

Vincenzo Bellomo

STRUTTURE IN LEGNO LAMELLARE

**GUIDA TEORICO-PRATICA ALLA PROGETTAZIONE,
AL COLLAUDO ED ALLA MANUTENZIONE**

AGGIORNATO ALLE NORME UNI EN 1995:2005 EUROCODICE 5,
UNI EN 14080:2005 E UNI EN 350-2:1996



SOFTWARE INCLUSO

CALCOLO E DIMENSIONAMENTO DI STRUTTURE IN LEGNO DI COMUNE USO
(SCHEMI STATICI DI MAGGIOR FREQUENZA)

Glossario (principali termini tecnico-normativi), **F.A.Q.** (domande e risposte sui principali argomenti),
Test iniziale (verifica della formazione di base), **Test finale** (verifica dei concetti analizzati)



GRAFILL

INDICE

PREMESSA	p.	1
1. QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO	"	3
1.1. Introduzione	"	3
1.2. Panoramica sulla normativa.....	"	7
1.3. Termini e definizioni	"	8
1.4. Caratteristiche tecniche dei materiali, secondo NTC 2008.....	"	16
1.5. Verifiche delle sezioni secondo D.M. 14 gennaio 2008.....	"	20
2. TECNOLOGIA DEL LEGNO LAMELLARE	"	31
2.1. Introduzione	"	31
2.2. Produzione del legno lamellare.....	"	34
2.2.1. La materia prima, stoccaggio e parametri necessaria alla produzione	"	36
2.2.2. Taglio e selezionatura delle lamelle, principi base della selezione	"	39
2.2.3. Giunti a pettine.....	"	43
2.2.4. L'incollaggio del legno lamellare.....	"	44
2.2.5. Tossicità degli incollaggi.....	"	47
2.2.6. Pressatura	"	47
2.2.7. Lavorazione.....	"	48
2.3. Sistemi di fissaggio	"	50
2.3.1. Introduzione	"	50
2.3.2. Fissaggio legno-legno e legno-acciaio	"	59
2.3.3. Fissaggio acciaio-calcestruzzo	"	102
2.3.4. Fissaggio con tasselli chimici	"	108
2.3.5. Carrelli	"	118
2.3.6. Protezione delle connessioni e deterioramento.....	"	127
2.4. Durabilità e manutenzione delle strutture in legno.....	"	128
2.4.1. Premessa.....	"	128
2.4.2. Relazione legno-acqua	"	129
2.4.3. Biodegradabilità, durabilità e preservazione.....	"	132
2.4.4. Parassiti del legno	"	134
2.4.5. La durabilità naturale	"	139
2.4.6. Trattamenti del legno	"	148
2.4.7. Dissesti e degrado strutturale	"	151

2.4.8.	La zincatura.....	p.	160
2.4.9.	Controlli nel tempo.....	"	164
2.4.10.	Manutenzione.....	"	169
2.5.	Comportamento al fuoco delle strutture in legno.....	"	172
2.5.1.	Premessa.....	"	172
2.5.2.	Reazione al fuoco.....	"	175
2.5.3.	Resistenza al fuoco.....	"	183
2.5.4.	Trattamento intumescente.....	"	198
3.	TECNICA DEL LEGNO LAMELLARE.....	"	202
3.1.	Introduzione.....	"	202
3.2.	Dimensionamento dei principali schemi strutturali in uso.....	"	202
3.2.1.	Criteri di scelta dello schema strutturale, applicazioni e guida.....	"	202
3.2.2.	Schemi appoggio-appoggio (travi rette rastremate e curve).....	"	214
3.2.3.	Giunti di ripristino.....	"	224
3.3.	Capriate.....	"	227
3.3.1.	Premessa.....	"	227
3.3.2.	Capriate palladiane.....	"	234
3.3.3.	Capriate industriali.....	"	241
3.3.4.	Panoramica sui materiali che costituiscono i giunti e particolari tipo.....	"	250
3.3.5.	Dimensionamento e verifica dei giunti.....	"	255
3.4.	Schema a tre cerniere (archi e portali).....	"	263
3.4.1.	Premessa.....	"	263
3.4.2.	Verifica dei giunti.....	"	265
3.5.	Travi reticolari semplici e complesse.....	"	270
3.5.1.	Premessa.....	"	270
3.5.2.	Scelta del tipo di giunto.....	"	276
3.5.3.	Verifica dei giunti.....	"	279
3.6.	Strutture spaziali.....	"	282
3.6.1.	Premessa.....	"	282
3.6.2.	Scelta del tipo di giunto.....	"	284
4.	COLLAUDO STATICO.....	"	287
4.1.	Certificazioni necessarie al collaudo.....	"	287
4.2.	Collaudo statico delle strutture in legno lamellare.....	"	288
4.2.1.	Analisi preventiva della prova di carico.....	"	288
4.2.2.	Prova di carico.....	"	288
4.3.	Eventuali prove integrative.....	"	289
5.	INSTALLAZIONE ED USO DEL SOFTWARE.....	"	291
5.1.	Note sul software incluso.....	"	291

5.2.	Requisiti hardware e software.....	p.	292
5.3.	Installazione ed attivazione del software.....	"	292
6.	BIBLIOGRAFIA	"	294

TECNOLOGIA DEL LEGNO LAMELLARE

2.1. Introduzione

Le strutture in legno sono, senza ombra di dubbio, la prima forma strutturale elaborata dall'uomo, le prime "abitazioni" infatti erano in legno. Tale rapporto ancestrale tra l'uomo ed il legno si traduce in una sensazione di benessere nel viverlo, spesso nella nostra società il legno entra come "feticcio" ad esempio nei parquet. In altre civiltà contemporanee il legno è ancora protagonista e rappresenta un importante componente del settore costruzioni.

In occidente il legno ritorna protagonista nella cultura delle costruzioni negli anni settanta dello scorso secolo, grazie all'industrializzazione dello stesso, tale sistema viene chiamato legno lamellare. Il legno lamellare è di fatto un prodotto industriale, la sua industrializzazione ha come scopo quello di eliminare alcune delle caratteristiche "sgradite" del legno massello, come ad esempio le lesioni e le spaccature che naturalmente il legno tende ad avere per effetto della disidratazione, oppure l'irregolarità geometrica, tipica del tronco, anche se con alcuni tipi di tagli è possibile ovviare a tale problema (devono essere utilizzati alberi con un tronco molto grande e quindi anche secolari), la presenza di nodi, ammaloramenti e di sacche resinose che con il legno lamellare sono "controllabili", ed infine l'aspetto più importante, la possibilità di "caratterizzare" il materiale, cioè produrre un materiale che abbia mediamente sempre le stesse caratteristiche fisiche e meccaniche.

L'applicazione principale del legno lamellare in occidente ed in Italia fino a qualche anno addietro, consisteva nella sostituzione dell'elemento costruttivo del tetto e della copertura in genere. Le caratteristiche che rendono il legno lamellare superiore a qualsiasi altro materiale per questo tipo di componente edilizio sono:

- leggerezza (peso specifico 450 kg/m³ per legno d'abete);
- flessibilità e basso modulo elastico, che permette di sopportare sollecitazioni dinamiche elevate (anche oltre il carico di progetto);
- resistenza al fuoco (con il processo di carbonizzazione il legno forma una patina di carbone che impedisce di consumarsi in breve tempo);
- economicità, è possibile realizzare forme fantasiose e complesse, anche curve, con un modesto incremento di costi.

