaniche dei vari elementi della connessione.

Contributo “Effetto Tirante”

Si è osservato sperimentalmente che la resistenza ultima della connessione risulta spesso superiore a quella stimata con le equazioni di Johansen: dopo la formazione di uno dei modi di rottura, si instaura un ulteriore meccanismo di trasmissione degli sforzi, detto “Effetto Tirante”

Questo contributo, stimato come:

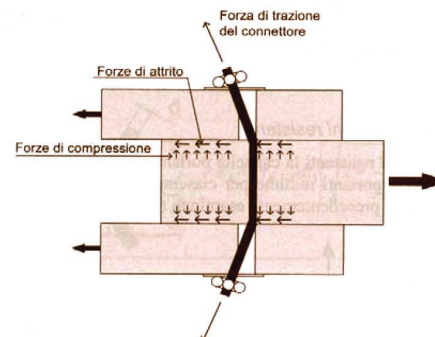
$$\dots\dots + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

dove:

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

va considerato solo nel caso di una sua reale attivazione e comunque non deve superare i valori indicati sotto come percentuale del contributo di Johansen:

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



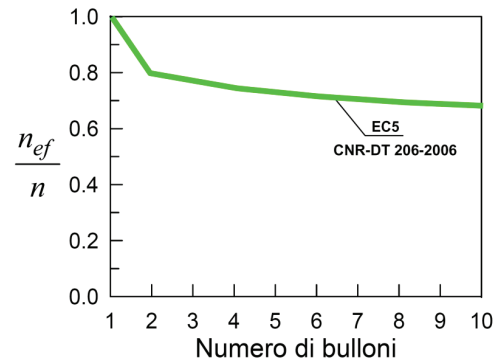
Capacità portante unioni a PIÙ connettori (unioni legno – legno):

L'efficacia dell'unione viene ridotta per effetto dell'interazione reciproca fra i connettori. Si introduce in concetto di efficacia dei connettori, infatti:

$$F_m < n \cdot F_s$$

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

con $n_{ef} < n$



Esistono diverse relazioni per n_{ef} , a seconda del tipo di connettore, tra cui si cita:

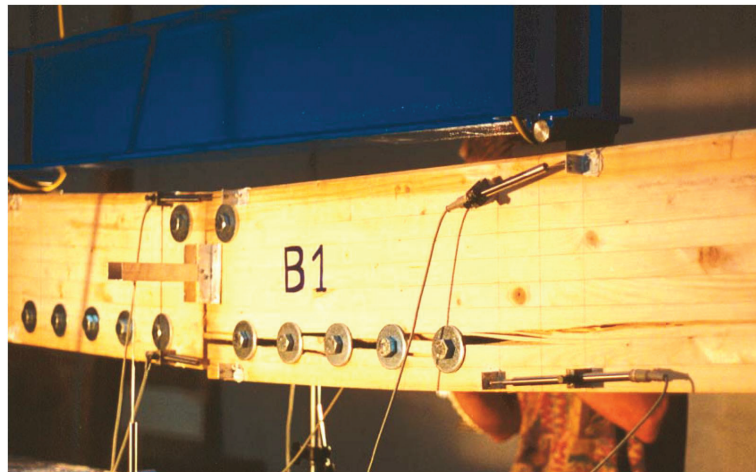
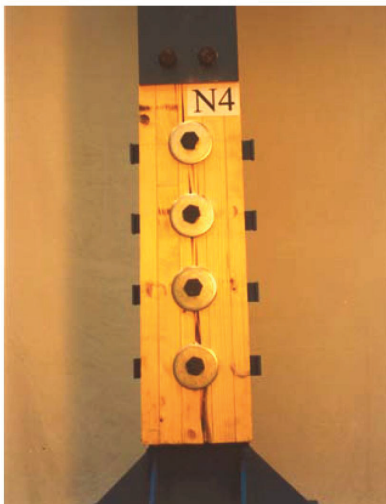
CNR-DT206/2007

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

Normativa Canadese

$$n_{ef} = 0.25 \left(\frac{t}{d} \right)^{0.5} \left(\frac{a_1}{d} \right)^{0.2} n^{0.7}$$

Le diverse relazioni forniscono in molti casi valori piuttosto discordanti fra di loro; questo è dovuto al fatto che si basano su teorie diverse, validate con i pochi risultati sperimentali disponibili in letteratura.



