

Gaetano Di Dio Perna

Unioni aste in legno

- Guida alla verifica delle unioni delle aste in legno
- Esempi svolti
- **SOFTWARE CONFORME ALLE NTC 2008
ED ALLA CIRCOLARE DEL CNR**
 - ↘ Verifica unioni tradizionali o di carpenteria lignea
 - ↘ Verifica unioni meccaniche con l'impiego di elementi metallici a gambo cilindrico
 - ↘ Stampa dell'elaborato costituito dalle seguenti tavole: relazione sul codice di calcolo, dati relativi all'unione, caratteristiche dei materiali, verifica dell'unione, disegni e caratteristiche costruttive dell'unione

Gaetano Di Dio Perna
UNIONI ASTE IN LEGNO

ISBN 13 978-88-8207-540-8
EAN 9 788882 075408

Software, 71
Prima edizione, marzo 2014

Di Dio Perna, Gaetano <1953->
Unioni aste in legno / Gaetano Di Dio Perna. – Palermo : Grafill, 2014.
(Software ; 71)
ISBN 978-88-8207-540-8
1. Strutture in legno
624.184 CDD-22
SBN Pal0266622
CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Il presente volume è **disponibile anche in versione eBook** (formato *.pdf) compatibile con **PC, Macintosh, Smartphone, Tablet, eReader**.

Per l'acquisto di eBook e software sono previsti pagamenti con conto corrente postale, bonifico bancario, carta di credito e paypal. Per i pagamenti con carta di credito e paypal è consentito il download immediato del prodotto acquistato.

Per maggiori informazioni inquadra con uno smartphone o un tablet il codice QR sottostante.



I lettori di codice QR sono disponibili gratuitamente su Play Store, App Store e Market Place.

© **GRAFILL S.r.l.**

Via Principe di Palagonia, 87/91 – 90145 Palermo
Telefono 091/6823069 – Fax 091/6823313
Internet <http://www.grafill.it> – E-Mail grafill@grafill.it

Finito di stampare nel mese di marzo 2014

presso **Officine Tipografiche Aiello & Provenzano S.r.l.** Via del Cavaliere, 93 – 90011 Bagheria (PA)

Tutti i diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica e di riproduzione sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcuna forma, compresi i microfilm e le copie fotostatiche, né memorizzata tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto dell'Editore. Ogni riproduzione non autorizzata sarà perseguita a norma di legge. Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

Sommario

PRESENTAZIONE	p.	7
PREFAZIONE	"	9
INTRODUZIONE	"	11
1. COLLEGAMENTI TRADIZIONALI	"	13
1.1. Premessa	"	13
1.2. Collegamento a dente semplice normale	"	15
1.2.1. Calcolo delle sollecitazioni	"	15
1.2.2. Verifiche	"	16
1.3. Collegamento a dente semplice arretrato	"	19
1.3.1. Calcolo delle sollecitazioni	"	19
1.3.2. Verifiche	"	20
1.4. Collegamento a dente doppio	"	22
1.4.1. Calcolo delle sollecitazioni	"	22
1.4.2. Verifiche	"	23
1.5. Collegamento a dente semplice rinforzato	"	25
1.5.1. Calcolo delle sollecitazioni	"	25
1.5.2. Verifiche	"	27
1.6. Elementi di serraggio	"	27
1.7. Generalizzazione del problema	"	28
2. COLLEGAMENTI CON ELEMENTI METALLICI A GAMBO CILINDRICO		
PARTE 1^a – CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE	"	30
2.1. Premessa	"	30
2.2. Tipologie e modalità costruttive	"	30
2.3. Comportamento degli elementi metallici	"	34
2.4. Capacità portante di elementi metallici soggetti a carico assiale	"	36
2.4.1. Carico assiale di trazione	"	37
2.4.2. Carico assiale di compressione	"	41
2.4.3. Capacità portante per un gruppo di elementi resistenti	"	44
2.4.4. Disposizioni costruttive	"	45

2.5.	Capacità portante di elementi metallici		
	a gambo cilindrico soggetti a carico tagliante	p.	45
2.5.1.	Resistenza allo Snervamento dell'elemento resistente	"	47
2.5.2.	Resistenza al Rifollamento del materiale ligneo	"	47
2.5.3.	Resistenza legata all'effetto tirante	"	48
2.5.4.	Capacità portante caratteristica		
	nelle unioni legno-legno e pannello-legno	"	49
2.5.5.	Capacità portante caratteristica nelle unioni acciaio-legno.....	"	51
2.5.6.	Collegamenti con piani di taglio multipli.....	"	53
3.	COLLEGAMENTI CON ELEMENTI METALLICI		
	A GAMBO CILINDRICO		
	PARTE 2 ^a – VALUTAZIONE DELLE SOLLECITAZIONI	"	54
3.1.	Definizione dei sistemi di riferimento	"	54
3.2.	Coordinate di vertici ed elementi resistenti	"	59
3.3.	Definizione della posizione dei baricentri	"	59
3.4.	Trasporto del vettore S(...) nei baricentri W e G	"	60
3.5.	Valutazione delle sollecitazioni	"	61
	3.5.1. Ripartizione di F_X , F_Z e C^Y	"	63
	3.5.2. Ripartizione di F_Y , C^X e C^Z	"	66
	3.5.3. Sollecitazioni di calcolo	"	122
4.	COLLEGAMENTI CON ELEMENTI METALLICI		
	A GAMBO CILINDRICO		
	PARTE 3 ^a – VERIFICHE.....	"	123
4.1.	Premessa	"	123
4.2.	Verifiche geometriche	"	123
4.3.	Verifiche costruttive	"	124
	4.3.1. Verifiche legate alla preforatura o alla calibratura	"	124
	4.3.2. Verifica delle lunghezze degli elementi resistenti		
	in base agli spessori degli elementi da collegare	"	125
	4.3.3. Verifica degli interassi tra gli elementi resistenti (a_1).....	"	126
	4.3.4. Verifica delle distanze tra le file		
	degli elementi resistenti (a_2).....	"	127
	4.3.5. Verifica della distanza degli elementi resistenti		
	dall'estremo caricato della trave ($a_{3,f}$).....	"	128
	4.3.6. Verifica della distanza degli elementi resistenti		
	dall'estremo scarico della trave ($a_{3,c}$).....	"	129
	4.3.7. Verifica della distanza degli elementi resistenti		
	dal bordo caricato della trave ($a_{4,f}$).....	"	130
	4.3.8. Verifica della distanza degli elementi resistenti		
	dal bordo scarico della trave ($a_{4,c}$).....	"	130
4.4.	Verifiche di resistenza	"	131
	4.4.1. Verifica dei singoli elementi resistenti	"	131

