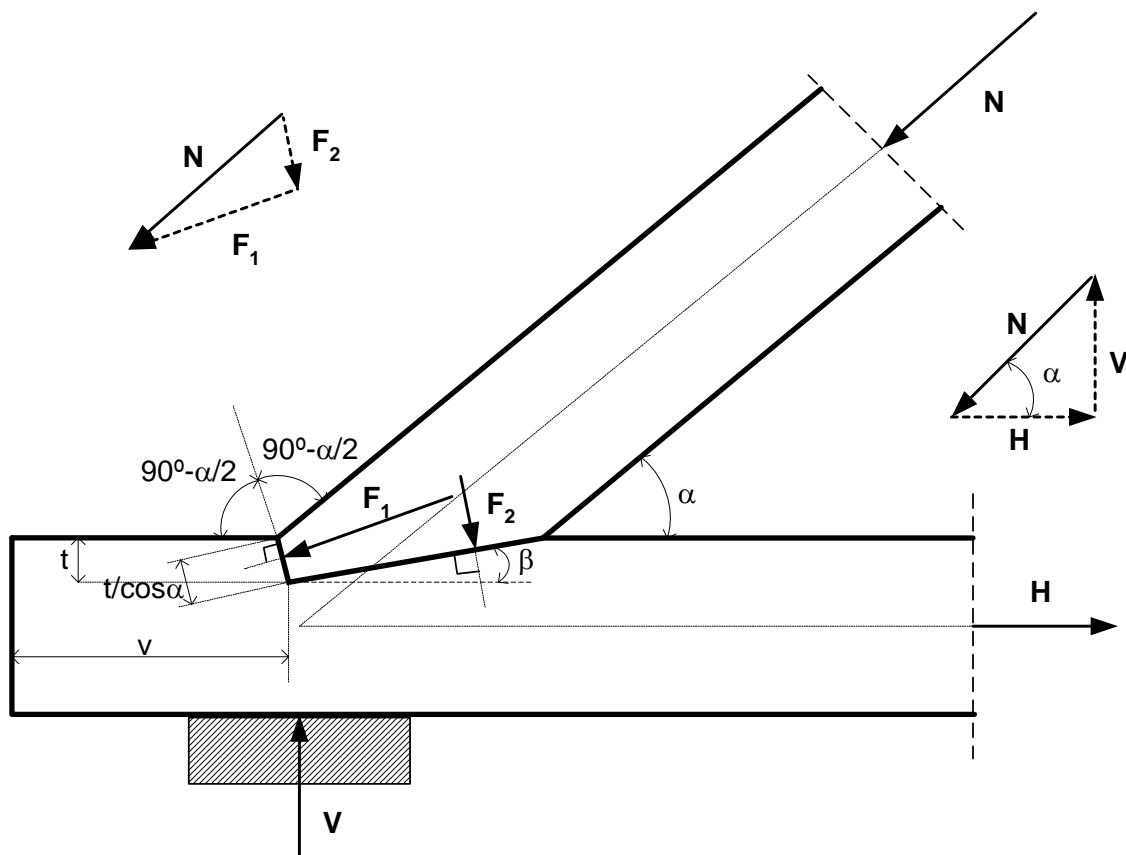


Sistemi di connessioni

Connessioni di carpenteria

Maurizio Piazza, Roberto Tomasi



H1 I sistemi di connessione e le connessioni di carpenteria

Indice

- 1 Introduzione alle diverse tipologie di connessione (carpenteria, meccaniche e incollate)
- 2 Generalità e classificazione tipologica e funzionale delle connessioni
- 3 Illustrazione delle connessioni di carpenteria più comuni
- 4 Illustrazione dei meccanismi resistenti (flusso delle forze)
- 5 Verifiche più significative (sezioni critiche per la resistenza strutturale)
- 6 Esempio di calcolo (nodo catena-puntone)
- 7 Moderne possibilità di produzione
- 8 Bibliografia

Introduzione

Le tecniche di connessione comunemente utilizzate tra elementi lignei possono differenziarsi sia per il tipo di sollecitazione cui vengono sottoposte in fase di esercizio, sia per i materiali utilizzati per la loro realizzazione. La distinzione più comune è tra le due seguenti tipologie:

- **unioni tradizionali** della carpenteria lignea realizzate attraverso la lavorazione delle superfici di contatto (*carpentry joint*): in tali unioni le sollecitazioni si trasmettono direttamente per sforzi di compressione;
- **unioni meccaniche di tipo moderno**, nelle quali la trasmissione degli sforzi avviene non in maniera diretta, ma attraverso l'inserimento di elementi metallici oppure strati di colla (*mechanical joint*).

Le unioni meccaniche di tipo moderno possono essere a loro volta suddivise in funzione della tipologia di connettore adottato:

- **connettori metallici a gambo cilindrico** (chiodi bulloni, perni, viti e cambre);
- **connettori metallici di superficie** (caviglie, anelli, piastre dentate).

Per ogni tipo di unione si possono individuare differenti vantaggi e svantaggi: i criteri che, nei diversi casi, orientano la scelta del progettista, possono essere di natura estetica, di natura economica, di praticità e velocità di realizzazione, oppure di efficacia dal punto di vista meccanico strutturale.

I **chiodi** si distinguono innanzitutto per la sagoma del gambo (liscio o corrugato) e per la sezione trasversale del gambo (tonda o quadrata). La testa del chiodo è generalmente circolare con diametro pari a circa il doppio del diametro del gambo. I chiodi lisci a gambo tondo più comuni sono prodotti con diametri nominali compresi tra 2,75 e 8 mm, lunghezze tra 40 e 200 mm (cioè si possono avere lunghezze dalle 20 alle 30 volte il diametro del chiodo), e con resistenza minima a trazione del filo pari a 600 N/mm^2 . Recentemente hanno trovato sempre maggiore diffusione i chiodi ad aderenza migliorata, che possono avere scanalatura anulare (in questo caso sono noti come chiodi di tipo ring), oppure elicoidale: la presenza delle scanalature, oltre a migliorare il comportamento a taglio, garantisce una maggiore efficacia nei riguardi delle sollecitazioni di estrazione. Questi chiodi richiedono quindi minori lunghezze di ancoraggio rispetto ai chiodi lisci, e per questo vengono prodotti con lunghezze pari solitamente a 10 volte il diametro.

Gli **spinotti** ed i **bulloni** sono elementi cilindrici in acciaio a superficie liscia o parzialmente filettata, con un diametro variabile da 8 a 30 mm, che vanno inseriti in appositi fori di legno e che lavorano prevalentemente a taglio. Gli spinotti sono elementi cilindrici con superficie completamente liscia, talvolta dotati di una leggera rastremazione ad un estremo per permettere un inserimento più agevole all'interno dei fori predisposti nel legno o nell'acciaio. La foratura nel legno deve essere effettuata con diametro pari al diametro degli spinotti, i quali evidentemente devono essere inseriti a forza all'interno delle parti lignee da congiungere. I bulloni da carpenteria sono elementi cilindrici in acciaio, filettati ad una estremità, dotati di teste e dadi. La foratura nel legno, e nella eventuale piastra di acciaio, deve essere effettuata con diametro pari al diametro del bullone aumentato di un millimetro.

Le **viti da legno** normalizzate sono elementi caratterizzate da specifiche geometrie e proprietà meccaniche definite dalle diverse norme nazionali. Le parti comuni caratterizzanti una generica vite sono:

- testa con caratteristiche geometriche diverse, in funzione del tipo di dispositivo di fissaggio utilizzato;
- parte del gambo non filettata, pari circa al 40% della lunghezza totale del gambo;
- parte del gambo filettata, pari a circa al 60% della lunghezza totale del gambo.

Recentemente sono state immesse sul mercato nuove tipologie di viti da legno, denominate *viti autofilettanti*, prodotte attraverso un processo di indurimento che tiene conto della forma del filetto, e caratterizzate da valori più elevati del momento di snervamento, da diametri del gambo fino a 12 mm, e da lunghezze fino a 600 mm.

Gli **anelli e le caviglie** sono elementi metallici circolari utilizzati frequentemente nelle unioni a due piani di taglio (gli anelli trovano applicazione solo nel caso di unioni legno-legno, le caviglie possono essere utilizzate sia in unioni legno-legno che in unioni acciaio-legno). In commercio sono reperibili connettori di questo tipo con diametri variabili da 60 mm a 260 mm. La loro forma è sempre circolare in quanto essi vengono montati in alloggiamenti ricavati tramite una macchina fresatrice particolare, che consente anche la realizzazione di un foro concentrico per l'introduzione di un bullone di serraggio. La funzione del bullone è quella di permettere una migliore messa in opera della connessione, e di prevenire la possibilità dell'apertura dell'unione a causa del momento indotto dalle eccentricità delle forze di taglio.

Le **piastre dentate** sono elementi metallici con diverse forme geometriche (ovale, circolare o quadrata), utilizzati normalmente nelle unioni a due piani di taglio, sia nel caso di unioni legno-legno che nelle unioni acciaio-legno. Si differenziano tra di loro per la forma e per le tipologie di elementi sporgenti (denti o cunei) che vanno ad infingersi nel legno. In commercio sono reperibili connettori di questo tipo con diverse dimensioni (nel caso di piastre circolari il diametro può variare da 38 mm a 165 mm).

La forma e la tipologia dei diversi tipi di anelli, caviglie e piastre dentate vengono definite nella normativa europea EN 912, dove tali connettori vengono denominati rispettivamente di tipo A, B e C.

Le **procedure di posa in opera** si differenziano tra i diversi elementi.

Le unioni tramite anelli e/o caviglie vengono realizzate secondo le seguenti fasi:

- foratura del legno per l'inserimento del bullone e fresatura del legno per l'inserimento del connettore (anello o caviglia);
- posizionamento del connettore all'interno dell'alloggiamento creato tramite la precedente fresatura e sovrapposizione degli elementi lignei da unire;

- inserimento dei bulloni nei fori e serraggio degli stessi. In alcuni casi, in alternativa ai bulloni possono essere usate viti, normalmente del tipo a testa esagonale.

Rispetto agli anelli le piastre dentate non richiedono tuttavia necessariamente un'operazione preliminare di fresatura, poiché la piastra viene semplicemente pressata in modo tale che i denti di cui è fornita possano penetrare all'interno degli elementi lignei (tuttavia talvolta viene realizzata una leggera fresatura delle superfici, per evitare che si crei uno spazio tra gli elementi assemblati). L'operazione di assemblaggio, diventa quindi molto più agevole rispetto al caso di connettori ad anello, e consiste semplicemente nella foratura del legno per l'inserimento dei bulloni, nel posizionamento della piastra tra gli elementi da unire, e nell'inserimento forzato del connettore (a pressione) nel legno.

Anche le **modalità di rottura** si differenziano tra i diversi elementi.

Nel caso degli anelli e delle caviglie numerose prove di laboratorio hanno evidenziato che possono instaurarsi i seguenti tipi di rottura:

- a) rottura causata dall'azione delle tensioni tangenziali sulla parte lignea resistente a taglio compresa tra il connettore ed il bordo sollecitato, oppure tra due connettori, con l'espulsione di un tassello ligneo con sezione ad I;
- b) rottura causata dal rifollamento del legno nella superficie di contatto con il connettore.

Nel caso delle unioni legno-legno con piastre dentate la forza di taglio viene trasmessa per contatto tra i denti del connettore ed il legno, e solo successivamente, dopo una certa deformazione, per contatto tra i bulloni ed il foro: si possono quindi instaurare diversi meccanismi di rottura che possono interessare il rifollamento localizzato delle fibre legno al di sotto dei denti della piastra, lo snervamento dei denti, e lo snervamento del bullone.

Le **unioni con barre incollate** (di acciaio o in fibra di carbonio) stanno trovando sempre maggior applicazione sia nelle strutture di nuova realizzazione, sia nelle tecniche di recupero strutturale. In entrambi in casi i vantaggi principali dell'utilizzo di tali tecnologie consistono nelle possibilità di ottenere unioni con una eccellente capacità di ripristino di resistenza e rigidità, e apprezzabili sia dal punto di vista estetico che da punto di vista di resistenza al fuoco.