L'efficacia dei connettori dipende da:

- dalla diversa distribuzione della forza esterna nei bulloni: i primi sono maggiormente sollecitati e questo provoca lesioni e rotture di tipo fragile dette splitting;
- riduzione dello slittamento ultimo all'aumentare del numero dei bulloni (a causa delle fessure da spacco che creano rapidamente);
- tolleranze di fabbricazione (diverso passo fra i fori degli elementi da unire).

Distanze minime fra i connettori:

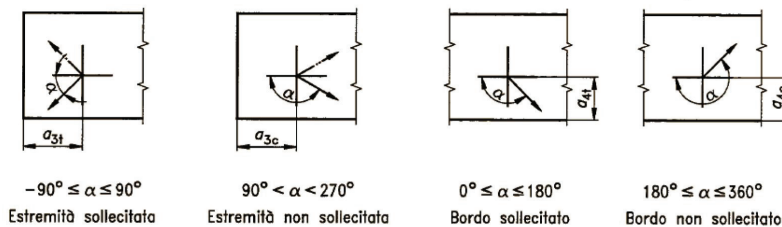
Come nel caso delle giunzioni bullonate nelle costruzioni metalliche, anche per le unioni in legno esistono precise indicazioni delle distanze ed interassi minimi da garantire fra i connettori, al fine di evitare rotture fragili e perdita d'efficacia della giunzione.

Si veda in letteratura o normative (EC5 / CNR) i valori specifici per ciascun caso d'interesse.

Interassi, parallelamente e perpendicolarmente alla fibratura:



Distanze dai bordi e dalle estremità:



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

$90^\circ < \alpha < 270^\circ$
Estremità non sollecitata

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

$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$
Bordo non sollecitato

α è l'angolo tra la forza e la direzione della fibratura

Deformabilità delle unioni a taglio:

Per valutare correttamente la deformazione degli elementi strutturali è necessario tener conto anche della deformabilità concentrata nelle unioni.

E' quindi necessario determinare un modulo di scorrimento dell'unione K_{ser} da utilizzare per valutare l'entità dello slittamento fra i mezzi di unione. Per le unioni bullonate è necessario tener conto di un'ulteriore slittamento dovuto alle tolleranze di costruzione (foro di diametro maggiorato rispetto al diametro del bullone) e viene forfettariamente assunto pari ad 1 mm.

$$u_{c,ist} = 1 + \frac{F}{K_{ser}}$$

F è la forza applicata al singolo bullone riferita ad una sezione resistente

Lo slittamento globale, tenendo conto della viscosità e dell'umidità, è pari a

$$u_{c,fin} = u_{c,ist} + u_{c,diff} = u_{1,c,ist} (1 + k_{def}) + u_{2,c,ist} (1 + \psi_2 k_{def})$$

dove ψ_2 è il coefficiente di combinazione quasi-permanente dei carichi variabili.

I valori di k_{ser} , modulo di scorrimento istantaneo per ciascuna sezione resistente per singolo connettore sotto una forza allo SLE, sono riportati nella seguente tabella.