4.4.2.	Verifica dei mezzi di unione appartenenti ad una stessa fila	p.	132
4.4.3.	Verifica della pressione di compressione sotto le flange	"	135
4.4.4.	Verifica dell'asta principale e della fangia	"	135
4.5.	Verifiche di Deformabilità	"	137
4.5.1.	Premessa	"	137
4.5.2.	Il modulo di scorrimento	"	138
4.5.3.	Calcolo degli scorrimenti di una unione	"	140
5.	ESEMPI SVOLTI	"	141
5.1.	Unioni tradizionali	"	141
5.1.1.	Premessa	"	141
5.1.2.	Verifica della unione in corrispondenza del nodo n. 1	"	143
5.1.3.	Verifica della unione in corrispondenza del nodo n. 4 (esempio 5)	"	145
5.1.4.	Verifica della unione in corrispondenza del nodo n. 3	"	145
5.1.5.	Verifica della unione in corrispondenza del nodo n. 6 (Esempio 8)	"	146
5.2.	Unioni meccaniche con elementi metallici a gambo cilindrico	"	147
5.2.1.	Premessa	"	147
5.2.2.	Unioni relative alla tettoia	"	147
5.2.3.	Unioni relative alla travatura reticolare	"	160
5.2.4.	Altri esempi	"	161
6.	INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE ALLEGATO	"	171
6.1.	Introduzione	"	171
6.2.	Requisiti minimi hardware e software	"	171
6.3.	Download del software e richiesta della password di attivazione	"	171
6.4.	Installazione e attivazione del software	"	172
7.	MANUALE D'USO DEL SOFTWARE	"	174
7.1.	Descrizione dell'ambiente di lavoro	"	174
7.2.	Descrizione dei comandi	"	175
7.2.1.	Creazione di un nuovo progetto	"	175
7.2.2.	Apertura di un progetto esistente	"	175
7.2.3.	Salvataggio del progetto corrente con un altro nome	"	176
7.2.4.	Immissione dei dati generali relativi al progetto	"	176
7.2.5.	Immissione dei dati generali relativi alla struttura	"	176
7.2.6.	Immissione dei dati relativi alla unione	"	177
7.2.7.	Visualizzazione ed aggiornamento archivio degli elementi resistenti	"	183

7.2.8. Visualizzazione ed aggiornamento dell'archivio dei materiali	p.	185
7.2.9. Avvio ed esecuzione del calcolo di verifica	"	185
7.2.10. Visualizzazione di dati e risultati	"	186
7.2.11. Stampa su carta dei dati e risultati.....	"	186
7.2.12. Visualizzazione e stampa disegni.....	"	187
7.2.13. Creazione file contenente dati e risultati	"	188
7.2.14. Tutorial	"	188
7.2.15. Tasto di conferma dei dati	"	188
7.2.16. Tasto di chiusura della finestra corrente	"	188
7.2.17. Tasto per l'apertura e la chiusura della guida in linea.....	"	188

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

E NORMATIVA DI RIFERIMENTO	"	189
---	---	-----

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE	"	189
-------------------------------	---	-----

NORMATIVA DI RIFERIMENTO	"	189
--------------------------------	---	-----

Presentazione

Le strutture in legno hanno assunto negli ultimi anni notevole interesse nel campo scientifico e professionale, soprattutto grazie alla diffusione del legno lamellare incollato, con cui è possibile realizzare agevolmente sagome complesse, dei pannelli stratificati XLAM e dei sistemi di unione messi a disposizione dalle recenti tecnologie e standardizzati dall'industria.

Il tema delle connessioni costituisce l'oggetto dell'interessante testo dell'Ing. Gaetano Di Dio Perna, dirigente presso l'Ufficio del Genio civile di Enna, che ha approfondito le basi teoriche delle verifiche delle unioni, supportando il testo con un considerevole numero di figure e di esempi esplicativi e con un software di calcolo, di agevole utilizzo.