In letteratura si possono trovare numerosi esempi di possibili applicazioni anche molto innovative di tali tecnologie: nei nodi d'angolo resistenti a momento dei portali, negli incastri di base in fondazione, ma anche per i giunti di continuità nelle coperture grigliate in legno lamellare, come nel caso della connessione CNP (Cenci, Nosedà, Piazza). Gli svantaggi dell'utilizzo di barre incollate possono risiedere nel tipo di rottura elasto - fragile che caratterizza l'incollaggio dovuta all'instaurarsi di tensioni di fenditura e di taglio in prossimità delle fibre legnose: tuttavia è possibile ottenere un tipo di rottura duttile progettando il giunto in modo tale che la rottura lato acciaio preceda la rottura lato legno.

Nella pratica costruttiva, per collegare tra loro elementi strutturali lignei, si ricorre sovente a giunzioni realizzate tramite lamiere sagomate o piatti metallici saldati.

La scelta del collegamento va fatta in primo luogo in funzione delle **caratteristiche statiche e cinematiche** per cui esso è stato progettato.

Per esempio i collegamenti di **trave secondaria con trave principale** o di **trave con pilastro**, oppure un **collegamento di base** con la fondazione, possono essere realizzati in modo da non impedire (o quasi) la rotazione relativa delle sezioni estreme delle aste afferenti al nodo. Si avranno, in tal caso, **unioni flessibili** o a **cerniera**, cioè unioni non idonee a trasmettere le azioni di tipo flessionale.

Per realizzare collegamenti flessibili **trave secondaria con trave principale** sono molto usate le cosiddette “unioni a scarpa metallica”, normalmente realizzate tramite lamierino metallico sagomato a freddo (spessore 2 mm – 4 mm) dotato di fori per l’inserimento dei chiodi (nel caso di carichi relativamente grandi, possono essere realizzate tramite piastre metalliche saldate dotate di fori per l’inserimento di chiodi, viti, bulloni, o spinotti). Tali collegamenti sono in grado di garantire la trasmissione di sforzi sia in direzione verticale, sia in direzione orizzontale. La trasmissione degli sforzi tra la scarpa metallica e la trave secondaria avviene principalmente per pressione di contatto tra legno e metallo (oppure per mezzo di spinotti o bulloni, nel caso di connessione realizzata tramite lama interna), mentre tra la scarpa metallica e la trave principale avviene per mezzo chiodi, viti, o bulloni. Nei casi in cui gli sforzi di taglio risultino relativamente grandi, si fa spesso ricorso a caviglie metalliche.

Nel caso di unioni flessibili **trave con pilastro**, anche se risulta molto difficile ipotizzare che nella pratica le sezioni estreme della trave e del pilastro siano completamente libere di ruotare, esistono diversi metodi per realizzare un collegamento schematizzabile con una cerniera:

- utilizzo di piastre metalliche esterne “a forcella” ancorate alla trave e al pilastro per mezzo di viti, chiodi o bulloni (al fine di contrastare il meno possibile la rotazione relativa della sezione estrema della trave, le piastre metalliche dovranno essere fissate il più vicino possibile al lato del pilastro rivolto verso la campata). Questa tecnica di realizzazione della connessione garantisce alla trave la capacità di trasmettere sforzi in direzione orizzontale e verticale, ed inoltre una certa rigidità nei confronti di eventuali fenomeni di instabilità flesso-torsionale;
- connessione realizzata sagomando la testa del pilastro a “L” ovvero a “forcella”. La trave viene poi fissata al pilastro tramite viti o bulloni. Ovviamente queste tecniche di realizzazione richiedono dimensioni del pilastro relativamente grandi;
- connessione tra trave e pilastro realizzata tramite una barra incollata inserita in un foro praticato attraverso la sezione trasversale della trave e sulla testa del pilastro;
- connessione realizzata per mezzo di piastre e/o squadrette metalliche.

Uno dei metodi più semplici per realizzare un **collegamento di base** schematizzabile con una cerniera è quello di usare piastre metalliche esterne fissate alla base del pilastro ligneo tramite viti, chiodi, perni o bulloni. Al fine permettere la rotazione relativa della sezione di base, le piastre metalliche andranno fissate sulle facce del pilastro situate nel piano complanare al movimento di rotazione della cerniera, e andranno poste il più vicino possibile all’asse geometrico del pilastro, in modo tale da ridurre il più possibile il braccio delle coppie di forze agenti sui connettori. Tuttavia, nel caso in cui sia richiesta una resistenza al fuoco superiore, o se per ragioni puramente estetiche non si vogliono troppi elementi metallici a vista, è prassi comune realizzare l’unione utilizzando piastre metalliche alloggiate all’interno di apposite fresature nel legno (piastre a scomparsa).

E’ opportuno ricordare l’esigenza di evitare il contatto diretto tra base del pilastro e la fondazione a causa dell’inevitabile assorbimento di umidità da parte del legno.

Inoltre, al fine di una corretta ipotesi di vincolo a cerniera, occorre che le rotazioni che può subire l’elemento secondario, valutate in funzione dell’inerzia flessionale e dei carichi su di esso agenti, siano compatibili con le reali possibilità di rotazione del collegamento. Nel caso per esempio di piastre forate per l’inserimento di elementi a gambo cilindrico, la rotazione del collegamento è da mettere in relazione con la possibilità di rifollamento del foro, ma è nello stesso tempo limitata dall’instaurarsi di meccanismi di rottura secondari per trazioni ortogonali alle fibre, per deformazioni troppo elevate.

Si parlerà di **unioni rigide**, cioè capaci di trasmettere azioni di tipo flessionale, nel caso in cui le sezioni estreme delle aste convergenti al nodo siano costrette a subire la stessa rotazione. In generale si può affermare che *le unioni flessibili sono di più facile realizzazione rispetto alle unioni rigide*. Risulta non banale affermare che un collegamento “infinitamente rigido”, nel caso di

giunzioni tra aste lignee, è praticamente impossibile da realizzare: ci si può comunque avvicinare quando si progettino, in modo opportuno, collegamenti con elementi metallici e collante epossidico, oppure collegamenti con connettori a gambo cilindrico disposti in una posizione sufficientemente distante dal centro di rotazione del nodo.

Uno dei metodi più semplici per realizzare un **collegamento di base** schematizzabile con un incastro è quello di usare piastre metalliche esterne fissate alla base del pilastro ligneo tramite viti, chiodi, o bulloni. Per le stesse ragioni evidenziate precedentemente, al fine di contrastare il più possibile la rotazione relativa della sezione di base, le piastre metalliche dovranno essere fissate il più lontano possibile dall'asse longitudinale del pilastro (per esempio, nel caso di pilastro con sezione rettangolare, le piastre metalliche andranno fissate sulle facce del pilastro situate nel piano ortogonale al movimento di rotazione della cerniera).

Nel caso di **nodi d'angolo di portali** si può realizzare un giunto in grado di trasferire il momento flettente disponendo i perni lungo una o due circonferenze concentriche nella zona di sovrapposizione degli elementi giuntati. Un giunto così realizzato ha un comportamento di tipo semirigido e la sua rigidità rotazionale va valutata di volta in volta in funzione del tipo di perni e della loro disposizione, nonché della classe del materiale di cui sono costituiti gli elementi strutturali uniti.

Talvolta la scelta del collegamento è anche influenzata anche da altri fattori, tra cui i più importanti da annoverare sono indubbiamente la **resistenza al fuoco** e la naturale **igroscopicità del legno** in opera.

L'attenta considerazione della **resistenza al fuoco** dei collegamenti è necessaria nella misura in cui sono proprio le parti della struttura realizzate con elementi metallici a rappresentare il vero punto di debolezza di una struttura lignea esposta al fuoco, in quanto:

- sono elementi di trasmissione del calore anche all'interno della massa lignea;
- sono caratterizzate da una repentina caduta delle proprietà meccaniche alle alte temperature.

Le unioni non adeguatamente protette non possono garantire una classe di resistenza superiore a R15. Oltre tale valore la normativa europea prescrive precisi requisiti di protezione al fuoco, tra cui:

- adeguato spessore dell'elemento ligneo da collegare e distanza dai bordi del mezzo di collegamento;
- applicazione di idonei elementi di protezione (lastre di silicato, vernici intumescenti).

Le **variazioni di umidità** determinano infatti variazioni dimensionali negli elementi lignei: tuttavia la dilatazione ed il restringimento del legno possono essere contrastati dalla presenza degli elementi di giunzione metallici, e di conseguenza possono formarsi stati di coazione all'interno della giunzione.

Si comprende, pertanto, come qualora si utilizzino grandi piastre d'acciaio sia più conveniente impiegare elementi meno rigidi ed a distanza ravvicinata piuttosto che elementi più grossi disposti ad un interasse maggiore.

Un'altra situazione pericolosa si verifica quando vengono realizzati sistemi di collegamento sovrapponendo elementi lignei aventi una differente direzione della fibratura e/o sovrapponendo al legno grandi piastre metalliche. In questo caso il diverso comportamento igroscopico del legno lungo differenti direzioni anatomiche comporta l'instaurarsi di tensioni di trazione perpendicolarmente alle fibre che possono comportare l'insorgere di fessurazioni (*splitting*), la cui entità è funzione oltre che delle variazioni d'umidità anche della tipologia e geometria del collegamento. In questo caso prove sperimentali hanno dimostrato che, in presenza di un elevato

numero di elementi di piccolo diametro come i chiodi, a parità di area, le fessurazioni che si verificano sono maggiori, in virtù del fatto che ogni elemento di connessione può attivare una linea preferenziale di distacco delle fibre.

Con i termini **nodo di carpenteria** o **connessione tradizionale** si indicano solitamente le connessioni per il collegamento delle membrature lignee, caratterizzate dalla trasmissione degli sforzi per contatto delle superfici. Tuttavia le giunzioni di carpenteria che si possono realizzare possono lavorare non solo a compressione, ma anche a taglio e trazione.

La lavorazione delle superfici, intagliate e lavorate al fine di consentire una collaborazione più efficace degli elementi connessi, nel passato avveniva con lavorazione ad ascia, oggi con procedure più moderne ed industrializzate di fresatura eseguita da macchine a controllo numerico. I nodi di carpenteria si ritrovano in alcune tipiche tipologie strutturali lignee tradizionali come le capriate (collegamento puntone- catena, monaco – saette). Tali geometrie sono tuttavia molto utilizzate anche nelle strutture moderne, spesso rinforzate da connettori metallici supplementari, come bulloni, staffature etc.

Per comprendere al meglio le capacità statiche di un nodo di carpenteria è utile accennare ai meccanismi resistenti del legno sottoposto a compressione. Le capacità di resistenza si differenziano per **compressioni parallele** ed **ortogonali** alle fibre. Parallelamente alle fibre si hanno le capacità massime di resistenza, ed il collasso si può interpretare fisicamente come un fenomeno di instabilità euleriana delle cellule legnose. Perpendicolarmente alle fibre le resistenze sono minime, ed il collasso è associato all'instabilità delle cellule legnose sottoposte a compressione radiale. Le tabelle prestazioni presenti nelle normative europee rispecchiano questa differenza prestazionale nelle due direzioni parallela ed ortogonale alle fibre.

Una situazione di compressione inclinata rispetto alla direzione delle fibre presenta valori di resistenza intermedi rispetto alle due condizioni estreme appena illustrate: tali valori vengono determinati attraverso la relazione semi-empirica di **Hankinson**, riportata in molte normative. Alcune normative propongono relazioni leggermente differenti da quella di Hankinson, che tengono conto di una ulteriore riduzione della resistenza dovuta alla compenetrazione delle fibre tra superfici lignee poste a contatto, dovuta alla differente resistenza alla compressione delle parti di legno primaticcio e di legno tardivo che formano gli anelli di accrescimento: nelle superfici a contatto gli strati di legno tardivo tendono a schiacciare e compenetrare gli strati di legno primaticcio. Tale differenza tra due formulazioni diventa però in genere trascurabile se si considerano angoli di inclinazione tra le fibre compresi tra i 30 e 60 gradi, ovvero quelli più comunemente riscontrabili nelle costruzioni.