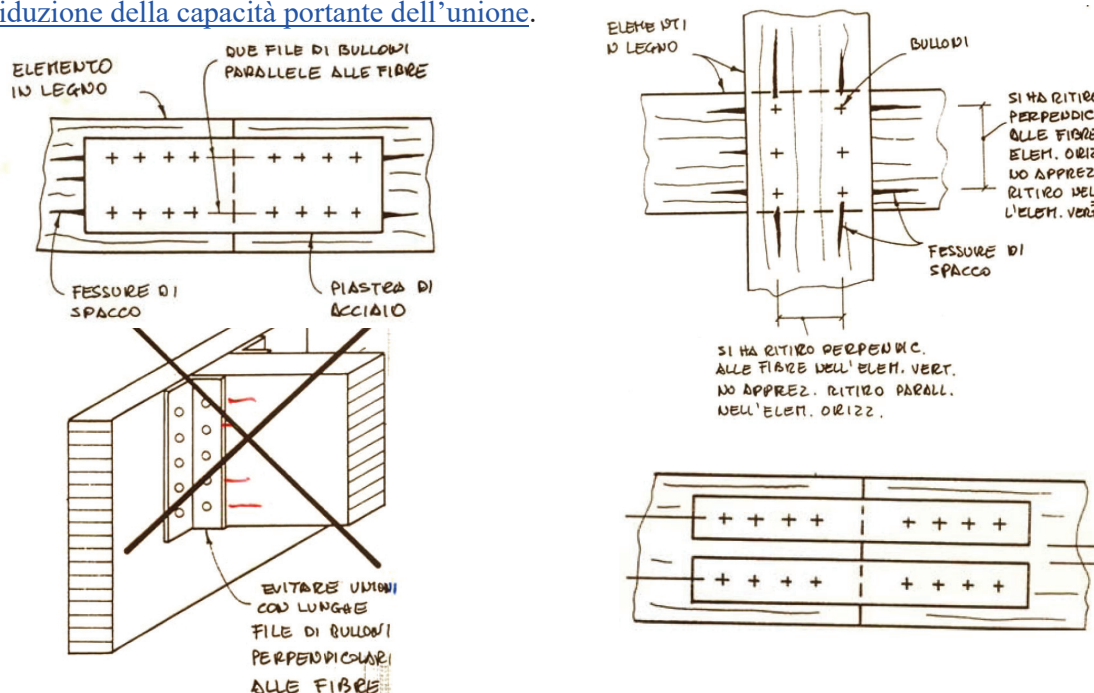
(CNR-DT206/2007)

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)	$0,45 \cdot \rho_k \cdot d_c$

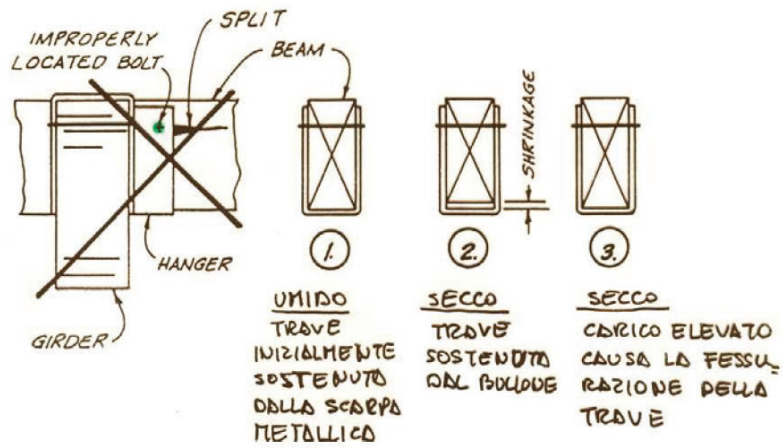
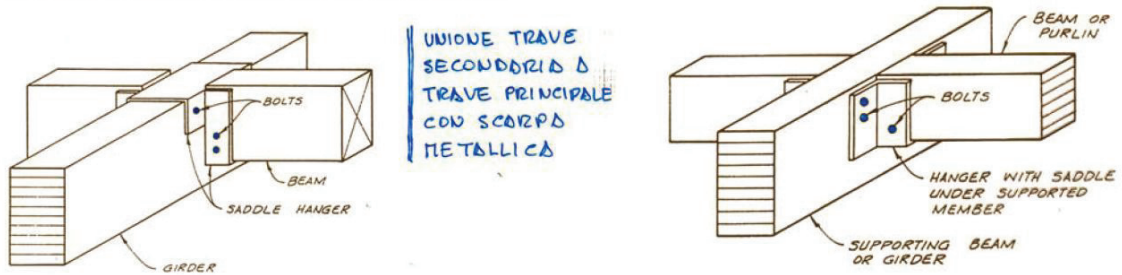
* La deformazione dovuta ai giochi meccanici deve essere assegnata separatamente (comunque con valore non inferiore a 1 mm)