La trattazione fa riferimento alle più recenti normative ed in particolare al D.M. 14 gennaio 2008 (*Norme Tecniche per le Costruzioni*) che, dopo molti anni, colma una lacuna della nostra normativa, fissando i principi di base delle verifiche, da condurre agli stati limite, e consentendo di fare riferimento, per quanto non espressamente ivi previsto, alle *Istruzioni per la progettazione, l'Esecuzione ed il Collaudo delle Strutture in Legno* del C.N.R. ed all'*Eurocodice 5*. Il testo ed il relativo programma prendono in esame due fra le più diffuse tipologie di unioni di elementi strutturali in legno e precisamente quelle tradizionali di carpenteria lignea e quelle meccaniche mediante l'utilizzo di elementi metallici a gambo cilindrico (*chiodi, viti, bulloni e spinotti*), facendo riferimento alle diverse tipologie presenti sul mercato ed analizzando sia configurazioni piane che complessi nodi spaziali, dove gli assi degli elementi da collegare sono comunque disposti nello spazio. Inoltre, sono ampiamente affrontate le unioni che utilizzano piastre in acciaio, sia esterne sia inserite nel legno, fornendo le soluzioni per le verifiche di resistenza del legno, dell'acciaio e dei sistemi di connessione.

Dopo l'esposizione delle verifiche dei collegamenti, il testo propone una ricca casistica di esempi progettuali reali, risolti con chiarezza, con l'ausilio di figure illustrative. L'ultimo capitolo è dedicato al programma di calcolo di immediata acquisizione. Infine, non può sottrarsi il compiacimento che il complesso tema delle unioni di elementi strutturali in legno sia sviluppato da autori non appartenenti al mondo accademico a dimostrazione del rilevante interesse che rivestono le tematiche trattate nel testo nell'ambito della pratica professionale.

Sicuro che lo studio del contenuto del presente testo e l'utilizzo del software allo stesso allegato determinino un avanzamento culturale e professionale dei tecnici strutturisti (*ingegneri e architetti*) nell'ambito del programma di istruzione permanente, a cui la suddetta categoria si è costantemente sottoposta per seguire la rapida evoluzione normativa degli ultimi anni, divenuto oggi obbligatorio per legge, auguro all'Ing. Gaetano Di Dio Perna il meritato successo editoriale.

Prof. Ing. Nunzio Scibilia

Università degli Studi di Palermo – DICAM

Prefazione

Nell'ambito delle costruzioni civili, il legno raramente è stato considerato come materiale idoneo alla realizzazione di strutture portanti principali (pilastri, travi, pareti, ecc.) alle quali affidare, ad esempio, il compito di resistere alle azioni sismiche, quasi sempre, invece, lo si è visto come materiale utile alla realizzazione di strutture portanti secondarie e/o complementari (solai, coperture, scale, capriate, ecc.).

Il legno, come materiale da costruzione, non ha goduto di particolari attenzioni non solo da parte dei costruttori, ma anche da parte del legislatore nazionale.

La legislazione vigente avente ad oggetto i materiali da costruzione (Legge n. 1086/71, Legge n. 64/1974, D.P.R. n. 380/2001) poco o nulla, infatti, dice a proposito del legno, ma ancor meno dicono i diversi Decreti Ministeriali che nel tempo sono stati emanati in attuazione della succitata legislazione.

Soltanto di recente, a seguito della emanazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni, approvate con D.M. 14 gennaio 2008, si è avuta la prima normativa nazionale che ha affrontato il problema della progettazione razionale delle strutture in legno.

Contemporaneamente all'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 si è cominciato a progettare costruzioni, quasi tutte rientranti nella categoria degli edifici, pubblici o ad uso pubblico, per le quali la struttura portante in elevazione è stata prevista costituita prevalentemente da elementi monodimensionali in legno, per lo più del tipo lamellare.

Parallelamente le software houses hanno sviluppato i programmi necessari per effettuare l'analisi strutturale e le verifiche di resistenza dei vari elementi costruttivi.

Poco, invece, esiste per quanto concerne le verifiche dei collegamenti tra i vari elementi resistenti che, come è facile intuire, costituiscono l'anello debole dell'organismo strutturale realizzato con elementi in legno.

Accanto alla mancanza di specifico software per le verifiche delle unioni di elementi in legno, ho potuto constatare anche la carenza di documentazione riguardante la trattazione teorico-analitica dei relativi criteri generali.

In considerazione di quanto sopra, nella consapevolezza di fare cosa gradita a quanti operano nel settore, e, spero, con l'apprezzamento di quanti nel mondo universitario si occupano di questa materia, spinto dall'incoraggiamento di alcuni miei colleghi, ho preso, come si suol dire, *carta, penna e computer*, e, con l'incoscienza di chi si mette in cammino senza conoscere il percorso, ho cercato in un primo tempo di riordinare il poco materiale esistente e, successivamente, basandomi sui concetti fondamentali della Tecnica delle costruzioni, ho tentato di dare una impostazione analitica ai problemi di verifica di alcune tipologie di unioni di aste in legno.

Al fine di avere un rapido riscontro sulla esatta impostazione analitica dei succitati problemi, ho approntato un programma di calcolo automatico che, pur non possedendo sofisticate ed ammaglianti interfacce e non raggiungendo i livelli di input ed output dei migliori e più diffusi softwares, consente di effettuare, con efficacia ed affidabilità, la verifica di una vasta tipologia di unioni tra elementi in legno, sia del tipo tradizionale di carpenteria lignea, che del tipo meccanico mediante l'impiego di elementi metallici a gambo cilindrico.

Così gli studi effettuati, tutto il materiale raccolto, le analisi teoriche sviluppate e la pazienza tipica di chi si occupa di programmazione sono stati sintetizzati e concretizzati in una raccolta editoriale composta da:

- a) un testo scritto, dove si illustrano gli aspetti teorici e pratici delle varie tipologie di unioni;
- b) un programma informatico dedicato alle verifiche delle unioni, nel rispetto delle norme tecniche contenute nel D.M. 14 gennaio 2008.