Il vantaggio del costruire in legno lamellare si esprime al meglio se l'uso di tale materiale è considerato fin dalla fase preliminare del progetto di una struttura. Il minor peso che la struttura nel suo complesso esercita sul suolo porta notevoli vantaggi; come la minor incidenza sulle fondazioni e sull'iterazione tra terreno e manufatto con la conseguente riduzione delle dimensioni delle fondazioni e delle relative pressioni sul terreno. Tale iterazione influisce sulla durata del manufatto stesso in quanto una tensione fondale notevole, porta nel tempo ad un comportamento plastico dei terreni sciolti e quindi ad un quadro deformativo accentuato che spesso genera fessure e compromette la stabilità e la durata del manufatto. La struttura portante, non sollecitata né

con carichi di notevole entità né con forze puntualmente concentrate, richiede in generale delle dimensioni minori e accorgimenti meno impegnativi.

Il legno lamellare è un prodotto industriale, quindi è un prodotto di un processo di produzione. La produzione del legno lamellare incollato è l'insieme delle operazioni eseguite in appositi stabilimenti, che consistono essenzialmente nella classificazione degli elementi unitari che lo compongono e nella loro ricomposizione, tramite incollaggio, fino a dare origine a elementi di forma e dimensione prestabilita. La certificazione in accordo alla UNI EN 14080, prevede, inoltre, un controllo periodico del processo di produzione, sulle modalità di realizzazione dei giunti a pettine e sulla tenuta dell'incollaggio, mediante prove distruttive eseguite su dei campioni prelevati durante il processo produttivo.

Prima di entrare nello specifico con la produzione del legno lamellare è necessario focalizzare l'attenzione su alcuni termini specialistici, per fare questo, di seguito si riporta una breve descrizione del legno e dei suoi principali termini.

La composizione del tronco di un albero riporta le seguenti definizioni:

- *corteccia esterna*: fisiologicamente è morta, serve come protezione alla pianta e consente gli scambi gassosi necessari alla vita della pianta;
- *corteccia interna (alburno)*: è formata da cellule vive che costituiscono l'apparato circolatorio della pianta consentendo la conduzione dei sali minerali dalle radici alle foglie;
- *libro*: contiene i vasi che conducono il nutrimento sintetizzato dalle foglie ad ogni parte dell'albero;

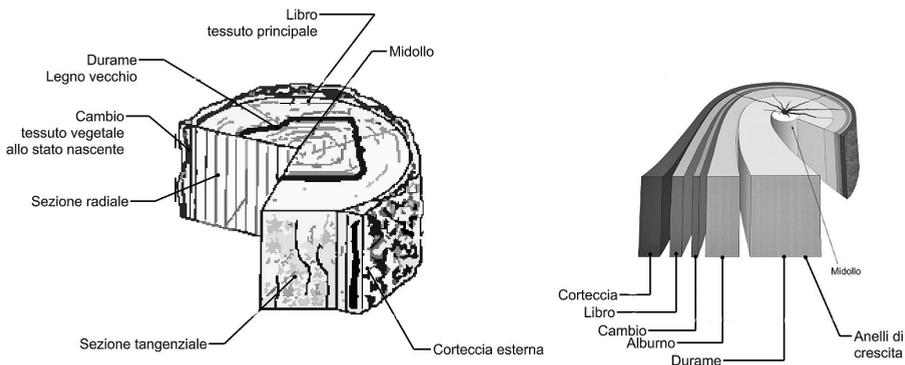


Figura 2.1. Componenti di un tronco

- *cambio*: strato sottile di tessuto responsabile della produzione di nuovo legno, sia verso l'esterno sia verso l'interno;
- *durame*: la parte più interna del tronco è formata da cellule morte a livello commerciale è quella più pregiata, perché essendo la parte più vecchia della pianta è quella più stabile e meno soggetta agli attacchi dei parassiti. Mano a mano che l'albero cresce, l'alburno diventa durame;
- *midollo*: parte centrale del tronco, generalmente poco differenziabile dal durame che lo contiene.

Un altro gruppo di definizioni riguarda i difetti del legno:

- *attaccabilità da microrganismi*, vegetali o animali: sono necessarie delle operazioni di protezione prima della messa in opera come carbonizzazione superficiale, spalmatura o iniezione di sostanze antisettiche;
- *sviluppo anormale del tronco*: il tronco può essere curvo a causa dell'azione del vento, il midollo può essere spostato o doppio;
- *fibre torte*: le fibre non sono parallele all'asse del tronco ma seguono un andamento ad elica, la resistenza è compromessa;
- *nodi*: rami giovani inglobati nel legno, rami morti o spezzati, possono rappresentare un indebolimento del legno; nella classificazione i nodi sono sempre considerati in termini di aderenza al legno circostante e/o di sanità e quindi un nodo comunemente definito "nodo morto" è per la norma un nodo non aderente;
- *nodo aderente*: nodo concresciuto con il legno circostante per più di $\frac{3}{4}$ del perimetro della sezione del nodo;
- *nodo sano*: nodo che non presenta carie;
- *nodo non aderente*: nodo concresciuto con il legno circostante per meno di $\frac{1}{4}$ del perimetro della sezione del nodo;
- *nodo marcio*: nodo alterato da carie;
- *nodo scoperto*: nodo visibile sulla superficie periferica del legno tondo e che non appare sulla superficie periferica del legno tondo;
- *nodo parzialmente aderente*: nodo concresciuto con il legno circostante per meno di $\frac{3}{4}$ e più di $\frac{1}{4}$ del perimetro della sezione del nodo;
- *cipollature*: distacco totale o parziale di due anelli annuali consecutivi;
- *doppio alborno o lunatura*: interposizione tra anelli sani di un anello morto;
- *deformazioni (imbarcamento e ritiro)*: il ritiro dimensionale del legno è un fenomeno inevitabile dovuto alla perdita d'acqua contenuta nell'albero in vita: esso inizia quando l'umidità del legno scende al di sotto del 30% circa del suo peso secco, cioè quando comincia a perdersi "l'acqua di saturazione" assorbita nelle pareti cellulari. In linea generale le essenze dure o pesanti si ritirano maggiormente di quelle tenere o leggere; il ritiro si ripercuote sulla forma dei pezzi essiccati e l'intensità delle contrazioni varia a seconda delle specie legnose e a seconda delle direzioni anatomiche del legno.
Buona parte degli inconvenienti che si lamentano nell'impiego del legno, dipendono dall'imbarcamento: esso è connesso al ritiro ed è in stretta dipendenza della posizione delle tavole nel tronco; è dovuto alla notevole diversità di valori che esiste tra il ritiro tangenziale e quello radiale (il ritiro maggiore si verifica in senso tangenziale, con valore doppio del ritiro radiale, mentre il ritiro longitudinale è pressoché nullo);
- *legno massello*: è quello ottenuto lavorando opportunamente il tronco con macchinari appositi, che tagliano il legno secondo alcuni schemi ben definiti. A questo punto il legname ottenuto viene sottoposto a stagionatura per ridurre il suo tasso di umidità accettabile per la lavorazione;
- *essiccazione naturale*: è il metodo per la diminuzione dell'umidità più eseguito; dopo un certo periodo di tempo le assi sono pronte per essere lavorate;
- *essiccazione artificiale*: Il legno di abete o di larice viene essiccato in camere termodinamiche a controllo climatico automatizzato fino al raggiungimento di una umidità tra l'8 e il 15%;