5.9.4. Dettagli costruttivi

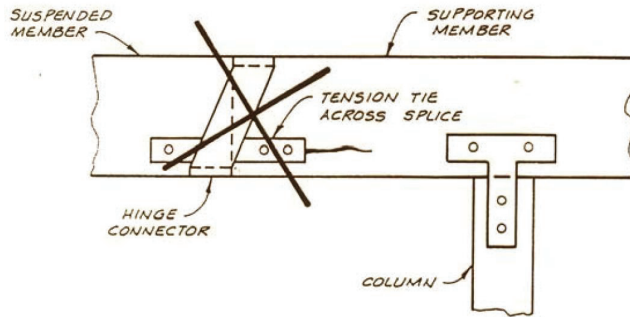
Unioni con un elevato numero di connettori possono impedire la naturale variazione dimensionale del materiale legno in seguito a ritiro o rigonfiamento, dando luogo a fessurazione e riduzione della capacità portante dell'unione.



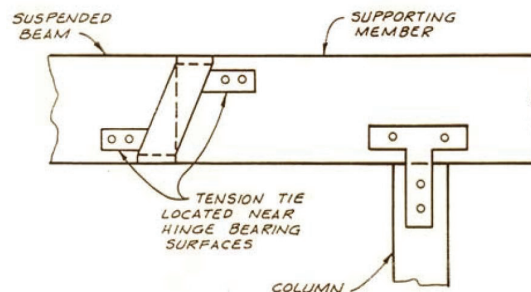