Il testo scritto, in particolare, è stato organizzato in sei capitoli dei quali il primo tratta le unioni tradizionali di carpenteria lignea, il secondo, il terzo ed il quarto affrontano le verifiche delle unioni meccaniche con elementi metallici a gambo cilindrico, il quinto riporta una vasta gamma di esempi svolti, che l'utilizzatore del programma può usare sia come guida per l'input di nuove unioni, che come prototipi per ricavarne di nuove e diverse; infine il sesto capitolo riporta la procedura per l'installazione e l'attivazione del programma mentre il settimo capitolo riporta il manuale d'uso del programma, di facile ed immediata consultazione.

Mi rendo conto che resta ancora molto da fare sia per migliorare il software già sviluppato, sia per approntarne di nuovi per la verifica delle altre tipologie di unioni, ma forse questo è compito di specifiche software houses.

Sarò grato a coloro che, utilizzando il programma, avranno cura di segnalare gli immancabili punti deboli, in quanto ciò potrà risultare utile per una successiva revisione di questa prima versione.

Con l'occasione desidero ringraziare i colleghi Arch. Concetta Fontanazza e Arch. Vincenzo Bonasera ed il professionista Ing. Giuseppe Gaeta per avermi incoraggiato e spronato ad andare avanti.

Un ringraziamento particolare, infine, desidero rivolgere al Prof. Ing. Nunzio Scibilia per l'interesse manifestato nei confronti dei contenuti del testo e per l'apprezzamento ed il riconoscimento della validità dell'analisi teorico-pratica sviluppata da parte di un tecnico non appartenente al mondo accademico.

Enna, marzo 2014

L'autore

Ing. Gaetano Di Dio Perna

Introduzione

Uno degli aspetti più delicati da considerare nell'utilizzo del legno è rappresentato dallo studio dei sistemi di collegamento tra i vari elementi costituenti l'organismo strutturale.

La progettazione e la pratica realizzazione delle unioni delle aste concorrenti nei vari nodi di una struttura costituiscono senza dubbio problematiche alle quali bisogna prestare la massima attenzione in quanto da loro dipende la sicurezza dell'intero organismo strutturale.

Per questo motivo le “*Connessioni*” tra i vari elementi resistenti costituiscono oggetto di specifiche normative tecniche che riportano in modo dettagliato indicazioni sui criteri di progetto e di verifica delle diverse tipologie di unioni.

In Italia il documento di riferimento sono le “*Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Collaudo delle Strutture di Legno*” redatte dal Consiglio Nazionale delle Ricerche la cui ultima revisione risale al 7 ottobre 2008.

Le unioni delle aste in legno possono raggrupparsi in due distinte tipologie:

- a) *Unioni Tradizionali* o di *Carpenteria Lignea*, realizzate per lavorazione delle superfici di contatto (*carpentry joint*), in cui le sollecitazioni vengono trasmesse direttamente tramite sforzi di compressione;
- b) *Unioni Meccaniche*, nelle quali la trasmissione degli sforzi avviene prevalentemente attraverso appositi elementi metallici ed, eventualmente, con la presenza di adesivi (*mechanical joint*).

Le *unioni meccaniche*, in funzione della tipologia del mezzo di unione adottato, possono ulteriormente suddividersi in:

- *unioni con elementi metallici a gambo cilindrico: viti, bulloni, chiodi, spinotti o elementi simili, con superfici lisce o zigrinate;*
- *unioni con elementi metallici di superficie: caviglie, anelli, piastre dentate;*
- *unioni con elementi metallici incollati: barre incollate, piastre incollate.*

In base alla disposizione degli elementi da collegare le unioni possono suddividersi anche in:

- *unioni piane*, dove gli assi degli elementi da collegare e delle sollecitazioni giacciono sullo stesso piano;
- *unioni spaziali*, dove gli assi degli elementi da collegare e delle sollecitazioni sono comunque disposti nello spazio.

Con riferimento al comportamento più o meno dissipativo, le unioni si distinguono in:

- *unioni flessibili*: sono le unioni che non impediscono la rotazione relativa delle sezioni di estremità delle aste collegate, per cui il vincolo presente nel nodo può essere assimilato ad una cerniera;
- *unioni semi-rigide*: sono le unioni con deformabilità significativa, tale da dovere essere presa in considerazione nelle analisi strutturali, e da valutarsi secondo le pertinenti

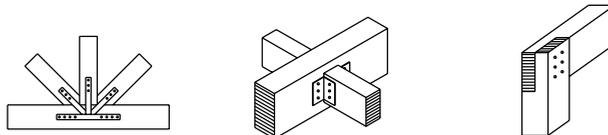
normative di calcolo; il vincolo nel nodo può essere assimilato ad un incastro cedevole con costante di rigidezza pari alla rigidezza rotazionale K_r , dipendente dal modulo di scorrimento istantaneo k_{ser} degli elementi resistenti;

- *unioni rigide*: sono le unioni con deformabilità trascurabile, ai fini del comportamento strutturale, da valutarsi secondo le pertinenti normative di calcolo.