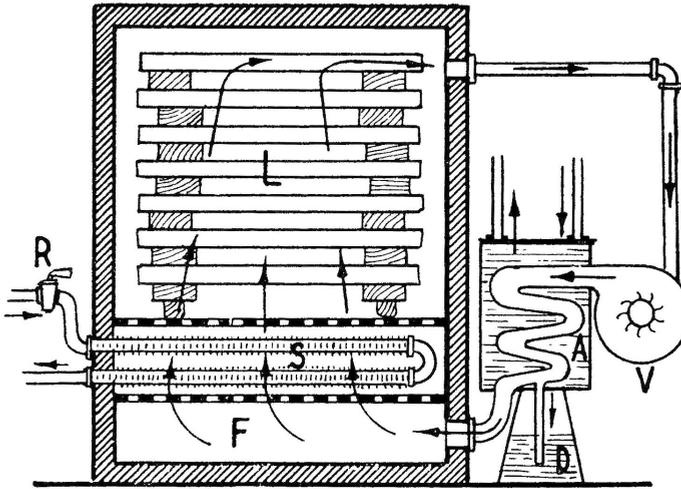


Figura 2.2. Forno di essiccazione

- *foro da insetti*: La norma UNI EN 844-11 definisce “foro da insetti” una galleria o un’apertura nel legno causata da insetti; con “forellino da insetti” viene invece indicato un foro da insetti avente diametro non maggiore di 2 mm; la norma UNI EN 1927 distingue fra \varnothing foro < 3 mm e \varnothing foro > 3 mm;
- *svergolamento*: deformazione elicoidale del segato in direzione della lunghezza.

2.2. Produzione del legno lamellare

Il legno lamellare è un prodotto di filiera, la sua produzione inizia nella scelta della materia prima, questa viene generalmente da alberi in selvicoltura (a tal fine esiste una certificazione *PEFC*), la selezione del segato avviene secondo diversi parametri che vanno dalla posizione del tronco dal quale sono ricavati alla resistenza meccanica delle tavole, il segato ricavato viene generalmente essiccato artificialmente, caricato e spedito agli impianti di incollaggio.

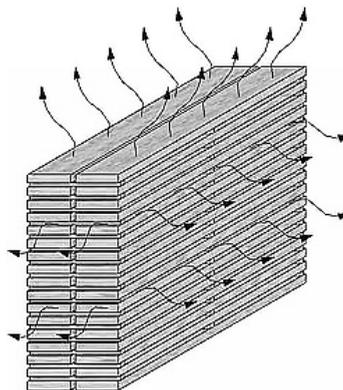


Figura 2.3. Fasi della produzione stoccaggio

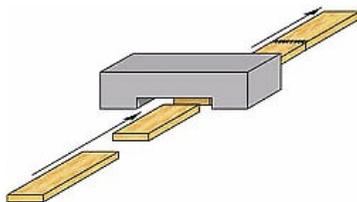


Figura 2.4. Fasi della produzione giuntatura a pettine

L'impianto di incollaggio è caratterizzato da una temperatura ed una umidità controllata (temperatura non inferiore ai 20° e umidità non superiore al 12-15%) il segato grezzo viene stivato e lasciato riposare per almeno 5 giorni per ritornare in equilibrio con l'umidità e la temperatura dello stabilimento. Successivamente avviene una selezione visiva o meccanica dello stesso, la fine di comporre la trave in legno lamellare nella sua principale classificazione, le parti ammalorate, con presenza di sacche resinose, nodi di dimensioni eccessive, e lesioni vengono scartate tramite il taglio della tavola. Dal taglio della tavola si passa alla sua ricucitura che avviene secondo dei giunti incollati chiamati a "dita", in tal modo è possibile ottenere una tavola o lamella, di dimensioni volute in termini di lunghezza e di qualità selezionata, il passo successivo è la piallatura nelle facce orizzontali, che permette un ottimale spargimento della colla, l'incollaggio avviene tramite spalmatura a pettine della colla, alloggiamento in specifiche presse per l'essiccazione, fanno infine parte del processo di produzione pure tutte le operazioni di lavorazione come la piallatura trasversale, le forature le incisioni a gola ecc., che con le normative europee e nazionali devono essere realizzate da stabilimenti certificati (in via transitoria in possesso dell'iscrizione come centro di produzione e trasformazione presso il servizio tecnico centrale). Di seguito si riporta un excursus sulle varie fasi di produzione.

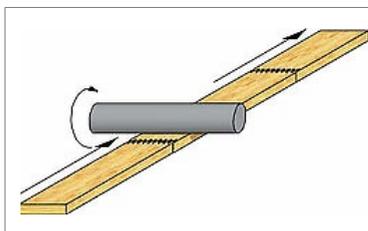


Figura 2.5. Fasi della produzione piallatura tavole

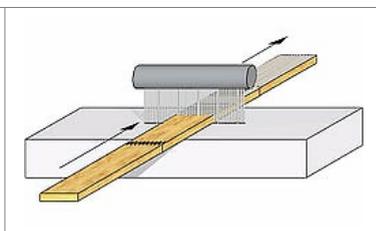


Figura 2.6. Fasi della produzione piallatura passaggio colla

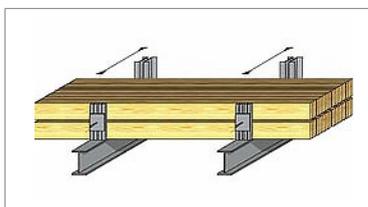


Figura 2.7. Fasi della produzione piallatura pressatura

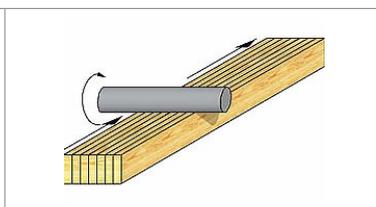


Figura 2.8. Fasi della produzione piallatura piallatura laterale

2.2.1. *La materia prima, stoccaggio e parametri necessaria alla produzione*

Le caratteristiche tecniche del prodotto finito dipendono dal materiale di base. È ovvio che per ottenere risultati attendibili, occorre partire da una materia prima avente caratteristiche il più omogenee e uniformi possibili. Le specie legnose più utilizzate sono le conifere (generalmente provenienti da Austria, Germania, Svizzera e paesi scandinavi); abete rosso, abete bianco, larice, pino e douglasia. In casi particolari vengono utilizzate latifoglie come il castagno e il rovere.