ALCUNI DETTAGLI SU DIVERSE TIPOLOGIE DI UNIONE

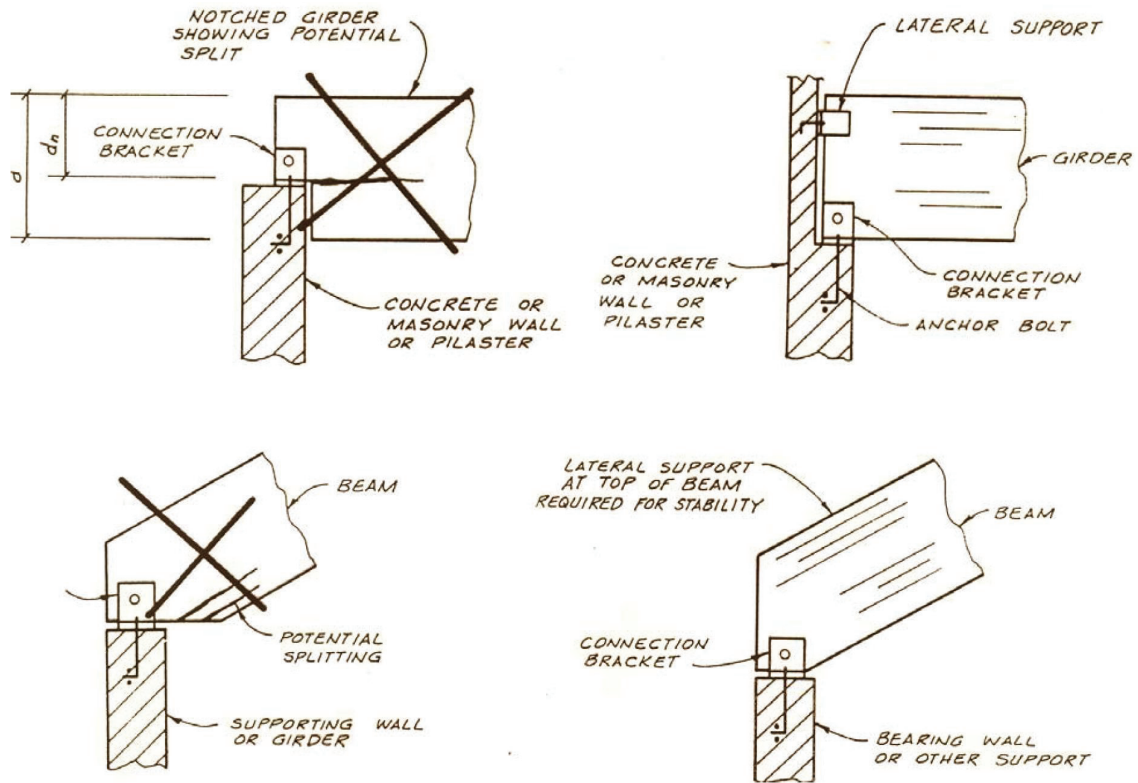


TYP CANTILEVER BEAM SYSTEM

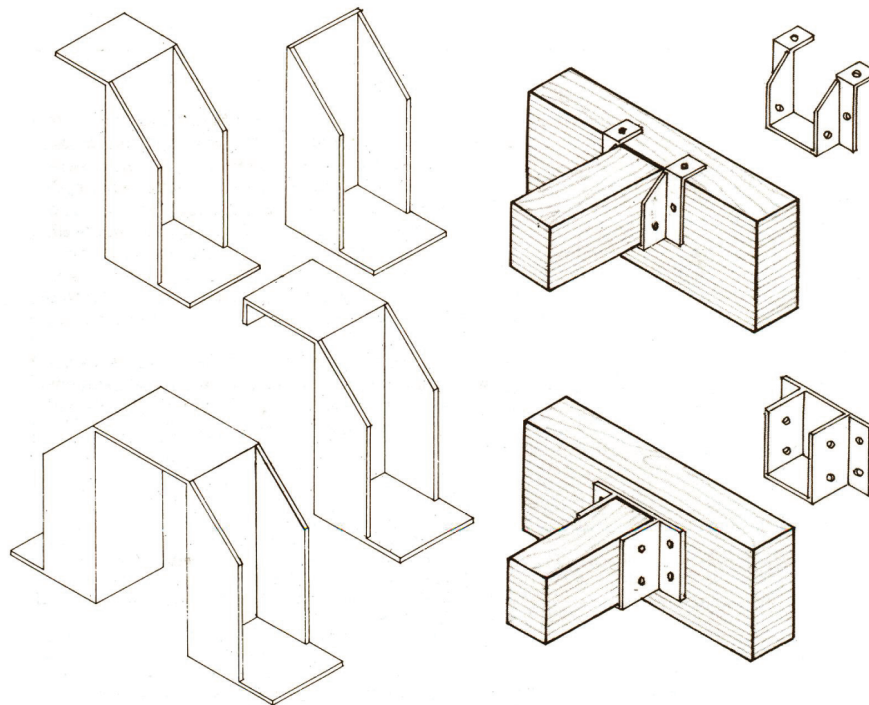


CANTILEVER CONNECTION



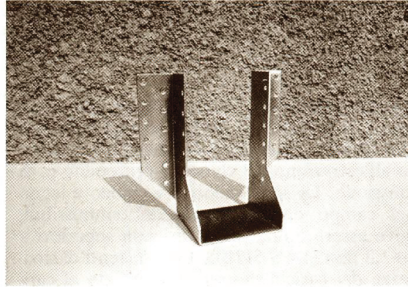


APPOGGI A SCARPA METALLICA



SCARPA PER ARCARECCI

Tipo A
Scarpa ad ali esterne



Tipo B
Scarpa ad ali interne