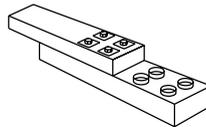
ESEMPI DI UNIONI



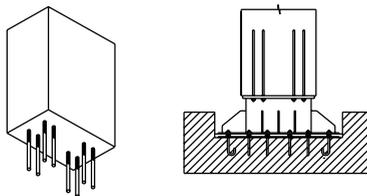
UNIONI TRADIZIONALI DI CARPENTERIA



UNIONI CON ELEMENTI METALLICI A GAMBO CILINDRICO



UNIONI CON CONNETTORI METALLICI DI SUPERFICIE



UNIONI CON CONNETTORI METALLICI INCOLLATI

Capitolo 1

Collegamenti tradizionali

» **1.1. PREMESSA**

Appartengono a questa tipologia le connessioni utilizzate per il collegamento di membrature lignee caratterizzate dalla presenza di superfici intagliate e lavorate al fine di consentire la trasmissione degli sforzi tra gli elementi connessi.

Questi collegamenti sono impiegati prevalentemente per l'unione di aste formanti travi reticolari piane o spaziali.

Il comportamento meccanico dei nodi di carpenteria tradizionali è affidato solamente al contatto ed all'attrito tra le superfici accostate appartenenti ai diversi elementi collegati.

Al fine di consentire una maggiore stabilità al nodo e, soprattutto, per conferire ad esso la capacità di sopportare inversioni di carico dovute, ad esempio, all'azione sismica si rende necessario collocare elementi metallici di chiusura (p. es. bulloni di serraggio, flange metalliche laterali, bande metalliche regolabili, ecc.) il cui contributo alla resistenza del nodo, in genere, viene trascurato.

Nella valutazione della resistenza di questa tipologia di collegamenti si fa l'ipotesi che gli stessi sono in grado di trasmettere solamente sforzi di compressione per contatto, e quindi in grado di esplicare soltanto la funzione di vincolo monolatero. A volte si evita di eseguire l'intaglio o, quanto meno, se ne limitano le dimensioni, assicurando la trasmissione degli sforzi mediante la realizzazione artificiosa di un dente applicando dei ringrossi alle estremità delle aste e garantendo la resistenza lungo la superficie di scorrimento mediante elementi metallici a gambo cilindrico come chiodi o viti.

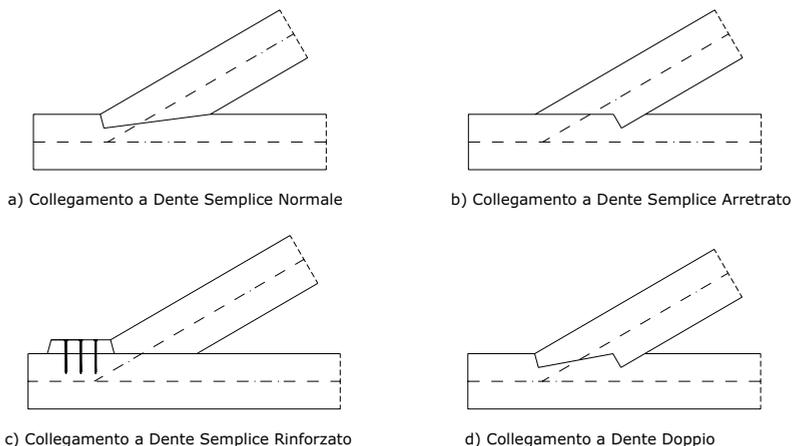


Figura 1.1.

Le principali tipologie di collegamenti tradizionali che possono realizzarsi sono:

- a) collegamento a dente semplice normale;
- b) collegamento a dente semplice arretrato;
- c) collegamento a dente semplice rinforzato;
- d) collegamento a dente doppio.

Nel caso di travature reticolari piane, i nodi che solitamente si realizzano con questa tipologia di collegamenti sono:

- a) nodo puntone – catena;
- b) nodo puntone – monaco;
- c) nodo puntone – saetta;
- d) nodo monaco – saetta.

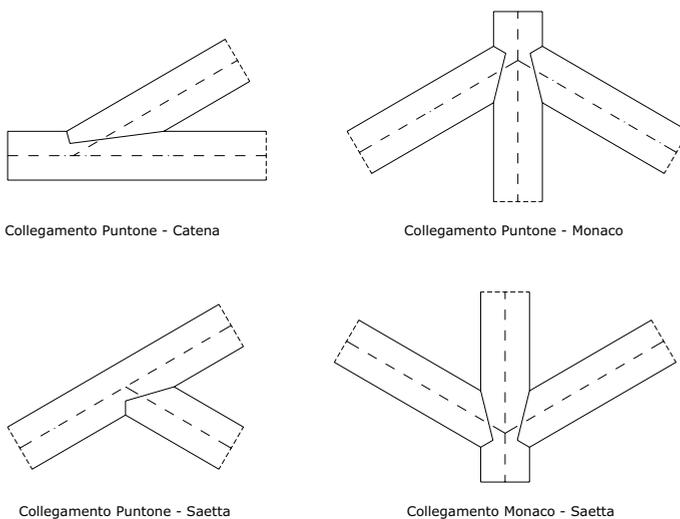


Figura 1.2.

Ciascuna delle succitate tipologie di collegamenti può ulteriormente suddividersi in:

- *unione singola*, se l'intaglio viene eseguito da una sola parte dell'asta principale come nel caso della unione puntone – catena e puntone – saetta;
- *unione simmetrica*, se l'intaglio viene eseguito da entrambe le parti dell'asta principale, come nel caso della unione puntone – monaco e monaco – saetta.