La scelta del tipo di legno è adottata, principalmente, in base all'utilizzo finale che ne viene fatto, in funzione della classe di servizio degli elementi una volta posti in opera, ma ovviamente fattori determinanti sono la semplicità di reperimento sul mercato e il costo della materia prima. Per queste ragioni, fra le specie legnose sopra indicate, le più utilizzate sono certamente l'abete rosso, soprattutto per la notevole diffusione di queste piante e per la grande lavorabilità delle lamelle da esse ottenute, l'abete bianco anch'esso particolarmente diffuso in Europa, anche se meno pregiato dell'abete rosso a causa dell'accrescimento del tronco che avviene in modo irregolare. Altra conifera molto utilizzata è il larice che presenta buoni parametri di resistenza meccanica e di durabilità che lo rendono particolarmente adatto alle strutture per esterni.

Di seguito si riporta una veloce panoramica sulle essenze più utilizzate per il legno lamellare.

2.2.1.1. *L'Abete bianco*

L'abete bianco è una specie sciafila (ombrivaga) e raggiunge altezze di 40 m. La corteccia è grigio-argento-bianco e si stacca in squame angolose. Gli aghi sono piatti ed con la punta smarginata. Sulla pagina inferiore si trovano due strisce longitudinali cerose bianche. Le pigne sono erette e si disgregano con la fuoriuscita dei semi, lasciando sui rami solamente le rachidi nude.

Nonostante la sua scarsa presenza nei boschi austriaci (ca. il 4% in quelli di produzione), l'abete bianco è una specie importante nei boschi misti, per l'apparato radicale profondo e gli aghi velocemente decomponibili (humus). L'albero sviluppa con gli anni una chioma appiattita, definita a nido di cicogna.



Figura 2.9. *Abete bianco, struttura esterna e apparato radicale*

I rami sono verticillati ed inseriti quasi orizzontalmente. Gli abeti bianchi possono raggiungere i 500-600 anni, per l'utilizzazione del legno vengono tagliati a 90-130 anni.

Gli anelli annuali sono chiaramente riconoscibili, con passaggio graduale tra legno primaverile e tardivo. Il legno bianco-giallo, che può anche assumere riflessi grigi o grigio-violetti,

diviene più scuro alla luce del sole. I rami dell'abete bianco hanno una colorazione più scura rispetto a quelli dell'abete rosso, sono circolari e talvolta circondati da anelli neri (spesso nodi cadenti). Il cuore bagnato dell'abete bianco, che compare a volte, nel quale il durame nelle piante appena tagliate ha un contenuto idrico del 100% invece che del 40%, può avere due tipi di cause: nel cuore bagnato degli abeti sani la colorazione bruna causata da batteri, parte solitamente dai rami morti della chioma. Esso si sviluppa all'interno del durame ed ha forma regolare. Un cuore bagnato patologico che, in abeti morenti, si sviluppa da ferite nella parte basale del fusto e si espande verso l'alto, ha invece forma irregolare e penetra fin nell'alburno.

Il legno di abete bianco è pesante come quello dell'abete rosso (massa volumica secca di 410 kg/m³), alcune indicazioni in letteratura lo indicano più leggero. Lo stesso vale per le caratteristiche di resistenza. Possiede una buona stabilità, si ritira mediamente e si spacca particolarmente bene. Si possono applicare bene tutti i processi di trattamento della superficie. L'abete bianco si essicca bene. A causa del possibile cuore bagnato non dovrebbe essere mescolato all'abete rosso (nelle costruzioni incollate esso viene scartato). La tendenza a scheggiarsi può portare a problemi nella lavorazione di profili acuti. Per quanto riguarda la durabilità naturale questo legno rientra come l'abete rosso nella classe 4 (poco durevole), l'impregnabilità è media. Il legno di abete bianco ha una notevole resistenza agli acidi e alle basi.

2.2.1.2. *L'Abete rosso*

È un albero di grandi dimensioni, raggiunge altezze tra i 30 e 50 m, raramente 60 m, con porzioni di fusto prive di rami lunghe fino a 30 m e diametri fino ad 1,5 m. La corteccia è bruno-rossastra nelle piante giovani (per questo abete "rosso"), successivamente diviene sottile, grigio-rossa e si sfalda in piccole squame.

Gli aghi sono appuntiti, inseriti in corrispondenza di piccole protuberanze. Le pigne pendono dai rami e cadono intere dopo la maturazione dei semi.



Figura 2.10. *Abete rosso, struttura esterna e apparato radicale*

Con una quota di circa il 60% nei boschi di produzione austriaci, l'abete rosso è la più importante specie arborea nostrana. Questo porta qualcuno ad ignorare le sue numerose qualità. I fusti sono cilindrici e chiaramente diritti, tuttavia inclini alla fibratura spiralata. Gli abeti possono raggiungere un'età di 600 anni, generalmente vengono tagliati ad 80-120 anni. Spesso è stata criticata la monocoltura dell'abete rosso, che oggi tuttavia in Austria non esiste più.

Il limite tra gli anelli annuali è chiaramente marcato dalla successione del legno tardivo scuro e quello primaverile chiaro, cosa che conferisce al legno un carattere decorativo. L'ampiezza degli anelli e la porzione di legno tardivo possono variare notevolmente con l'età, il luogo e le misure colturali.

La porzione di legno tardivo tuttavia raggiunge al massimo un quarto della larghezza dell'anello. Soprattutto in piante vecchie di alta quota esso può mantenere una larghezza inferiore ad 1 mm per gran parte della sezione radiale. Occasionalmente la fibratura è leggermente ondulata, in questo caso si parla di "abete maschio". Colore e struttura sono determinate dall'ampiezza degli anelli e del legno tardivo e primaverile. Il legno fresco piallato è quasi bianco e lievemente lucente, poiché in esso prevale il chiaro legno primaverile. Il legno tardivo è da giallo a bruno rosato. Il colore di fondo quasi bianco sottoposto alla luce solare tende ad ingiallire e dona successivamente una tonalità color miele.

Il legno di abete rosso è leggero (massa volumica secca di 410 kg/m^3) e tenero (durezza di Brinell di 12 N/mm^2). La velocità con cui adatta la propria umidità a quella dell'ambiente esterno è tuttavia bassa, cosa che gli conferisce una buona stabilità. I valori di ritiro sono generalmente medi. Il legno di abete è facilmente lavorabile, si sfoglia e si taglia altrettanto facilmente fino a quando vi sono rami di piccole dimensioni e in numero contenuto. L'essiccazione è veloce e non problematica. Nel caso essa sia molto repentina si possono formare piccole crepe e nodi cadenti. Il trattamento della superficie non presenta problemi, sebbene le tasche di resina siano da trattare preventivamente.

L'abete rientra nella classe di durabilità 4, sia alburno che durame sono attaccabili da tarli ed *Hylobius*. L'impregnabilità è scarsa per il legno secco. Attacchi batterici (ad es. dopo una lunga permanenza in acqua) possono portare al diverso assorbimento dei prodotti e di conseguenza alla formazione di macchie.

2.2.1.3. *Il Larice*

Il larice ha una crescita rastremata e raggiunge altezze fino a 45 m. La corteccia è grigia e liscia in gioventù. Nelle piante vecchie è spessa e a placche profondamente fessurate, internamente color rosso ed esternamente grigio-bruno. Gli aghi teneri e verde chiaro sono inseriti in fascetti su corti e tozzi rametti. Le pigne piccole hanno portamento eretto e rimangono per anni sulla pianta dopo la caduta dei semi.