Inoltre molte normative riportano alcune indicazioni per tenere in considerazione dell'effetto benefico di "confinamento" che si verifica, nel caso di compressione ortogonale alle fibre, quando la superficie di compressione è limitata rispetto alla superficie totale.

Le tipologie più comuni di collegamenti di carpenteria, realizzate attraverso l'intaglio delle superfici di contatto attraverso cui vengono trasmesse le forze, sono:

- dente semplice;
- dente arretrato;
- doppio dente.

Nelle connessioni a **dente semplice** l'inclinazione della superficie intagliata anteriore è solitamente tale da rendere minimo, sia per il puntone che per il tirante, l'angolo tra l'inclinazione della forza e la direzione delle fibre, e quindi aumentare la resistenza complessiva dell'unione allo schiacciamento. In generale le formule per la determinazione della resistenza del giunto sono ricavate sotto le ipotesi di assenza di attrito sulle superfici ed in assenza di imperfezioni costruttive. Le verifiche sul dente semplice si effettuano sia per compressione inclinata rispetto alle fibre sulla superficie

compresa del dente, sia per taglio nella zona del cosiddetto "tacco", anteriormente al dente della connessione.

Nelle connessioni a **dente arretrato**, la geometria dell'intaglio è realizzata in modo tale di aumentare la superficie resistente a taglio del tirante (lunghezza del tacco). In tali unioni tuttavia, poiché solitamente l'intaglio del dente arretrato viene realizzato (anche per facilità di esecuzione) con un'inclinazione perpendicolare alla direzione del puntone, la verifica a compressione, per le ragioni precedentemente illustrate, risulta leggermente più gravosa rispetto al caso di dente semplice.

Tale geometria di unione richiede alcune particolari prescrizioni realizzative, come la presenza di un certo "agio" in corrispondenza della superficie anteriore (1-2 mm), al fine di evitare che l'eventuale collaborazione di tale superficie inneschi stati tensionali ortogonali alla direzione delle fibre che possono causare fessurazioni per fenditura nel puntone.

Una valida alternativa alla geometria del dente semplice e del dente arretrato è la combinazione di queste due geometrie. Tale connessione, solitamente indicata come **dente doppio**, ha il vantaggio di aumentare sia la lunghezza del tacco, sia il rapporto tra la superficie portante e la profondità di intaglio, incrementando l'efficienza del giunto nei riguardi della resistenza a taglio e della resistenza a compressione.

La realizzazione di un nodo a dente doppio richiede grande precisione al fine di assicurare il contatto di tutte le superfici, precisione oggi ottenibile solo con le macchine a controllo numerico. Nel caso di tali unioni bisogna quindi prestare maggiore attenzione alle tolleranze di lavorazione.

In generale nelle connessioni di carpenteria, poiché le unioni sono realizzate solitamente intagliando le superficie degli elementi, è bene compiere delle verifiche ulteriori sugli elementi indeboliti, e tenere comunque in considerazione le eventuali eccentricità dei carichi che si determinano.

I sistemi **CAD-CAM** (Computer Aided Design, Computer Aided Manufacturing) per la progettazione e realizzazione delle strutture in legno hanno oggi raggiunto un livello avanzato di tecnologia, con costi relativamente ridotti, tanto che il loro utilizzo si è ormai largamente diffuso sia nelle grandi che nelle piccole aziende. L'utilità di tali sistemi consiste principalmente nella possibilità di minimizzare i tempi e di ridurre il numero di errori nelle fasi di progettazione e realizzazione delle strutture lignee. Inoltre si rivelano particolarmente vantaggiosi nel caso delle piccole coperture di civile abitazione, in cui si possono avere piante piuttosto irregolari, con una conseguente grande variabilità delle geometrie degli elementi lignei da utilizzare (punteri, arcarecci, terzere, travi di colmo etc.). In particolare si possono ottenere i seguenti vantaggi:

- attraverso strumenti specifici per le strutture lignee di automatizzazione della progettazione assistita dal calcolatore, è possibile progettare, in tempi estremamente ridotti, coperture con diverse geometrie e disposizione degli elementi principali e secondari; una stima del numero di elementi necessari e del volume totale di materiale impiegato può essere fatta quasi in tempo reale;
- per ognuno dei singoli elementi è possibile la definizione delle geometrie degli intagli da effettuare alle estremità dei singoli elementi lignei per la realizzazione dei nodi di carpenteria;
- una volta definita la geometria degli elementi i sistemi CAD possono essere interfacciati con macchine CNC a controllo numerico per il taglio del legname (computer numerically controlled), velocizzando la realizzazione dei singoli elementi;
- un controllo sufficientemente accurato di tutto il sistema di progettazione e produzione (corretta definizione della geometria, controllo di congruenza delle geometrie, corretta stagionatura del legname), permette di facilitare la fase di montaggio della copertura, e di ridurre al minimo eventuali lavorazioni da effettuarsi in cantiere.

Prof. Maurizio Piazza

PARTE H: Connessioni

Parte H1: *I sistemi di connessione e le connessioni di carpenteria*

Autore: ing. Roberto Tomasi

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

Autore: ing. Marco Ballerini

Parte H1: *I sistemi di connessione e le connessioni di carpenteria*

Autore: ing. Roberto Tomasi

Argomenti

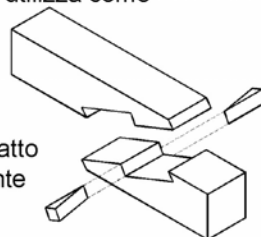
- 1 *Introduzione alle diverse tipologie di connessione (carpenteria, meccaniche e incollate)*
- 2 *Generalità e classificazione tipologico - funzionale delle connessioni*
- 3 *Illustrazione delle connessioni di carpenteria più comuni*
- 4 *Illustrazione dei meccanismi resistenti (flusso delle forze)*
- 5 *Verifiche più significative (sezioni critiche per la resistenza strutturale)*
- 6 *Esempio di calcolo (nodo catena-puntone)*
- 7 *Moderne possibilità di produzione*

1. Introduzione

Le varie tecniche di connessione si possono differenziare sia per il tipo di sollecitazione in fase di esercizio che per il materiale che si utilizza come mezzo di unione

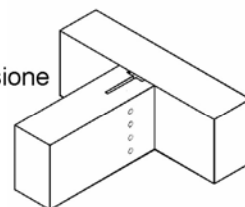
•Collegamenti di tipo **TRADIZIONALE**

Realizzate attraverso la lavorazione delle superfici di contatto (carpentry joint), le sollecitazioni si trasmettono direttamente per sforzi di compressione



•Collegamenti di tipo **MODERNO**

Unioni meccaniche di tipo moderno, nelle quali la trasmissione degli sforzi avviene non in maniera diretta, ma attraverso l'inserimento di elementi metallici oppure strati di colla (mechanical joint).

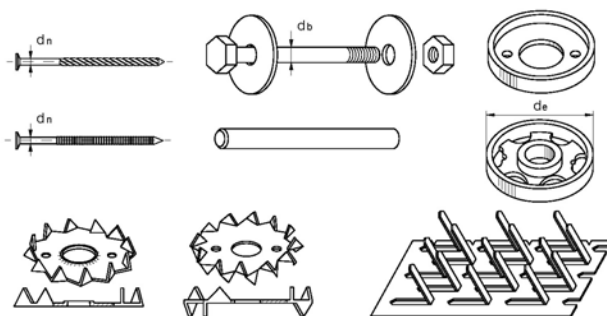


1. Introduzione

I COLLEGAMENTI di tipo **MODERNO**

Le unioni meccaniche di tipo moderno possono essere a loro volta suddivise in funzione della tipologia di connettore adottato:

- Collegamenti con connettori a gambo cilindrico
- Collegamenti con connettori metallici di superficie



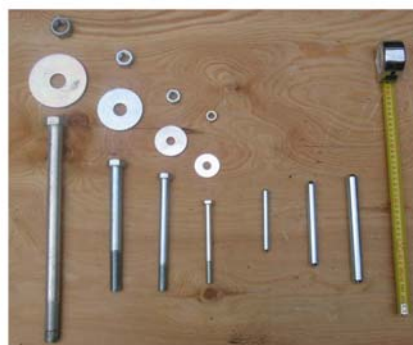
1. Introduzione

I COLLEGAMENTI di tipo MODERNO

Collegamenti con *connettori a gambo cilindrico*

•Chiodi ($d_n = 2 + 8$ mm) e viti

•Bulloni e perni ($d_n = 14 + 30$ mm)



1. Introduzione

I COLLEGAMENTI di tipo MODERNO

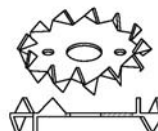
Collegamenti con *connettori metallici di superficie*



Piastre dentate ($d_n = 50 + 160$ mm)



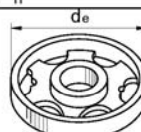
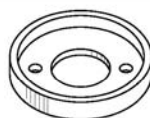
Tipo C1-C9



Tipo C10-C11



Anelli e caviglie ($d_n = 50 + 160$ mm)

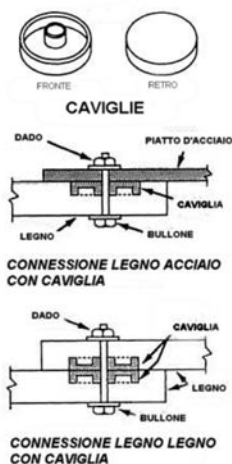


1. Introduzione

I COLLEGAMENTI di tipo MODERNO

Collegamenti con connettori metallici di superficie

Modalità di posa anelli e caviglie



- 1) foratura del legno per l'inserimento del bullone e fresatura per l'inserimento del connettore
- 2) sovrapposizione degli elementi lignei da unire, inserimento dei bulloni nei fori e serraggio manuale

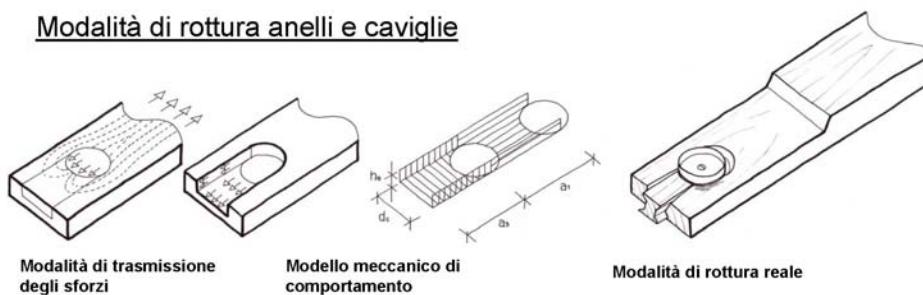


1. Introduzione

I COLLEGAMENTI di tipo MODERNO

Collegamenti con connettori metallici di superficie

Modalità di rottura anelli e caviglie

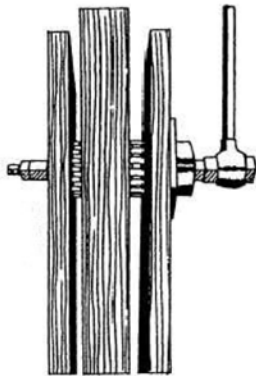


- **rifollamento** del legno sotto l'azione del connettore
- **fenditura** (trazione ortogonale alla fibratura) degli elementi lignei
- **taglio** del legno associato all'espulsione di un tassello di legno in corrispondenza del connettore più vicino al bordo

1. Introduzione

I COLLEGAMENTI di tipo MODERNO

Collegamenti con connettori metallici di superficie



Modalità di posa piastre dentate

- 1) la piastra viene pressata in modo tale che i denti di cui è fornita possano penetrare all'interno degli elementi lignei
- 2) talvolta viene realizzata una leggera fresatura delle superfici, per evitare che si crei uno spazio tra gli elementi assemblati (soprattutto per elementi tipo C10-C11).