Atteso che, come accennato prima, il comportamento meccanico dei nodi di carpenteria tradizionali è affidato solamente al contatto ed all'attrito tra le superfici accostate, il tipo di vincolo cui può essere ricondotto il nodo è la cerniera propria per cui le uniche sollecitazioni che possono aversi agli estremi di ogni asta sono:

- sollecitazione di sforzo normale;
- sollecitazione di sforzo tagliante.

Nell'asta dove viene realizzato l'intaglio (che nel seguito chiameremo *Asta Principale*) lo sforzo normale può essere di trazione o di compressione, mentre nell'asta dove viene rea-

lizzato il dente (che nel seguito chiameremo *asta laterale*) lo sforzo normale può essere solo di compressione, altrimenti l'asta tenderebbe ad allontanarsi dal nodo.

Lo sforzo tagliante, solitamente è nullo, tuttavia vi sono casi in cui esso assume valori diversi da zero per cui bisogna tenerne conto.

In considerazione di quanto sopra, ai fini del calcolo delle sollecitazioni sulle superfici dell'intaglio, si fanno le seguenti ipotesi:

- lo sforzo normale di compressione esistente nell'asta *laterale* si considera agente lungo l'asse concorrente nel nodo considerato per il calcolo della intera struttura;
- lo sforzo tagliante esistente nell'asta *laterale*, pensato applicato in corrispondenza del succitato nodo, si considera positivo se tende ad aumentare le sollecitazioni di compressione sulle superfici dell'intaglio, negativo se tende a ridurle;
- si trascura l'attrito tra le superfici di contatto dell'intaglio e del dente il che comporta che le sollecitazioni di compressione sulle superfici dell'intaglio sono ortogonali alle superfici stesse.

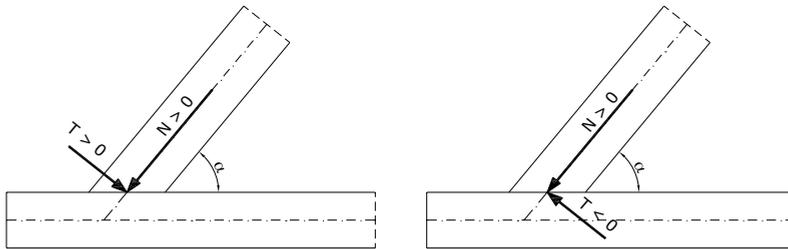


Figura 1.3.

1.2. COLLEGAMENTO A DENTE SEMPLICE NORMALE

1.2.1. Calcolo delle sollecitazioni

In questo tipo di collegamento l'inclinazione ottimale per la superficie intagliata anteriore risulta pari a metà dell'angolo α sotteso dagli assi delle due aste collegate.

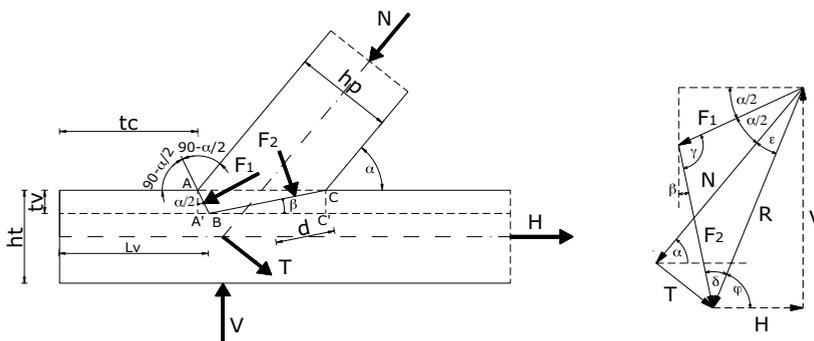


Figura 1.4.

In genere si fissa la profondità dell'intaglio tv in modo da rispettare le seguenti limitazioni:

a) *per le unioni a dente Semplice Singolo:*

$$tv \leq \begin{cases} ht / 4 & \text{per } \alpha \leq 50^\circ \\ ht / 6 & \text{per } \alpha > 60^\circ \end{cases}$$

adottando una interpolazione lineare per i valori intermedi.

b) *per le unioni a dente semplice simmetrico:*

$$tv \leq ht / 6 \quad \text{qualunque sia il valore di } \alpha$$

La risultante R delle sollecitazioni esistenti nell'asta laterale, consistenti nello sforzo di compressione N e nello sforzo di taglio T , si ripartisce sulle superfici dell'intaglio delimitate dai segmenti AB e BC determinando, per le ipotesi precedenti, tensioni normali di compressione.

Applicando il teorema dei seni al triangolo delle forze R , F_1 e F_2 , è possibile ricavare l'intensità delle risultanti delle predette tensioni di compressione; in particolare si ha:

$$F_1 = R \cdot \sin \delta / \sin \gamma; \quad F_2 = R \cdot \sin (\alpha / 2 + \varepsilon) / \sin \gamma$$

Avendosi:

$$R = [N^2 + T^2]^{1/2}; \quad \varepsilon = \arctg (T / N)$$

$$\delta = 90 - (\varphi - \beta); \quad \gamma = 90 - (\beta - \alpha/2); \quad \varphi = \alpha + \varepsilon$$

le due componenti risultano:

$$F_1 = R \cdot \cos (\alpha + \varepsilon - \beta) / \cos (\beta - \alpha/2) \quad (1.1)$$

$$F_2 = R \cdot \sin (\alpha/2 + \varepsilon) / \cos (\beta - \alpha/2)$$

L'angolo β si determina osservando che:

$$\text{tag } \beta = CC' / BC'$$

con:

$$CC' = tv; \quad BC' = AC - A'B$$

in cui:

$$AC = hp / \sin \alpha; \quad A'B = tv \cdot \text{tag } (\alpha/2)$$

1.2.2. Verifiche

Le verifiche che bisogna effettuare in questo tipo di collegamento sono le seguenti.

a) **Verifica a taglio del tallone**

Si deve verificare che la tensione tangenziale di calcolo τ_d che si sviluppa lungo la superficie di potenziale rottura del tallone risulti minore della resistenza di calcolo a taglio, $f_{v,d}$, del legno costituente l'asta principale, cioè si deve verificare se risulta soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$\tau_d = (F_1 \cdot \cos \alpha / 2) / (b \cdot L_v) \leq f_{v,d}$$

dove:

b = larghezza del tallone, uguale alla larghezza dell'asta principale;

L_v = lunghezza del tallone.