Figura 2.11. *Larice, strutture esterna e apparato radicale*

Il larice è un tipico albero di montagna e di boschi misti. La sua corteccia spessa lo protegge dall'urto dei sassi che cadono da monte. È una specie resistente ai freddi invernali, ma non adatta alle località con geli tardivi. La sua presenza nei boschi produttivi austriaci ammonta a circa il 7%. La durata della sua vita raggiunge gli 800 anni, ma viene tagliato tra 100 e 140 anni. L'alburno chiaro del larice è molto sottile, il colore del durame varia fortemente dal bruno chiaro (larice di prato) al rosso bruno intenso. Esso scurisce molto. Il contrasto tra legno primaverile e tardivo all'interno dell'anello è marcato. Il primo può occupare da $\frac{1}{2}$ a $\frac{1}{3}$ dell'ampiezza dell'anello. I piccoli canali resiniferi si trovano principalmente nel legno tardivo. Il legno di larice possiede proprietà di resistenza molto buone, esse sono tuttavia dipendenti dalla località, molto variabili e con esse anche la densità (da 400 a 800 kg/m³), che mediamente è di 550 kg/m³. Il larice è mediamente duro (durezza di Brinell di 19 N/mm²) ed ha una buona stabilità. Il legno di larice si essicca e si lavora bene. Per quanto riguarda il trattamento della superficie è consigliabile un pretrattamento con solventi per resina. A causa dei nodi molto duri e nel caso di fibratura irregolare esiste il rischio di fenditure. Poiché questo legno si spacca facilmente è consigliata la preforatura. Per quanto riguarda la durabilità ai funghi esso si trova nelle classi 3 e 4 (da mediamente a poco durevole) e viene spesso sopravvalutato a causa della grande variabilità. L'impregnabilità del durame è molto difficile, quella dell'alburno media.

2.2.2. *Taglio e selezionatura delle lamelle, principi base della selezione*

Quando i tronchi vengono abbattuti, vengono privati dei rami della corteccia. A questo punto il tronco può essere ridotto ad assi secondo diversi schemi di taglio. L'ideale per ottenere assi di buona qualità, non soggette a imbarcatura è il taglio perpendicolare agli anelli: questo tipo di taglio, chiamato a quarto di ventaglio è quello che economicamente è il più costoso in quanto comporta un alto spreco di materiale. Il taglio più economico è quello radiale, che si manifesta con l'avvicinamento degli anelli: con questo taglio c'è un basso spreco di legname ma solo le assi centrali saranno stabili, quelle più vicine alla periferia saranno soggette a deformazioni.

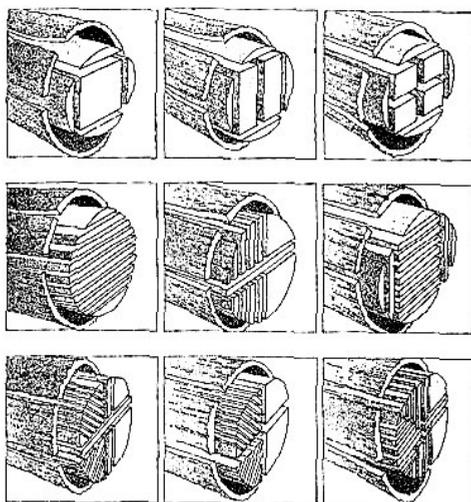


Figura 2.12. *Diversi sistemi di taglio per ridurre il fenomeno dell'imbarcamento*

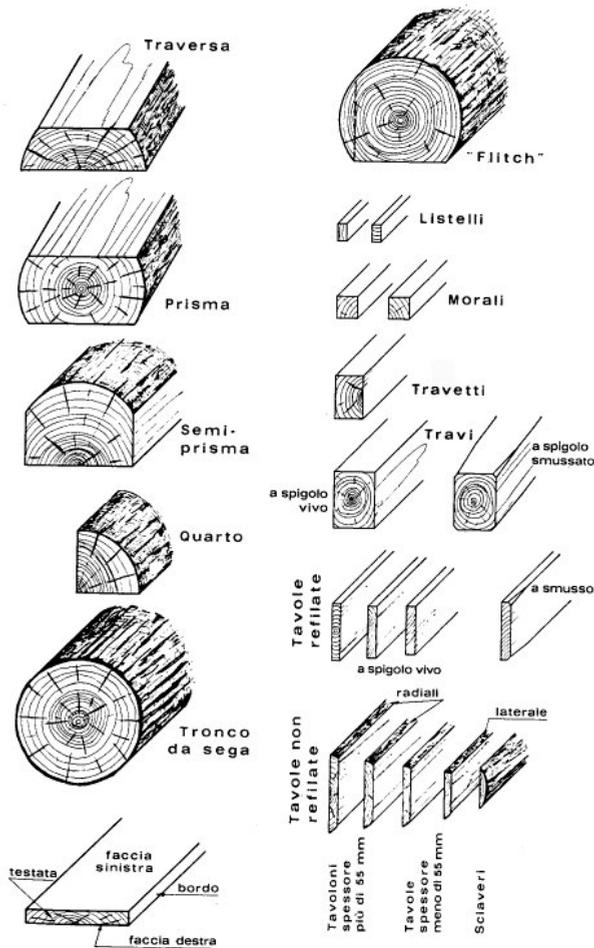


Figura 2.13. Diversi tagli e relativi nomi commerciali

Questi procedimenti di segazione non consentono di ridurre tutto il tronco in tavole mediante un solo passaggio alla sega multilame, perciò risulta più costoso del taglio tangenziale. Il maggior costo però è compensato dalle migliori caratteristiche di indeformabilità e di aspetto che il legname viene così ad assumere: le tavole ottenute secondo tali metodi risultano sempre meglio specchiate e saranno sempre meno soggette a imbarcarsi quanto più la direzione dei tagli sarà prossima a quella radiale. Tuttavia il taglio sul raggio rimane puramente teorico, perché praticamente impossibile.

Un altro taglio adottato per la quasi totalità del legname, dato il minimo costo di produzione, è il taglio tangenziale: si manifesta con una riduzione della lunghezza totale degli anelli, ma le tavole non risultano di qualità e aspetto costanti poiché, mentre la tavola centrale mantiene dritto il proprio asse trasversale e presenta superfici con venature pressoché parallele, le altre tavole sono soggette a imbarcarsi e comportano vaste zone mediane con venature notevolmente diverse da quelle delle zone laterali, a seconda della conicità del fusto e della posizione delle tavole nel

fusto stesso. Le tavole ottenute in segheria vengono classificate in funzione della loro resistenza meccanica, la selezione può avvenire sia visivamente che meccanicamente, le sigle per la classificazione sono con l’anteposizione della lettera “s” per la selezione visiva e con le lettere “ms” per la selezione meccanica secondo la norma DIN 4074:2003, mentre secondo la norma UNI EN 338:2004 tale classificazione sparisce per fare posto alla sola classificazione meccanica. Di seguito si riporta la classificazione del legno massello e delle lamelle secondo le tre norme succedute nel tempo cioè DIN 4074:1958; DIN 4074:2003; DIN 11035 ed la più recente norma EN 338:2004.