Modalità di rottura piastre dentate

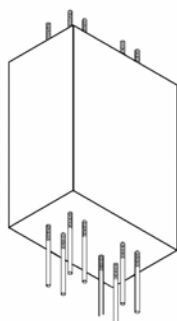
La modalità di collasso dipende dal rifollamento del legno sotto i denti del connettore e, nei giunti a trazione con piccole distanze dal bordo, si può avere splitting con rottura a taglio del legno nella zona di contatto del bullone

1. Introduzione

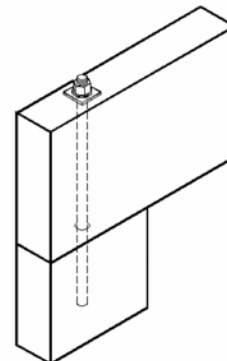
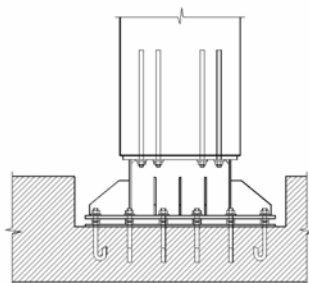
I COLLEGAMENTI di tipo MODERNO

Collegamenti con barre incollate

APPLICAZIONI CON BARRE INCOLLATE PER COLLEGAMENTI RIGIDI



Incastro di base



Nodo d'angolo a momento

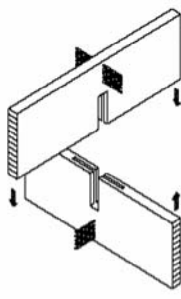
1. Introduzione

I COLLEGAMENTI di tipo MODERNO

Collegamenti con barre incollate

APPLICAZIONI CON BARRE INCOLLATE PER COLLEGAMENTI RIGIDI

GIUNTI CNP (Cenci-Nosedà-Piazza)

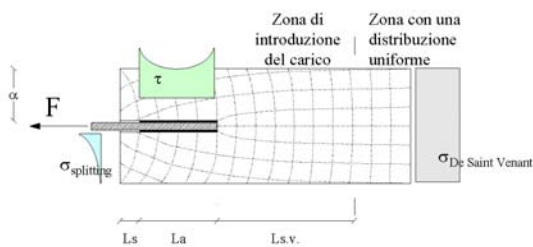


Mensa Artsana (Como)



1. Introduzione

•Comportamento meccanico di connessioni con barre incollate



Meccanismi di rottura

Fenditura	LEGNO	Trazione ortogonale alle fibre
Estrazione	LEGNO	Tensioni di taglio
Rottura duttile	ACCIAIO	Snervamento e rottura della barra di acciaio

1. Introduzione

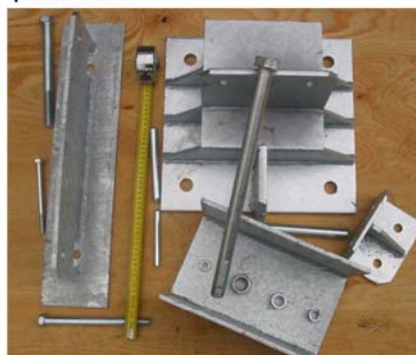
I COLLEGAMENTI di tipo MODERNO

Ferramenta, piastre e scarpette metalliche

lamierino metallico sagomato a freddo



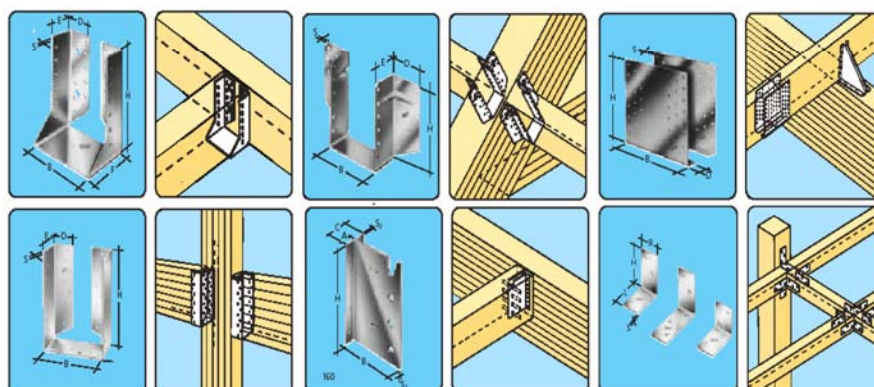
piastre saldate



1. Introduzione

I COLLEGAMENTI di tipo MODERNO

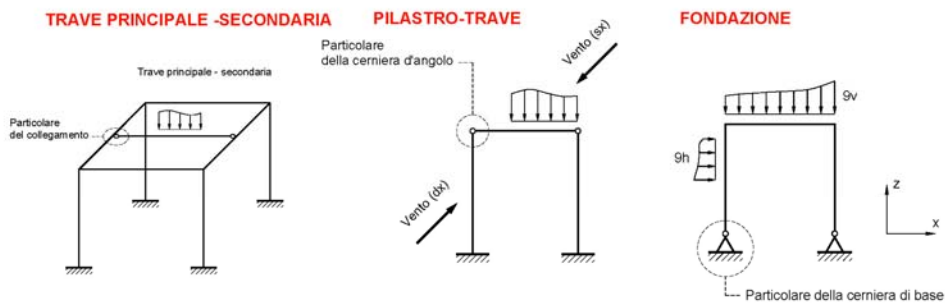
Ferramenta, piastre e scarpette metalliche



(Catalogo Rothoblass)

2. Generalità (classificazione tipologico - funzionale)

Collegamento "flessibile"

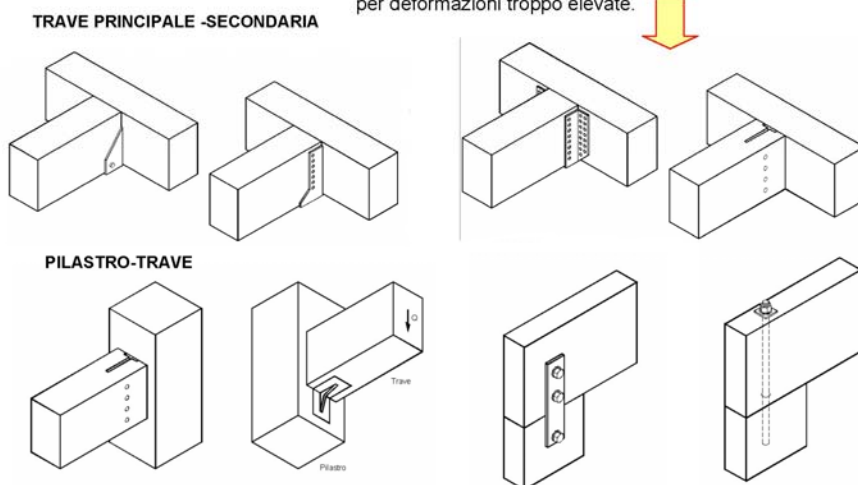


- i collegamenti di **trave secondaria con trave principale** o di **trave con pilastro**, oppure un **collegamento di base con la fondazione**, possono essere realizzati in modo da non impedire (o quasi) la rotazione relativa delle sezioni estreme delle aste afferenti al nodo;
- al fine di una corretta ipotesi di vincolo a cerniera, occorre che le rotazioni che può subire l'elemento secondario, valutate in funzione dell'inerzia flessionale e dei carichi su di esso agenti, siano compatibili con le reali possibilità di rotazione del collegamento.

2. Generalità (classificazione tipologico - funzionale)

Collegamento "flessibile"

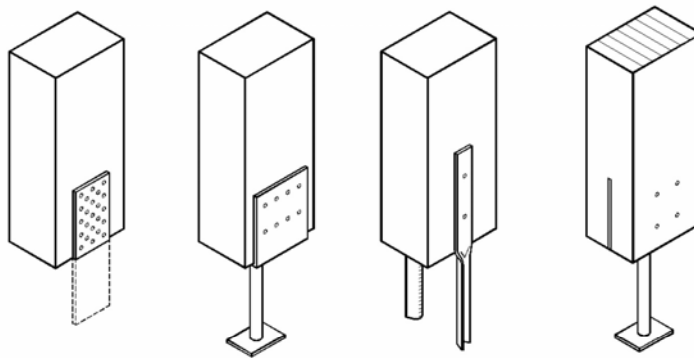
N.B.: la rotazione del collegamento è garantita dalla possibilità di rifollamento del foro, ma è limitata dall'instaurarsi di meccanismi di rottura secondari per trazioni ortogonali alle fibre per deformazioni troppo elevate.



2. Generalità (classificazione tipologico - funzionale)

Collegamento "flessibile"

COLLEGAMENTO DI BASE CON LA FONDAZIONE

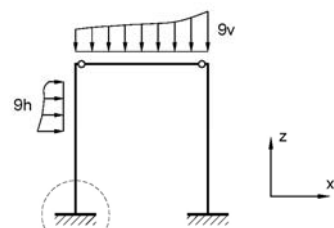
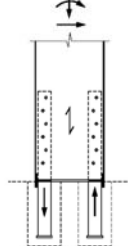
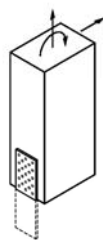


Esempi di collegamenti pilastro fondazione aventi rigidità flessionale trascurabile e schematizzabili come vincolo a cerniera.

2. Generalità (classificazione tipologico - funzionale)

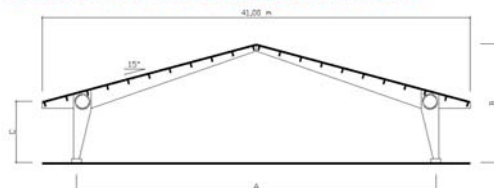
Collegamento "rigido"

COLLEGAMENTO DI BASE CON LA FONDAZIONE

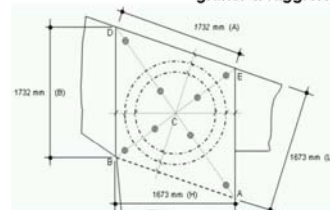


Particolare della cerniera di base

COLLEGAMENTO NODO D' ANGOLO DI UN TELAIO



giunto a raggiera

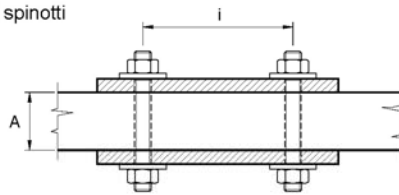


2. Generalità (problematiche di umidità)

Stati di coazione dovuti all'umidità

$$\sigma = \alpha \cdot \Delta\omega / (1/E + 2A / K_c \cdot i)$$

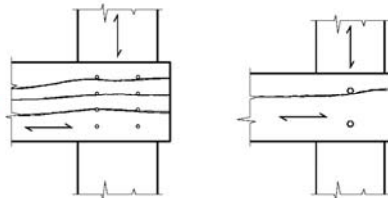
- α coefficiente di dilatazione
- A l'area di sezione dell'elemento ligneo tra gli spinotti
- E modulo elastico del legno
- $\Delta\omega$ Variazione dell'umidità del legno
- k_c rigidità del singolo connettore



Prescrizioni costruttive

Con piastre di acciaio sono meglio elementi poco rigidi e distanziati

In presenza di unioni legno – legno attenzione a non attivare linee preferenziali di fenditura



2. Generalità (problematiche del fuoco)

Resistenza al fuoco dei collegamenti

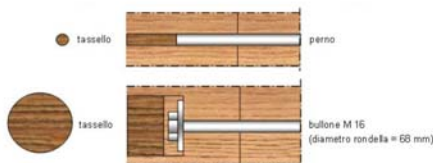
L'attenta considerazione della **resistenza al fuoco** dei collegamenti è necessaria nella misura in cui sono proprio le parti della struttura realizzate con elementi metallici a rappresentare il vero punto di debolezza di una struttura lignea esposta al fuoco, in quanto:

- sono elementi di trasmissione del calore anche all'interno della massa lignea;
- sono caratterizzate da una repentina caduta delle proprietà meccaniche alle alte temperature.