La lunghezza L_v del tallone si valuta attraverso la relazione:

$$L_v = tc + A' B = tc + tv \cdot \tan(\alpha/2)$$

Si rileva che la lunghezza del tacco tc che può essere presa in considerazione nelle verifiche non può essere maggiore di $8 tv$, cioè deve risultare, in ogni caso:

$$tc \leq 8 tv$$

La resistenza di calcolo a taglio $f_{v,d}$ si valuta attraverso la relazione:

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot f_{v,k} / \gamma_M$$

dove:

$f_{v,k}$ = resistenza caratteristica a taglio;

γ_M = coefficiente parziale di sicurezza per il legno;

k_{mod} = coefficiente di correzione della resistenza, dipendente dalla classe di servizio della struttura e dalla classe di durata del carico.

b) Verifica a compressione della parte frontale del dente

Bisogna verificare che la tensione normale di calcolo a compressione che insorge nella parte frontale del dente risulti inferiore alla corrispondente resistenza di calcolo.

La tensione di compressione indotta sulla superficie del dente risulta inclinata di un angolo $\alpha' = \alpha/2$ rispetto alla direzione della fibratura, per cui deve essere soddisfatta la seguente condizione:

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

con:

$$f_{c,\alpha',d} = f_{c,0,d} / (f_{c,0,d} / f_{c,90,d} \cdot \sin^2 \alpha' + \cos^2 \alpha')$$

dove:

$\sigma_{c,\alpha',d}$ = tensione normale di calcolo a compressione inclinata di α' rispetto alla fibratura;

$f_{c,\alpha',d}$ = resistenza di calcolo a compressione inclinata di α' rispetto alla fibratura;

$f_{c,0,d}$ = resistenza di calcolo a compressione in direzione parallela alla fibratura;

$f_{c,90,d}$ = resistenza di calcolo a compressione in direzione perpendicolare alla fibratura.

La tensione $\sigma_{c,\alpha',d}$ si ricava per mezzo della relazione:

$$\sigma_{c,\alpha',d} = F_1 \cdot \cos(\alpha/2) / (b \cdot tv)$$

mentre le resistenze $f_{c,0,d}$ e $f_{c,90,d}$ si ottengono dai corrispondenti valori caratteristici utilizzando le seguenti relazioni:

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_M; \quad f_{c,90,d} = k_{mod} \cdot f_{c,90,k} / \gamma_M$$

c) Verifica a compressione della parte posteriore del dente

Bisogna verificare che la tensione normale di calcolo a compressione che insorge nella parte posteriore del dente risulti inferiore alla corrispondente resistenza di calcolo.

In questo caso la tensione di compressione indotta sulla superficie del dente risulta inclinata di un angolo $\alpha' = 90 - \beta$ rispetto alla direzione della fibratura.

Si fa rilevare altresì che in genere la componente F_2 non si distribuisce in maniera uniforme lungo la superficie di contatto individuata dal segmento BC , bensì si hanno tensioni maggiori verso la parte più interna della superficie in prossimità del punto C .

Per tenere conto di questa diversa distribuzione, nella pratica si considera una zona caricata di ampiezza d minore di quella effettiva per cui la tensione di compressione $\sigma_{c,\alpha',d}$ risulta espressa dalla relazione:

$$\sigma_{c,\alpha',d} = F_2 / (b \cdot d)$$

L'ampiezza del tratto d si determina considerando la seguente relazione empirica:

$$d = (0,20 \div 0,80) \cdot tv / \sin \beta$$

adottando i valori più piccoli per le vecchie strutture soggette a manutenzioni.

d) Verifica a sforzo normale dell'asta principale

A causa dell'intaglio per la realizzazione del dente, si ha una riduzione della sezione resistente dell'asta principale, per cui bisogna accertare se la sezione ridotta è in grado di sopportare le sollecitazioni agenti nella sezione.

L'altezza netta della sezione, $h't$, risulta pari a:

- nel caso di Unioni a dente semplice singolo: $h't = ht - tv$;
- nel caso di Unioni a dente semplice simmetrico: $h't = ht - 2 tv$.

Nel caso di sollecitazione assiale di trazione bisogna verificare se la tensione normale di calcolo a trazione, $\sigma_{t,0,d}$, risulta inferiore della corrispondente resistenza di calcolo $f_{t,0,d}$, cioè si deve verificare se risulta soddisfatta la relazione:

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

La tensione $\sigma_{t,0,d}$ si valuta attraverso la relazione:

$$\sigma_{t,0,d} = N / (b \cdot h't)$$

dove:

- N = sollecitazione di trazione esistente nell'asta;
- b = larghezza dell'asta.