Classificazione secondo DIN 4074:2003		III	II	I	MS17	MS13	C50
Classi di resistenza DIN 4074:1958	-	S7-MS7	S10-MS10	S13	-	-	-
Classi di resistenza DIN 4074:2003	-	-	-	-	MS17	-	-
Classi di resistenza DIN 11035	-	S3	S1	-	-	-	-
Classi di resistenza EN338:2004	C14	C16	C22	C30	C40	C45	C50
ρ_k [Kg/m ³]	290	310	320	330	340	370	380
$f_{m,k}$ [N/mm ²]	14	16	18	20	22	24	27
$f_{t,0,k}$ [N/mm ²]	8	10	11	12	13	14	16
$f_{t,90,k}$ [N/mm ²]	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
$f_{c,0,k}$ [N/mm ²]	16	17	18	19	20	21	22
$f_{c,90,k}$ [N/mm ²]	2	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6
$f_{v,k}$ [N/mm ²]	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4	4
$E_{0,mean}$ [N/mm ²]	7000	8000	9000	9500	10000	11000	12000
$E_{90,mean}$ [N/mm ²]	230	270	300	320	330	370	400
$E_{0,05}$ [N/mm ²]	4700	5400	6000	6400	6700	7400	8000
G_{mean} [N/mm ²]	440	500	560	590	630	690	750
Smussi	-	≤ 1/3	-	-	≤ 1/3	≤ 1/4	≤ 1/4
Singolo	-	≤ 3/5	-	-	≤ 2/5	≤ 1/5	≤ 1/5
Gruppo di nodi	-	≤ 3/5	-	-	≤ 2/5	≤ 1/5	≤ 1/5
Sul bordo	-	≤ 3/5	-	-	≤ 2/5	≤ 1/5	≤ 1/5
Ampiezza anelli	-	≤ 6	-	-	≤ 6	≤ 4	≤ 4
Fibratura inclinata	-	≤ 16	-	-	≤ 12	≤ 7	≤ 7
Da ritiro	-	≤ 3/5	-	-	≤ 1/2	≤ 2/5	≤ 2/5
Da gelo, fulmine, cipollature	-	NA	-	-	NA	NA	NA
Bluetature	-	NA	-	-	NA	NA	NA
Care da funghi, bianca bruna, rossa	-	NA	-	-	NA	NA	NA
Canasto	-	≤ 3/5	-	-	≤ 2/5	≤ 1/5	≤ 1/5
Fori da insetti da legno	-	*	-	-	*	*	*
Arcuatura (mm ogni 2 m)	-	≤ 12	-	-	≤ 8	≤ 8	≤ 8
Svergolamento (mm ogni 25 mm)	-	≤ 2	-	-	≤ 1	≤ 1	≤ 1
Midollo	-	A	-	-	A	NA	NA

A = ammesso/e; NA = non ammesso/e; * fino a 2 mm.

Tabella 2.1.

La classificazione del legno lamellare secondo le classi di resistenza viene costruita in funzione delle assi (lamelle) di cui la trave ne è composta, di seguito si riporta la distribuzione consentita per la costruzione delle sezioni in legno lamellare a partire dalle tavole, secondo la norma DIN 1052:2004

Classificazione secondo la norma DIN 1052:2004				
Legno lamellare omogeneo		Legno lamellare combinato		
Classe di resistenza		Classe di resistenza		
Del legno lamellare	Delle lamelle	Del legno lamellare	Delle lamelle interne	Delle lamelle esterne
GL24h	C24 interno 10% C16 ^(a)	GL24c	C16	C24
GL28h	C30 interno 10% C24 ^(a)	GL28c	C24 interno 10% C16 ^(a)	C30
GL32h	C35 interno 10% C30 ^(a)	GL32c	C24 interno 10% C16 ^(a)	C35
GL36h	C40 interno 10% C35 ^(a)	GL36c	C35 interno 10% C30 ^(a)	C40

^(a) Per il legno lamellare con prevalente sollecitazione di flessione sugli spigoli piatti delle lamelle, le lamelle interne, in un'area del 10% dell'altezza della sezione trasversale intorno all'asse neutro della sezione trasversale, possono appartenere a una classe di resistenza inferiore.

Tabella 2.2.

Per quanto riguarda lo spessore la normativa non fissa la lunghezza minima delle assi, ne limita solo lo spessore e la sezione trasversale (vedi tabella seguente). Massimo spessore finito t e massima area A della sezione trasversale delle lamelle da utilizzare nelle strutture in funzione delle classi di servizio.

	Classe di servizio 1		Classe di servizio 2		Classe di servizio 3	
	t mm	A mm ²	t mm	A mm ²	t mm	A mm ²
<i>Tipo di specie</i>						
Conifere	45	12 000	45	12 000	35	10 000
Latifoglie	40	7 500	40	7 500	35	6 000

Tabella 2.3.

Nella pratica costruttiva le lamelle hanno uno spessore finito di 40 mm. per elementi costruttivi retti, i quali non siano esposti a variazioni climatiche rilevanti (classe di servizio 1 e 2); mentre viene ridotto a 33 mm per elementi posti in opera in classe di servizio 3. La larghezza è pari a quella della sezione trasversale dell'elemento strutturale, normalmente variabile fra 10 e 24 cm, con variazioni modulari di 2 cm e lunghezza delle lamelle di 400-500 cm. Nelle travi curve, per limitare le tensioni di curvatura che possono nascere in direzione sia parallela sia normale alle fibre, il raggio di curvatura degli elementi strutturali deve essere pari almeno a 200 volte lo spessore delle singole lamelle.

2.2.3. Giunti a pettine

La continuità tra i “tranci” di tavole selezionate viene ripristinata tramite un giunto incollato detto a dita, le caratteristiche geometriche, la concentrazione della colla e la pressione di incollaggio sono fissate dalla norma DIN 68140 e DIN 1052:2004, di seguito si riporta lo schema geometrico.

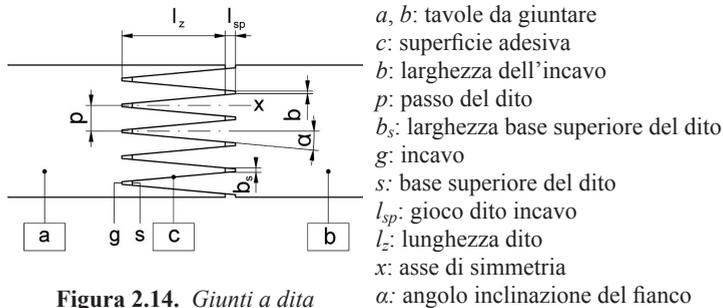


Figura 2.14. Giunti a dita

Fissati i parametri:

$v = \frac{b}{p}$; $e = \frac{l_{sp}}{l_z}$, le regole geometrica di base sono:

- per $l_z = 10$ mm la suddivisione della tavola deve essere $l_{min} = 3,6 p (1 - 2v)e$;
- per $l_z > 10$ mm la suddivisione della tavola deve essere $l_{min} = 4 p (1 - 2v)$;

mentre gli angoli di inclinazione del fianco deve essere:

- per $l_z = 10$ mm;
- per $l_z > 10$ mm, in tutti i casi deve essere.