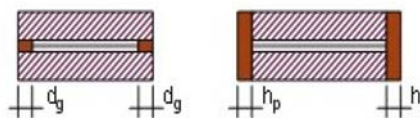
Protezione al fuoco dei collegamenti

Adeguate "copriferro" per gli elementi metallici

CONNETTORI A GAMBO CILINDRICO

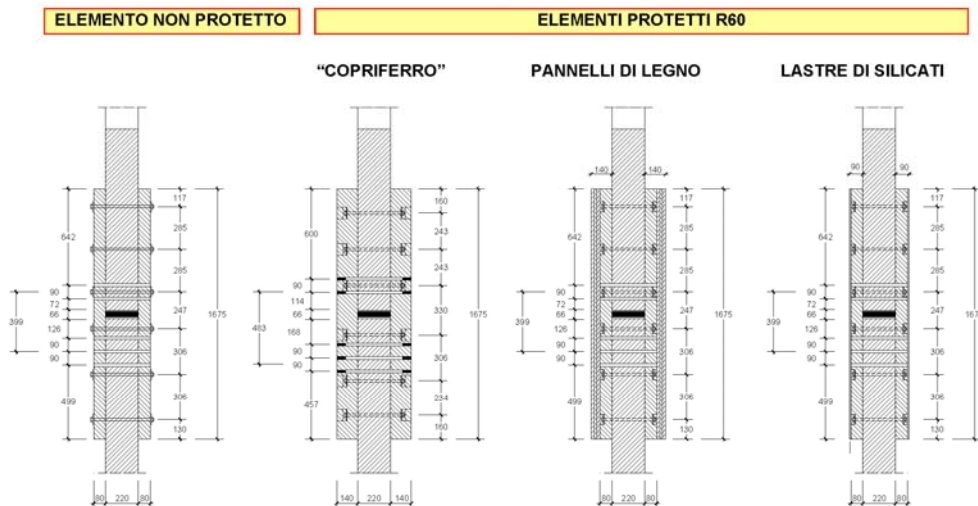


PIASTRE METALLICHE



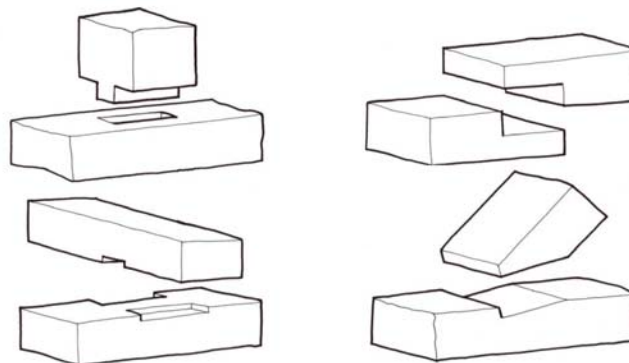
2. Generalità (problematiche del fuoco)

Protezione al fuoco dei collegamenti: differenti soluzioni

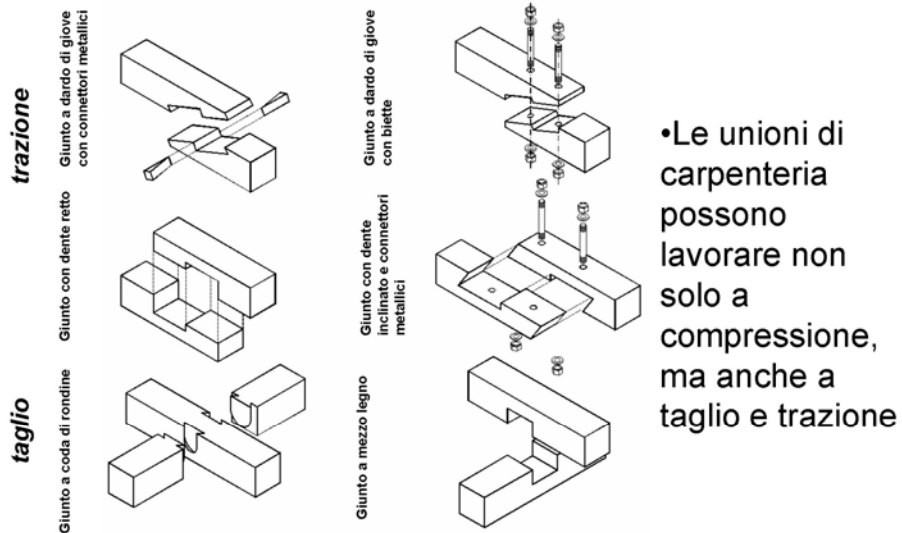


3. Connessioni di carpenteria

- La trasmissione degli sforzi avviene per contatto, talvolta con la interconnessione di elementi di legno duro oppure con colla
- Unioni ottenute in maniera tradizionale lavorando ad ascia le superfici degli elementi lignei
- Unioni realizzate modernamente con macchine a controllo numerico



3. Connessioni di carpenteria



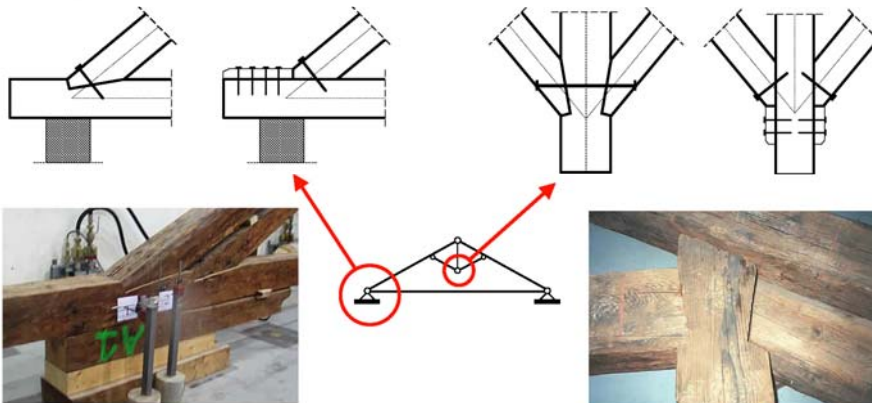
3. Connessioni di carpenteria

Possibilità applicative nelle capriate classiche

Sono usati per la trasmissione di sollecitazioni di COMPRESSIONE fra le aste

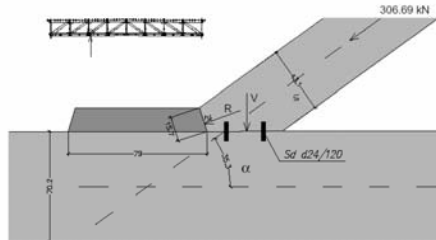
nodo puntone - tirante

nodo monaco - saette



3. Conessioni di carpenteria

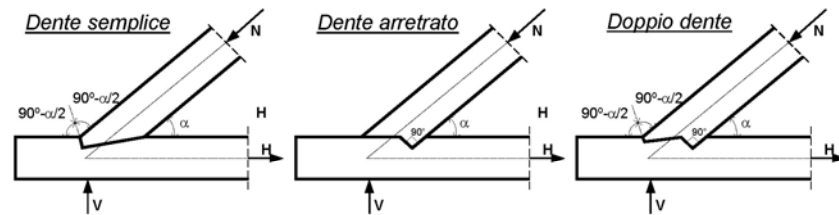
Possibilità applicative al giorno d'oggi



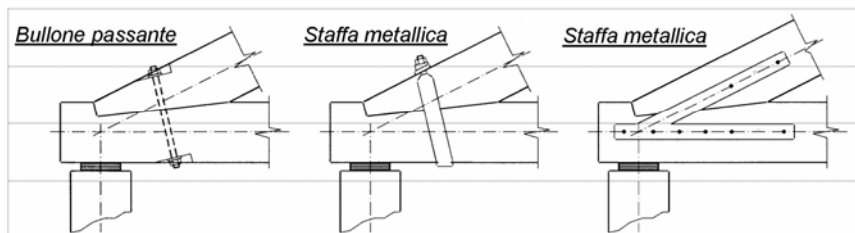
3. Conessioni di carpenteria

nodo puntone - tirante

Possibili geometrie del nodo



talvolta sono accoppiati con elementi di serraggio.

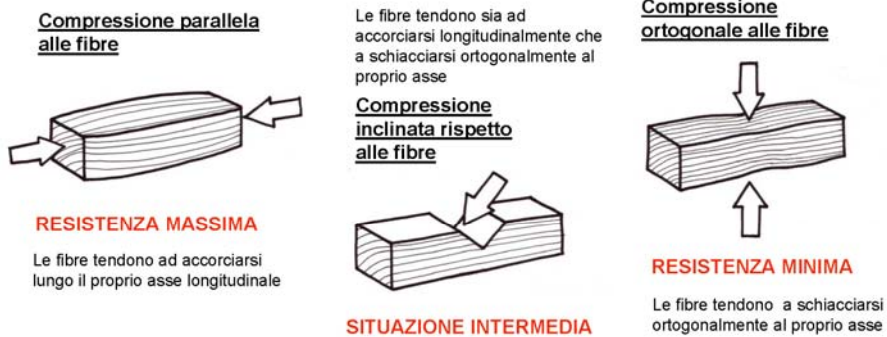


4. Meccanismi resistenti

La verifica di resistenza è governata principalmente dalle **sollecitazioni a compressione** che si trasmettono tra i diversi elementi



Verifica allo schiacciamento localizzato delle fibre legnose

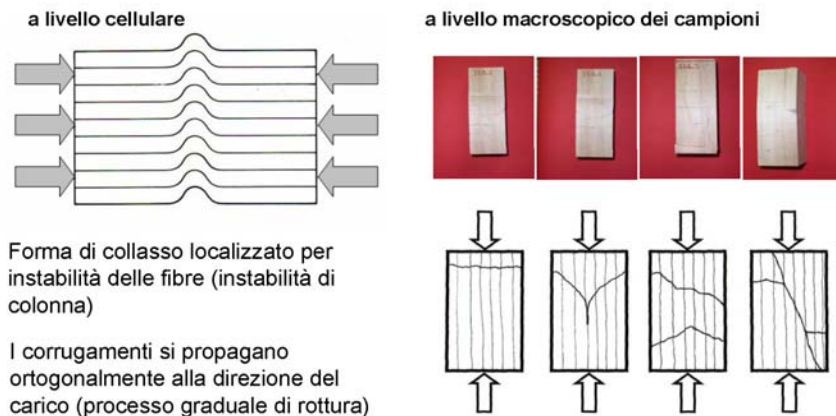


4. Meccanismi resistenti

Compressione parallela alle fibre:

Risultati di una campagna sperimentale su provini di pioppo secondo UNI-ISO3787

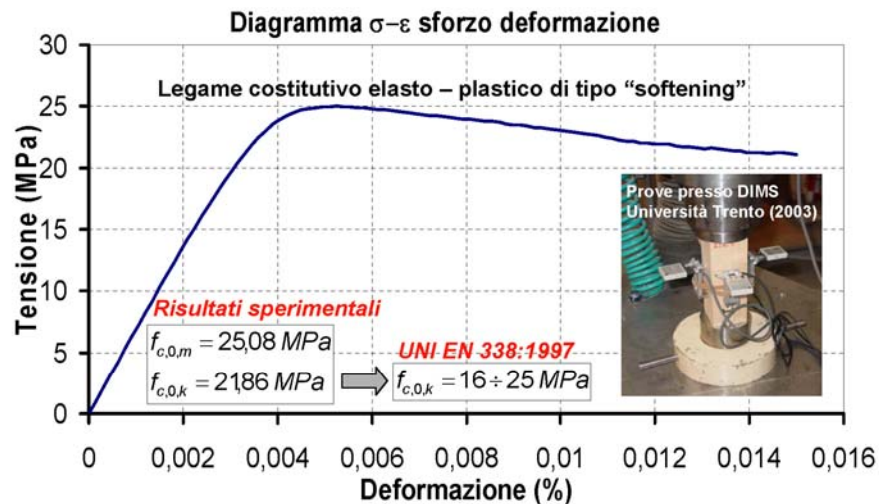
Modalità di rottura



4. Meccanismi resistenti

Compressione parallela alle fibre:

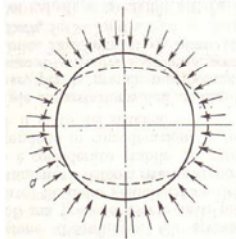
Risultati di una campagna sperimentale su provini di pioppo secondo UNI-ISO3787



4. Meccanismi resistenti

Compressione ortogonale alle fibre:

instabilità delle fibre sottoposte a compressione radiale



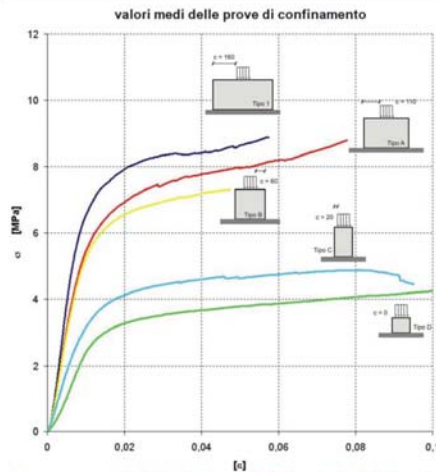
Forma di collasso localizzato per instabilità delle fibre (instabilità di un tubo sottoposto a compressione esterna)

Il carico critico è minore rispetto al caso di instabilità di colonna

Al raggiungimento del carico massimo le deformazioni sono molto elevate

4. Meccanismi resistenti

Compressione ortogonale alle fibre: "effetti di confinamento"



- I campioni di tipo b "confinati" presentano carichi massimi e rigidità maggiori rispetto ai campioni di tipo a "non confinati".
- I campioni di tipo a "non confinati" presentano un plateau plastico successivo alla fase elastica
- I campioni di tipo b "confinati" presentano un tratto incrudente successivo alla fase elastica
- L'aumento di rigidità e resistenza nei provini confinati è proporzionale all'ampiezza della zona di confinamento
- I valori di rottura vengono determinati registrando dai dati sperimentali i carichi corrispondenti ad una deformazione pari all' 1%

Prove presso DIMS, Università Trento (2004) sezioni trasversali 120 x 200 mm²; 120 x 100 mm²

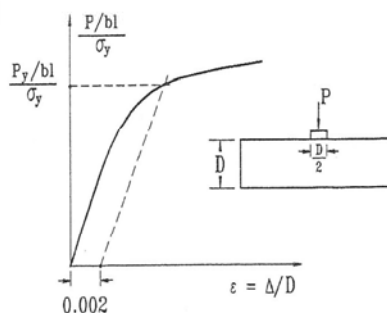
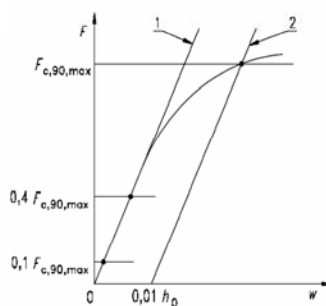
Le diverse lunghezze di confinamento per i provini sono : 16 cm; 11 cm; 6 cm; 2 cm; 0 cm;

4. Meccanismi resistenti

L'APPROCCIO DELLE NORMATIVE PER LA RESISTENZA ULTIMA

UNI EN 1193

ASTM D143



Il valore di crisi per la compressione ortogonale alle fibre è convenzionale, perché la crisi avviene per schiacciamento della fibratura

- SI DEVONO LIMITARE LE DEFORMAZIONI PER AVERE CEDIMENTI RIDOTTI
- DIPENDE DALLA GEOMETRIA DEL PROBLEMA – "effetto di confinamento"

4. Meccanismi resistenti

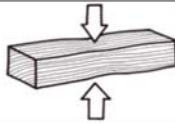
Tablelle prestazionali

COMPRESSIONE PARALLELA ALLE FIBRE

C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30	C35	C40	Pioppo e conifere	C14-C40
16	17	18	20	21	22	23	25	26	UNI EN 338:1997	16-25 Mpa
$f_{c,0,k}$ (Mpa)		Latifoglie		D30	D35	D40	D50	D60	D70	D30-D70
		UNI EN 338:1997		23	25	26	29	32	34	23-34 Mpa
		Legno Lamellare		GL24h	GL28h	GL32h	GL36h	Omogeneo		GL24h-GL36h
		UNI EN 1194:2000		24	26,5	29	31			24-31 MPa
		Legno Lamellare		GL24c	GL28c	GL32c	GL36c	Combinato		GL24c-GL36c
		UNI EN 1194:2000		21	24	26,5	29			21-29 MPa

recentemente giudicati "troppo alti"
pr EN 338:2002 va da 2,0 - 2,9

COMPRESSIONE PERPENDICOLARE ALLE FIBRE

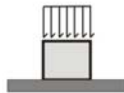
C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30	C35	C40	Pioppo e conifere	C14-C40
4,3	4,6	4,8	5,1	5,3	5,6	5,7	6	6,3	UNI EN 338:1997	4,3-6,3 Mpa
$f_{c,90,k}$ (Mpa)		Latifoglie		D30	D35	D40	D50	D60	D70	D30-D70
		UNI EN 338:1997		8	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5	8-13,3 Mpa
		Legno Lamellare		GL24h	GL28h	GL32h	GL36h	Omogeneo		GL24h-GL36h
		UNI EN 1194:2000		2,7	3	3,3	3,6			2,7-3,6 MPa
		Legno Lamellare		GL24c	GL28c	GL32c	GL36c	Combinato		GL24c-GL36c
		UNI EN 1194:2000		2,4	2,7	3,2	3,8			2,4-3,8 MPa

4. Meccanismi resistenti

Compressione ortogonale alle fibre: "effetti di confinamento"

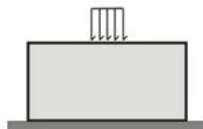
Caso a : CAMPIONE "NON CONFINATO"

Tutte le fibre sono **schiacciate** come un "fascio di tubi"



Caso b : CAMPIONE "CONFINATO"

Solo una **porzione** della superficie del legno superiore è **caricata**, e le fibre adiacenti non caricate assorbono una parte del carico



4. Meccanismi resistenti

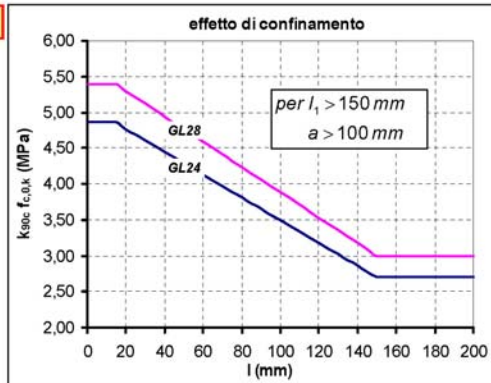
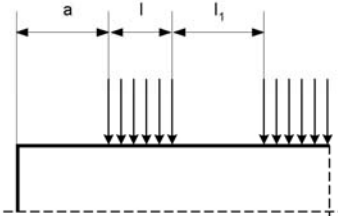
Differenti approcci normativi alla compressione ortogonale alle fibre

secondo UNI ENV 1995-1-1: 1993 (parte 5.1.5)

Coefficiente di amplificazione delle resistenze

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} \quad [5.1.5a]$$

$k_{c,90}$ tiene conto del fatto che il carico può essere aumentato se la lunghezza l è limitata



	$l_1 > 150 \text{ mm}$	
	$a \geq 100 \text{ mm}$	$a < 100 \text{ mm}$
$l \geq 150 \text{ mm}$	1	1
$150 \text{ mm} > l \geq 15 \text{ mm}$	$1 + \frac{150 - l}{170}$	$1 + \frac{a \cdot (150 - l)}{17000}$
$15 \text{ mm} > l$	1,8	$1 + a/125$

4. Meccanismi resistenti

Differenti approcci normativi alla compressione ortogonale alle fibre

secondo NICOLE (rev. dic. 2003)

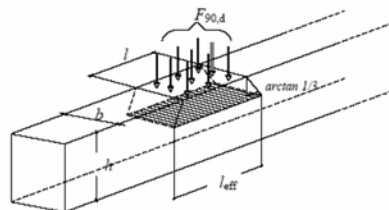
$$\sigma_{c,90,d} \equiv \frac{F_{90,d}}{b \cdot l_{ef}}$$

Aumento dell'impronta attraverso un'area efficace

dove l_{ef} è la lunghezza efficace determinata nella ipotesi di una distribuzione parallelamente alle fibre pari a 1:3 con le limitazioni seguenti

$$l_{ef} \leq l + 1/3 \cdot h$$

$$l_{ef} \leq 2 \cdot l$$



4. Meccanismi resistenti

Differenti approcci normativi alla compressione ortogonale alle fibre

secondo EC5 (draft dic. 2003)

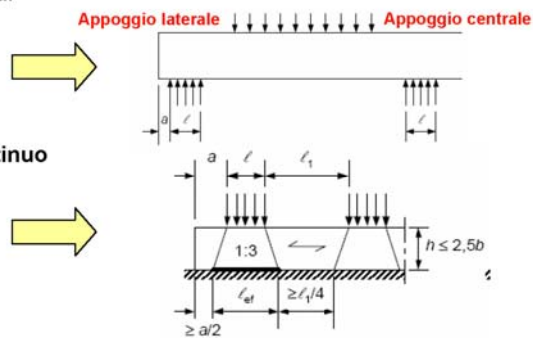
$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} \quad [6.3] \quad (\text{con } 1,0 \leq k_{c,90} \leq 4,0)$$

$k_{c,90}$ tiene conto della configurazione del carico, della possibilità di splitting (fenditura) del legno e il grado di deformazione

• Per determinare $k_{c,90}$ si distingue tra:

1) Trave continua su più appoggi

2) Elemento ligneo su appoggio continuo
(es. trave di banchina)



4. Meccanismi resistenti

Differenti approcci normativi alla compressione ortogonale alle fibre

secondo DIN1052:08/2004

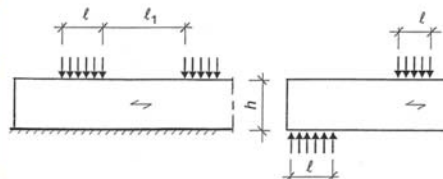
$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} \leq 1 \quad \text{con} \quad \sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}}$$

A_{ef} superficie efficace soggetta a compressioni ortogonale alla fibratura = superficie d'impronta aumentata nella direzione della fibratura fino a 30 mm,

$$A_{ef} = B \cdot (l + 30 \text{ mm})$$

$k_{c,90}$ coefficiente che tiene conto della compressione con confinamento

- $k_{c,90} = 1.0$ con $l_1 < 2h$
- $k_{c,90} = 1.5$ con $l_1 \geq 2h$ per compressione su dormiente
- $k_{c,90} = 1.75$ con $l_1 \geq 2h$ e $100 \leq l \leq 400$ con compressione all'appoggio

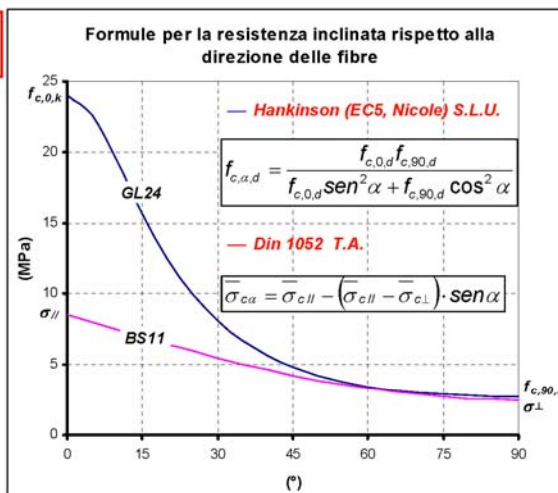
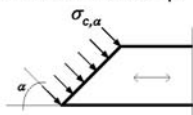


4. Meccanismi resistenti

Compressione inclinata rispetto alle fibre

Formula di Hankinson (1921)

- Per piccoli angoli di α la resistenza è molto più sensibile all'inclinazione delle fibre (conforme alle evidenze sperimentali)
- La relazione si adatta bene al criterio più generale di Tsai-Wu per i materiali ortotropi



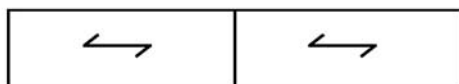
4. Meccanismi resistenti

Compressione inclinata rispetto alle fibre

- Formula di Hankinson modificata per tenere conto del fenomeno di compenetrazione delle fibre (es.: SIA 164 "Constructions en bois")

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{0,8 \times f_{c,0,d} f_{c,90,d}}{0,8 \times f_{c,0,d} \sin^2 \alpha + f_{c,90,d} \cos^2 \alpha}$$

In un giunto testa – testa posso compenetrare le fibre !!!