La resistenza di calcolo a trazione $f_{t,0,d}$ è fornita dalla relazione:

$$f_{t,0,d} = k_{\text{mod}} \cdot f_{t,0,k} / \gamma_M$$

essendo $f_{t,0,k}$ la resistenza caratteristica a trazione in direzione parallela alla fibratura.

Nel caso di *sollecitazione assiale di compressione* bisogna verificare se la tensione normale di calcolo a compressione, $\sigma_{c,0,d}$, risulta inferiore della corrispondente resistenza di calcolo $f_{c,0,d}$, cioè si deve verificare se risulta soddisfatta la relazione:

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

La tensione $\sigma_{c,0,d}$ si valuta attraverso la relazione:

$$\sigma_{c,0,d} = N / (b \cdot h't)$$

La resistenza di calcolo a compressione $f_{c,0,d}$ è fornita dalla relazione:

$$f_{c,0,d} = k_{\text{mod}} \cdot f_{c,0,k} / \gamma_M$$

essendo $f_{c,0,k}$ la resistenza caratteristica a compressione in direzione parallela alla fibratura.

e) Verifica a taglio dell'asta principale

Nel caso in cui l'asta principale sia soggetta anche a sollecitazione di taglio, bisogna verificare se risulta soddisfatta la relazione:

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

dove:

τ_d = tensione tangenziale massima di calcolo, valutata con la teoria di Jourawski;

$f_{v,d}$ = corrispondente resistenza di calcolo a taglio.

La tensione tangenziale τ_d si valuta attraverso la relazione:

$$\tau_d = 3/2 \cdot T / (b \cdot h't)$$

dove:

T = sollecitazione di Taglio esistente nell'asta;

b = larghezza dell'asta;

$h't$ = altezza netta della sezione.

La resistenza di calcolo a taglio $f_{v,d}$ è fornita dalla relazione:

$$f_{v,d} = k_{\text{mod}} \cdot f_{v,k} / \gamma_M$$

essendo $f_{v,k}$ la resistenza caratteristica a taglio dell'asta principale.

1.3. COLLEGAMENTO A DENTE SEMPLICE ARRETRATO

1.3.1. Calcolo delle sollecitazioni

Con questa tipologia di collegamento si aumenta la superficie resistente a taglio in quanto aumenta la lunghezza del tratto L_V .

L'intaglio viene realizzato con una inclinazione perpendicolare alla direzione del puntone.

Per quanto riguarda le dimensioni di t_v e t_c valgono le stesse limitazioni del caso precedente. La risultante delle tensioni di compressione, F_2 , lungo la superficie di contatto AB risulta parallela allo sforzo N agente nell'asta laterale; la relativa distribuzione presenta valori maggiori in prossimità del punto B a causa della non coincidenza degli assi di sollecitazione; tuttavia nelle verifiche si fa l'ipotesi di una distribuzione uniforme.

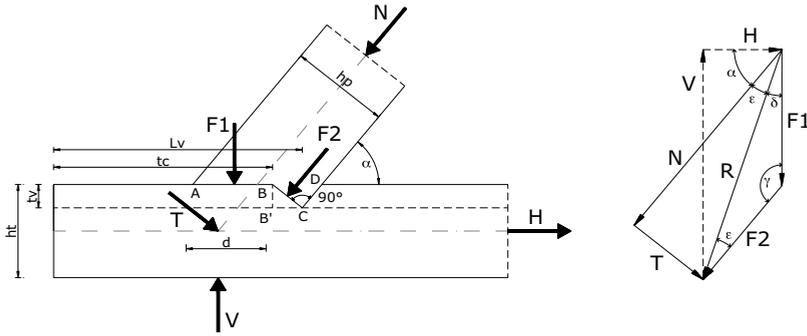


Figura 1.5.

A causa della possibile presenza della sollecitazione di taglio T , bisogna supporre che anche sul tratto AB dell'intaglio insorge uno stato tensionale di compressione avente come risultante F_1 .

Per ricavare l'intensità delle sollecitazioni F_1 e F_2 , basta applicare il teorema dei seni al triangolo degli sforzi R, F_1, F_2 ; in particolare si ha:

$$F_1 = R \cdot \sin \varepsilon / \sin \gamma; \quad F_2 = R \cdot \sin \delta / \sin \gamma$$

Avendosi:

$$R = [N^2 + T^2]^{1/2}; \quad \varepsilon = \arctg (T / N)$$

$$\delta = 90 - (\alpha + \varepsilon); \quad \gamma = 90 + \alpha$$

risulta:

$$\begin{aligned} F_1 &= R \cdot \sin \varepsilon / \cos \alpha \\ F_2 &= R \cdot \cos (\alpha + \varepsilon) / \cos \alpha \end{aligned} \quad (1.2)$$

Si nota che quando la sollecitazione tagliante $T = 0$, risulta:

$$\varepsilon = 0; \quad R = N; \quad F_1 = 0; \quad F_2 = N$$

1.3.2. Verifiche

Per questo tipo di collegamento bisogna effettuare le seguenti verifiche.

a) Verifica a taglio del tallone

Si deve verificare che la tensione tangenziale di calcolo τ_d che si sviluppa lungo la superficie di potenziale rottura del tallone risulti minore della resistenza di calcolo a taglio, $f_{v,d}$, del legno costituente l'asta principale, cioè si deve verificare se risulta soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$\tau_d = (F_2 \cdot \cos \alpha) / (b \cdot L_v) \leq f_{v,d}$$

dove:

b = larghezza del tallone, uguale alla larghezza dell'asta principale;

L_v = lunghezza del tallone.