La selezione delle tavole, in un materiale di origine naturale è del tutto casuale, la distribuzione dei giunti di continuità nella lunghezza dell'elemento in legno lamellare, rispetterà la stessa legge, risulta quindi impossibile stabilire una distanza minima tra i giunti, tuttavia, la coincidenza di più di un giunto in termine di allineamenti deve far preoccupare l'acquirente, in questo caso è evidente che è stata effettuata una forzatura della produzione o una mancata selezione delle tavole stesse.

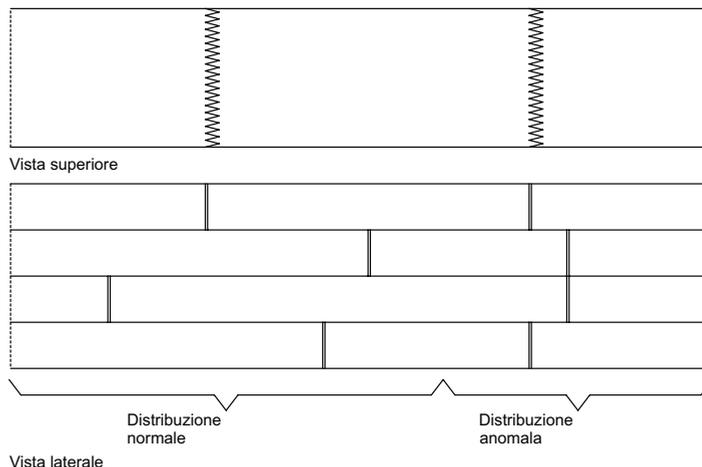


Figura 2.15. Vista laterale di una trave in legno lamellare, distribuzione dei giunti normale ed anomala

2.2.4. L'incollaggio del legno lamellare

Le colle e le operazioni di incollaggio costituiscono una fra le operazioni più importanti e delicate dal punto di vista operativo e tecnologico. Gli incollanti devono instaurare legami intermolecolari fra la colla stessa e le sostanze che costituiscono il legno, cioè le fibre di cellulosa e lignina, in modo da garantire, nel piano di incollaggio, lo stesso legame della corrispondente essenza legnosa. Le resistenze fisico-meccaniche del collante devono essere almeno eguali a quelle del legno, in modo che i piani di incollaggio non siano piani preferenziali di rottura.

L'applicazione della colla sulle lamelle avviene automaticamente e il sistema attualmente più utilizzato è quello della cosiddetta "incollatrice a fili" (figura 2.16) che consente di ottenere la realizzazione di un piano di incollaggio con distribuzione abbastanza uniforme della colla.



Figura 2.16. Passaggio della colla prima della pressatura

La norma UNI EN 301 specifica una classificazione degli adesivi destinati unicamente alla produzione di strutture portanti in legno in funzione della loro idoneità all'utilizzo in condizioni di esposizione climatica definite e precisa i requisiti prestazionali applicabili a detti adesivi.

Nella norma sono classificati due tipi di adesivo (*I* e *II*) in funzione della loro idoneità all'impiego in presenza di determinate condizioni climatiche e più precisamente:

- *Adesivi del Tipo I*, in grado di sopportare una piena esposizione alle intemperie e di resistere a temperature superiori a 50° C;
- *Adesivi del Tipo II*, che possono essere usati in edifici riscaldati e ventilati o in applicazioni esterne protette. Questi possono sopportare brevi periodi di esposizione alle intemperie o in condizioni atmosferiche sfavorevoli, ma non resistere a temperature di esercizio superiori a 50° C.

Le colle più comunemente usate nella pratica costruttiva sono:

- **Adesivi urea-formaldeidici (U F)**

Il gruppo urea-formaldeide comprende una serie di adesivi molto versatili che possono essere commercializzati sia in polvere, che in forma liquida. Questi si induriscono a tutte le temperature, purché superiori a 10°C e la velocità di indurimento può essere facilmente modificata in base alle esigenze del processo produttivo. Solamente alcuni speciali adesivi ureo-formaldeidici a freddo sono considerati idonei all'uso strutturale. Il loro limite

risiede nella scarsa durabilità nei confronti dell'acqua e del calore e nella sensibilità verso le alte temperature raggiungibili in corso d'incendio che tendono a delaminarli. Sono adesivi che necessitano di una carica inerte come riempitivo, in assenza della quale tendono a fratturarsi. In base ai requisiti richiesti dallo UNI EN 301, questi adesivi appartengono al tipo 2 e vengono impiegati per la produzione di legno lamellare e per finger joint destinati ad un impiego all'interno. L'adesivo è idoneo all'indurimento mediante radiofrequenza. Le linee di colla si presentano con una colorazione chiara.

– **Adesivi fenolo-formaldeidici (PF)**

Sono adesivi molto alcalini forniti sia in forma liquida, sia in polvere, ma anche sotto forma di pellicola. Si possono avere adesivi fenolo-formaldeidici con indurimento a caldo o a freddo. Nei primi l'indurimento avviene mediante l'esposizione a temperature comprese tra i 110° e i 140°C e, solo per taluni prodotti, combinando l'azione della temperatura ad un indurente a base di formaldeide. Negli adesivi fenolo-formaldeidici a freddo, l'indurimento deve invece avvenire necessariamente in ambiente acido: viene disciolto l'adesivo in soluzione alcolica e successivamente indurito mediante l'aggiunta di un acido forte. È importante ricordare che in corrispondenza della linea di colla le superfici lignee possono essere danneggiate dalla presenza dell'acido. Questa categoria di adesivi è completamente resistente all'acqua, (anche salmastra), alla bollitura, all'esposizione agli agenti meteorici e se esposti alle alte temperature di un incendio, non tendono a delaminarsi. Gli adesivi PF con indurimento a caldo, pur essendo utilizzati nella produzione di pannelli compensati per uso marino, non sono conformi alle indicazioni dello UNI EN 301. Discorso a parte va fatto per gli adesivi PF con indurimento a freddo: pur rientrando nei criteri di conformità della UNI EN 301 è stato verificato che alcuni elementi strutturali realizzati in passato con questo tipo di adesivo, a distanza di molti anni dalla messa in opera, sono collassati. In realtà non si conosce bene la motivazione, ma si ritiene ragionevolmente che la causa sia da ricercare nel danno prodotto dagli effetti dell'acido sul legno in corrispondenza dell'interfaccia adesivo-legno, con conseguente perdita di adesione tra gli elementi.

– **Adesivi melammina-urea-formaldeidici (MUF)**

Gli adesivi MUF derivano chimicamente dagli adesivi UF nei quali viene sostituita una certa percentuale di urea con una equivalente di melammina, allo scopo di rendere l'adesivo più durabile nei confronti dell'umidità ambientale e quindi degli agenti meteorici. Sono commercializzati per incollaggi a freddo, utilizzati in combinazione con adesivi a caldo per la produzione di lamellari incollati e finger-Joint e, ancora, per incollaggi a caldo mediante pressatura per la produzione di compensati. Solamente gli adesivi utilizzabili a freddo sono conformi ai requisiti dello UNI EN 301, rientrando generalmente nella tipologia 2.