N.B.: La differenza tra le due formulazioni diventa trascurabile tra i 30 ed i 60 gradi, ovvero quelli più comunemente riscontrabili nelle costruzioni

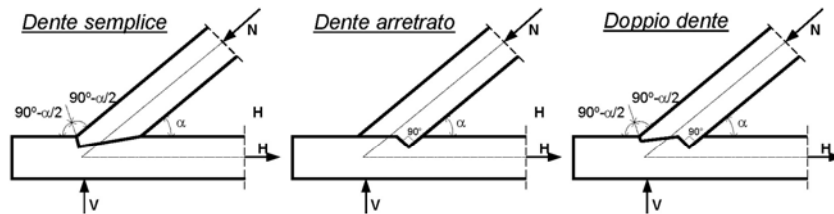
α gradi	$f_{c,\alpha,k}$ (MPa)	
	EC5	SIA164
0°	21,00	16,80
10°	19,43	15,87
20°	15,98	13,68
30°	12,57	11,30
40°	9,96	9,31
50°	8,15	7,84
60°	6,97	6,83
70°	6,23	6,18
80°	5,83	5,82
90°	5,70	5,70

5. Il calcolo

nodo puntone - tirante

Possibili geometrie del nodo considerate nell'analisi

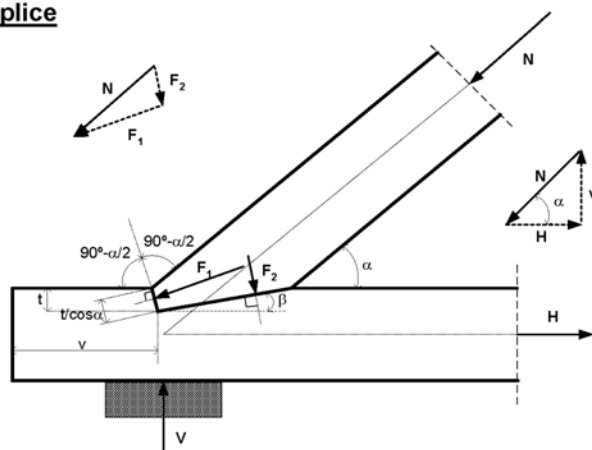
- Dente semplice
- Dente arretrato
- Doppio dente



5. Il calcolo

Geometria dente semplice

α è l'inclinazione del puntone riferita all'orizzontale

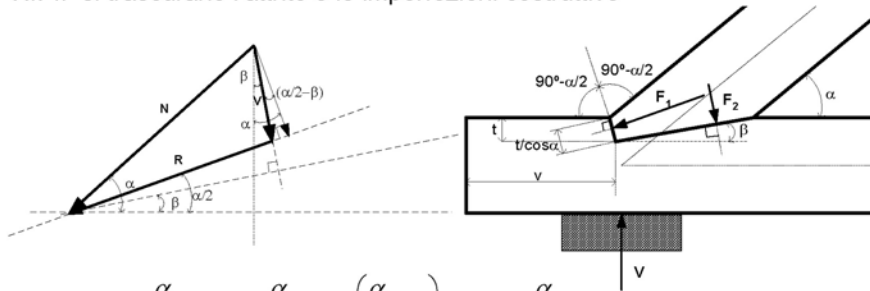


In genere l'angolo del dente viene progettato inclinato di $\alpha / 2$ rispetto la verticale, in modo da rendere minimo l'angolo fra la direzione della forza e la direzione delle fibre sia del puntone che della catena.

5. Il calcolo

Geometria dente semplice

H.P.: si trascurano l'attrito e le imperfezioni costruttive

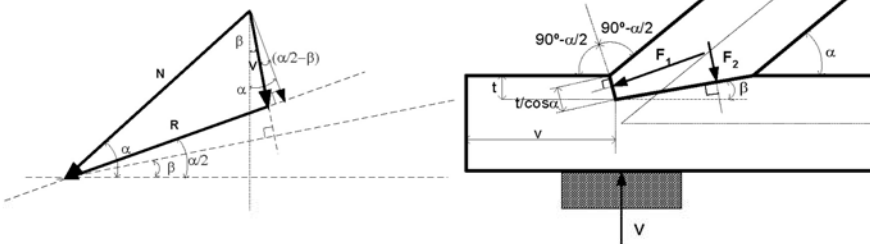


$$F_1 = N \cdot \cos \frac{\alpha}{2} - N \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \tan \left(\frac{\alpha}{2} - \beta \right) < N \cdot \cos \frac{\alpha}{2}$$

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

5. Il calcolo

Geometria dente semplice



Sulla superficie compressa ...

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

dove

$$f_{c,2^a,d} = \frac{f_{c0d}}{\frac{f_{c0d}}{f_{c90d}} \sin^2 \frac{\alpha}{2} + \cos^2 \frac{\alpha}{2}}$$

Sulla superficie di taglio si deve verificare ...

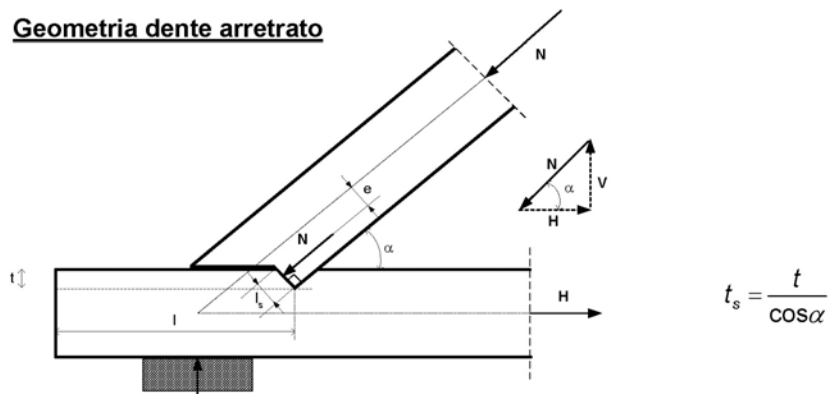
$$\tau_d = \frac{N \cos \alpha}{bl} \leq f_{v,d}$$



N.B.: secondo la nuova **ordinanza sismica 3274 del 20/03/03** in zona sismica deve essere adottato un ulteriore coefficiente di sicurezza per il materiale pari a **1,3**

5. Il calcolo

Geometria dente arretrato

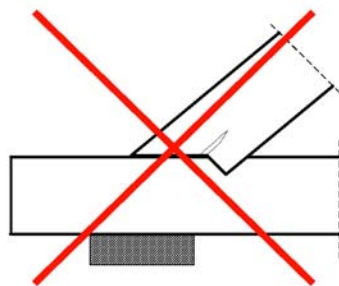


Vantaggio: v ho aumentato la lunghezza del tacco

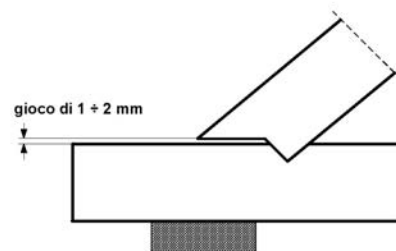
Svantaggio: l'angolo tra la direzione della forza e la direzione delle fibre è maggiore rispetto al caso di dente semplice (l'angolo del dente arretrato è solitamente a 90°)

5. Il calcolo

Geometria dente arretrato: *prescrizioni costruttive*



non corretto !!!

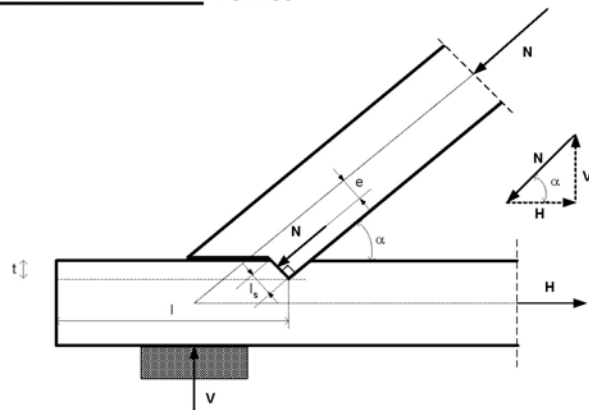


corretto

Occorre lasciare un certo "agio" alla superficie anteriore (1-2 mm), al fine di evitare che la collaborazione di tale superficie inneschi stati tensionali ortogonali alla direzione delle fibre, causando fessurazioni per fenditura

5. Il calcolo

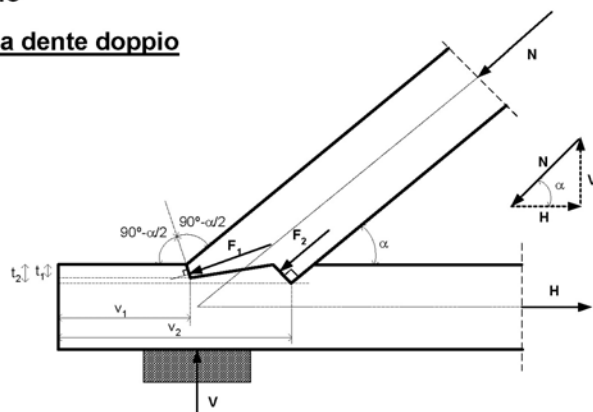
Geometria dente arretrato: *verifica*



$$\sigma_{cd} = \frac{N}{bl_s} = \frac{N \cos \alpha}{bt} \leq f_{cd} \qquad \tau_d = \frac{N \cos \alpha}{bl} \leq f_{vd}$$

5. Il calcolo

Geometria dente doppio



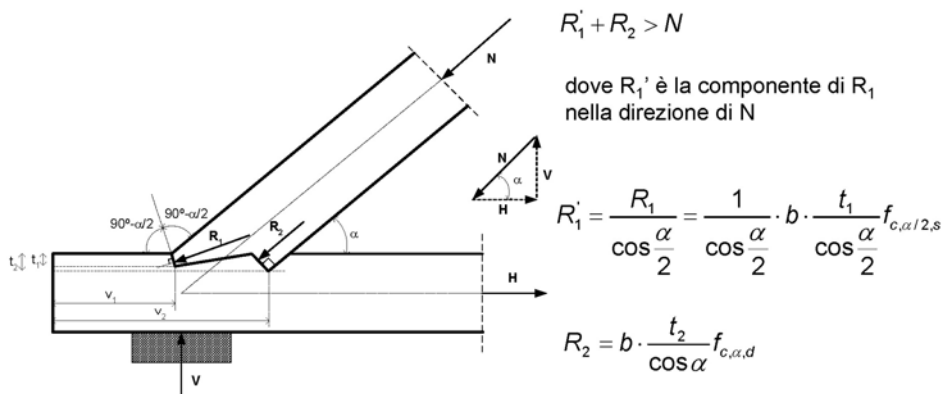
Vantaggio: aumento al lunghezza del tacco, ed il rapporto tra la superficie portante e la profondità di intaglio è maggiore

Svantaggio: la realizzazione del nodo richiede grande precisione al fine di assicurare il contatto di tutte le superfici (precisione oggi ottenibile solo con le macchine a controllo numerico)

5. Il calcolo

Geometria dente doppio: verifiche

Ho 4 superfici da verificare, due a compressione e due a taglio



5. Il calcolo

Geometria dente doppio: verifiche

Inoltre ...

$$R_1' \cos \alpha = \frac{b t_1 f_{c,\alpha/2,d}}{\cos^2 \frac{\alpha}{2}} \cos \alpha < b l_1 f_{v,d} \quad \text{crisi del tacco anteriore di lunghezza } l_1$$

$$N \cos \alpha < b l_2 f_{v,d} \quad \text{crisi del tacco di lunghezza } l_2$$

Nel caso di più denti bisogna prestare attenzione alle tolleranze di lavorazione ed inoltre è bene che:

$$t_1 \leq \begin{cases} 80\% t_2 \\ t_2 - 10 \text{ mm} \end{cases}$$

5. Il calcolo

Geometria dente doppio: verifiche

Eventuali elementi di bloccaggio non sono in genere considerati nel calcolo.

Per le altezze di intaglio la DIN 1052 prescrive:

Incastri puntone - tirante

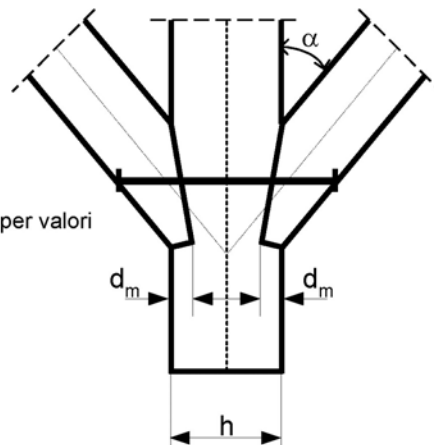
$$d_m \leq \frac{h}{4} \quad \text{per } \alpha < 50^\circ$$

$$d_m \leq \frac{h}{6} \quad \text{per } 50^\circ \leq \alpha$$

} Interpolare per valori intermedi

Incastri simmetrici...

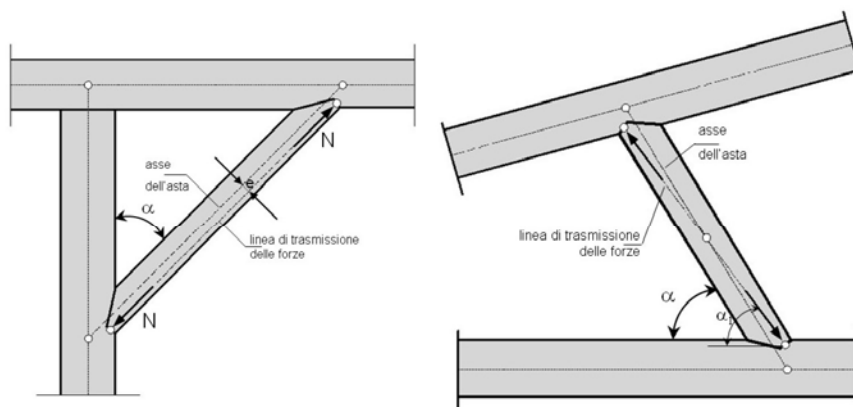
$$d_m \leq \frac{h}{6} \quad \forall \alpha$$



5. Il calcolo

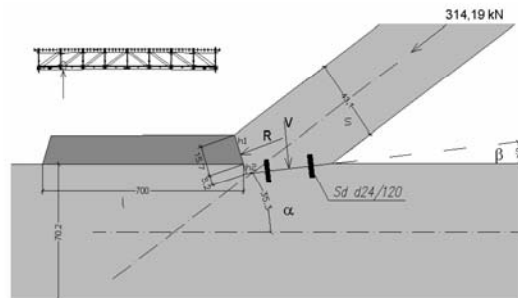
Ulteriori verifiche sui gli elementi da collegare

Se le connessioni generano eccentricità ed indebolimenti, le aste devono essere verificate conseguentemente.



6. Esempio

Geometria dente semplice: esempio di calcolo Ni.Co.Le-S.L.U.



Legno:

Lamellare GL 24h

Massa volumica: $\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$

Classe di servizio: 3,

Classe di durata del carico: breve durata

$\rightarrow k_{mod} = 0,7$.

Dati di progetto:

$N_{soll} = 314,19 \text{ kN}$

$\alpha = 35,37^\circ$

$\beta = 6,3^\circ$

$t = 200 \text{ mm}$

$l = 700 \text{ mm}$

$b = 220 \text{ mm}$

$h_1 = 157 \text{ mm}$

$h_2 = 52 \text{ mm}$

6. Esempio

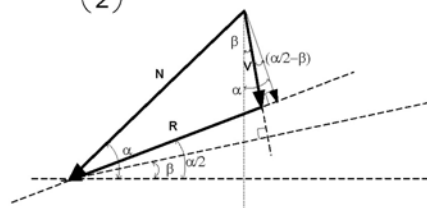
Geometria dente semplice: esempio di calcolo Ni.Co.Le S.L.U.

UNI EN 1194:2000

Valori caratteristici		Valori di progetto	
$f_{c,0,k}$ [MPa]	24	$f_{c,0,d}$ [MPa]	12,92
$f_{c,90,k}$ [MPa]	2,7	$f_{c,90,d}$ [MPa]	1,45
$f_{v,k}$ [MPa]	2,7	$f_{v,d}$ [MPa]	1,45

$$R = N \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) - N \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2} - \beta\right) < N \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cong 300 \text{ kN}$$

$$V = \frac{N \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\cos\left(\frac{\alpha}{2} - \beta\right)} = 97,54 \text{ kN}$$



6. Esempio

Tensione di progetto per un carico inclinato rispetto alle fibre

$$f_{c,2,d} = \frac{f_{c,0,d} f_{c,90,d}}{f_{c,0,d} \sin^2 \frac{\alpha}{2} + f_{c,90,d} \cos^2 \frac{\alpha}{2}} = 7,8 \text{ MPa} \quad \text{OK!}$$

Sulla superficie di taglio si deve verificare ...

$$\tau = \frac{N \cdot \cos(\alpha) \cdot \frac{h_1}{h_1 + h_2}}{t \cdot l} = \frac{314,19 \times \cos(35,37^\circ) \times \frac{15,7}{15,7 + 5,2}}{220 \times 700} \times 1000 = 1,25 < f_{vd} = 1,45 \text{ MPa} \quad \text{OK!}$$

Sulla superficie compressa $h_1 + h_2$ si deve verificare ...

$$\sigma_c = \frac{N \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{b \cdot (h_1 + h_2)} = \frac{300}{220 \times (15,7 + 5,2)} \times 1000 = 6,52 \text{ MPa} < f_{c,2,d} = 7,8 \text{ MPa} \quad \text{OK!}$$

7. Moderne possibilità di produzione

Sistemi CAD-CAM per la progettazione



Macchine a controllo numerico



Bibliografia

Blass H.J., et al, Timber Engineering STEP 1, Centrum Hout, 1995

Blass H.J., et al, Timber Engineering STEP2, Centrum Hout, 1995

Blass, H.J. 1994. Characteristic strength of nailed joints. Forest Products Journal, Vol. 44 (4): 33 – 39.

Caironi M.; Bonera L. – Il legno lamellare, il calcolo – Habitat Legno S.p.A., Edolo (BS) – (1989)

Caironi M.; Bonera L. – Il legno lamellare, il calcolo 2 – Habitat Legno S.p.A., Edolo (BS) – (2002)

Ceccotti A, Dimensionamento e verifica delle strutture in legno, in Giordano G., Tecnica delle costruzioni in legno, Ulrico Hoepli Editore, 1999.

CENCI G., Strutture in legno, Meta, Milano, 1980

De Angelis A. – Progettazione e calcolo delle strutture in legno lamellare – DEI S.r.l. – Tipografia del genio civile, Roma – (1993)

Del Senno M., Piazza M., Tomasi R. (2004) Axial glued-in steel timber joints - experimental and numerical analysis, accepted for publication on Holz als Roh und Werkstoff

Forest Products Laboratory. 1999. Wood handbook—Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 463 p.

Haller P. (1998) Progress in timber joint development and modelling. Pr'c., 5th World Conference in Timber Engineering, J. Natterer and J.-L. Sandoz, eds., Montreux, Switzerland, August 17-20, 1998, 337-344.

Johansen, K.W. (1949). Theory of timber connections. International Association of Bridge and Structural Engineering. Publication No. 9:249-262. Bern

Laner F., "Il legno lamellare, il progetto" Ed. Habitat legno, Edolo, 1998

Natterer J., Sandoz J.L., Rey M., Construction en bois, Traité de Génie Civil de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Volume 13, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (PPUR), 2000

Pallaver G. – Il legno: rapporto fra progetto e produzione industriale; applicazioni innovative; strutture in legno lamellare - Atti del convegno "Strutture in legno normale e lamellare, Eurocodice 5 e nuove tecnologie" – Politecnico di Milano, Facoltà di architettura – (5 marzo 1996)

Piazza M., Ballerini M., Ferrari A., "Plane grid glulam structures: development of moment resistant connections with glued-in steel rods". In New Technologies and Structures in Civil Engineering - Case Studies of Remarkable Constructions. Dubina D., Vayas I., Ungureanu V. (a cura di), : Editura Orizonturi Universitare, 1999. p. 121-144

Piazza M., Cavalli R., Urso T., Redigolo N., "Analisi funzionale dell'impiego di resine epossidiche nei collegamenti di strutture di legno lamellare". Monti e boschi : MB : ecologia e tecnica applicate alle foreste e all'ambiente montano, 2001, v. Anno LII, n. 2, p. 17-23.

Piazza M., Parisi M. A., "Traditional timber joints in seismic areas: cyclic behaviour, numerical modelling, normative requirements". European earthquake engineering, 2002, v. 1, p. 40-49.

Piazza M., Zanuttini R., Berti S., Strutture di legno per un'edilizia sostenibile. Milano: Il Sole 24 ore libri, 2002. p. 318. Manuali dell'Edilizia

Piazza M., Zanuttini R., Il legno lamellare incollato. Tecnologia produttiva, normative di riferimento, considerazioni sul calcolo. Trento: Università di Trento. Facoltà di ingegneria, 1996. p. 59. Collana didattica, Dipartimento Meccanica Strutturale e Progettazione Automatica, 6

Normative

National Design Specification for Wood Construction ANSI/AF&PA NDS – 1997

Entwurf DIN 1052: Mai 2000 Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken.

DIN 1052, Ausgabe: 2004-08, Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken - Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau.

UNI ENV 1995-1-1:1995 - Eurocodice 5. Progettazione delle strutture di legno. Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.

UNI ENV 1995 - 2: Eurocodice 5 – Progettazione delle strutture di legno – Parte 2: Ponti.

UNI ENV 1995-1-2:1996 - Eurocodice 5. Progettazione di strutture di legno. Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio

prEN 1995-1-1_Final draft_Dec2003: Eurocode 5 - Design of timber structures - Part 1-1: General .Common rules and rules for buildings.

NICOLE- Norme tecniche Italiane per la progettazione, esecuzione e collaudo delle Costruzioni di Legno, Revisione CNR 2003¹

SIA 265: 2003, Construction en bois².

SIA 265/1: 2003, Construction en bois - Spécifications complémentaires.

¹ Proposta di nuova norma tecnica italiana per le costruzioni in legno agli stati limite ultimi, emanata dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici nell'Ottobre 2001, rivista e modificata da una commissione del CNR nel 2003, in attesa di emanazione

² Norma Svizzera SN 505 265 (ne esiste una traduzione completa in lingua italiana che si trova in fase di stampa e sarà disponibile entro la primavera 2005).