– **Adesivi (fenolo) – resorcinolo – formaldeidici (Prf – Rf)**

Adesivi adatti a incollaggi molto forti, duraturi, resistenti all'acqua (anche salmastra), alla bollitura ed agli agenti meteorici, sono costituiti da due componenti: il resorcinolo e la formaldeide. L'induritore può contenere cariche che conferiscono il carattere “ri-

empitivo” all’adesivo. Parte del resorcinolo, visto l’elevato costo, viene generalmente sostituito con fenoli di minor costo (adesivi fenolo-resorcinolo-formaldeidici). Le linee di incollaggio si presentano molto scure, di spessore compreso tra 1 mm e 2mm (quest’ultimo solo per gli adesivi caricati) ed il prodotto ben si adatta ad indurimento con radiofrequenza. Caratteristica da non sottovalutare è la mancanza di emissioni di formaldeide o di altre sostanze una volta avvenuta la reazione e la conformità ai requisiti previsti dalla UNI EN 301.

– **Adesivi Poliuretanic (Pu) monocomponenti**

L’adesivo sfrutta la capacità del componente reattivo (isocianato) di reagire inizialmente con l’umidità del legno per formare, dopo uno breve sequenza di reazioni, una resina poliuretanica. Il processo reattivo sviluppa anidride carbonica che si traduce nel caratteristico aspetto schiumoso in corrispondenza della linea d’incollaggio. Hanno una buona resistenza ed una buona durabilità, ma non per tutti è ancora certa la durabilità agli agenti meteorici.

– **Adesivi Poliuretanic (Pu) bicomponenti**

La natura dell’adesivo è simile a quella del monocomponente, ma in questo caso il componente reattivo (isocianato) non reagisce con l’umidità del legno, ma necessita di un secondo componente (alcool). Le proprietà di resistenza e durabilità sono del tutto simili a quelle degli adesivi Pu monocomponenti. I vantaggi dell’impiego risiedono nello stoccaggio più lungo, senza che il prodotto rischi di alterarsi e nella facilità di manutenzione e gestione dell’impianto d’incollaggio.

– **Adesivi epossidici**

Si tratta di adesivi a due componenti formati da una resina epossidica ed un indurente (costituito generalmente da ammine). Lo caratteristica è quella di avere un’ottima resistenza, ma ancora poco si conosce del loro comportamento nel tempo e nei confronti degli agenti meteorici. Sono adesivi che necessitano di un tempo di reticolazione ed un successivo tempo di maturazione che varia in funzione del tipo di prodotto, delle condizioni ambientali e del quantitativo utilizzato per l’incollaggio. Sono molto riempitivi e, in misura contenuta (porre attenzione alle indicazioni del produttore), caricabili per modificarne leggermente lo viscosità e la colorazione. Il metodo di produzione delle resine è tale da poter confezionare tipologie di resina specifica per l’incollaggio di materiali diversi. Nel settore del legno, le resine epossidiche si adattano all’incollaggio di legno con legno, metallo, plastiche, fibre di carbonio, vetroresina ecc. In passato è stato utilizzato come “betoncino” per il consolidamento di parti degradate di strutture lignee, mentre oggi si preferisce impiegarlo solamente come adesivo per evitare problemi di incompatibilità fra grandi quantitativi di materiali diversi (le resine epossidiche sono molto stabili e rigide mentre il legno è un materiale elastico che vario la sua dimensione in relazione al contenuto idrico) e di ebollizione durante la reticolazione (la reazione tra componenti sviluppa alte temperature che, se utilizzati grandi volumi di prodotto, possono mandare in ebollizione la resina stessa con sviluppo di bolle che comprometterebbero l’incollaggio). Generalmente sono adesivi dall’alto costo utilizzati nel settore strutturale per le riparazio-

ni ed i consolidamenti in opera di parti lignee degradate o per l'incollaggio di elementi di diversa natura" (metallo, plastica, ...).

2.2.5. Tossicità degli incollaggi

Il problema della tossicità dei prodotti è una questione sentita da anni ma che solamente da alcuni decenni influenza tutto il mercato.

In particolare, nel settore degli adesivi per il legno ci si riferisce principalmente agli effetti legati all'emissione di formaldeide (sostanza considerata pericolosa per gli effetti indotti sull'apparato respiratorio sia a breve, sia a lungo termine).

La formaldeide, una sostanza chimicamente molto semplice (la più semplice delle aldeidi, con formula chimica CH_2O) e in soluzione acquosa al 37%, è commercializzata con il nome di formalina. Molto solubile in acqua, si presenta come un gas con punto di ebollizione a -21°C . Grazie alla sua forte reattività chimica, alla sua azione biocida, al costo relativamente basso e alla facilità d'impiego, è utilizzata in molti settori produttivi dell'industria. In particolare, nel settore del legno, costituisce la molecola di partenza per la produzione di adesivi ureici, fenolici, melamminici e resorcinolici. È una sostanza molto volatile, classificata come sostanza a sospetto di cancerogenicità, che manifesta la sua pericolosità soprattutto a carico delle vie respiratorie, dove si manifesta con effetti irritanti ormai noti, indotti anche da basse concentrazioni nell'ambiente (da $0,01 \text{ mg/cm}^3$. Dati da: dott. Franco Bulian¹).

Il processo di volatilizzazione dovuto a idrolisi, nella maggior parte dei casi, non si ferma con l'indurimento dell'adesivo, ma si protrae a lungo rilasciando nell'ambiente quantità di formaldeide spesso superiori ai limiti accettabili.

La regolamentazione dell'impiego della formaldeide, fino al 2008, era limitata alla Circolare n. 57 del Ministero della Sanità, pubblicata nel 1983 che riportava relativamente ai "rischi connessi alle possibili modalità di impiego".

Con il decreto del Ministero del lavoro, della salute e delle politiche sociali 10 ottobre 2008, n. 288 pubblicato sulla G.U.R.I. 10-12-2008, e successiva Circolare esplicativa del Ministero del lavoro, della salute e delle politiche sociali dell'agosto 2009, indirizzata agli organi competenti regionali, si stabiliscono alcune disposizioni legate alla produzione, l'importazione ed il commercio di pannelli e manufatti prodotti mediante l'impiego di formaldeide, basato sul principio che "[...] ai fabbricanti ed agli importatori spetta l'obbligo di immettere sul mercato e/o utilizzare sostanze che non arrechino danno alla salute umana".

L'articolo 2 del decreto stabilisce che non possono essere immessi nel mercato pannelli a base di legno o manufatti con concentrazioni di equilibrio di formaldeide superiori a $0,124 \text{ mg/m}^3$, pari a 0,1 ppm (Classe E1). Tali concentrazioni vanno misurate con una serie di prove imposte ed indicate dall'articolo 3 dello stesso decreto.

2.2.6. Pressatura

Per realizzare l'incollaggio fra le lamelle bisogna sottoporre l'elemento strutturale a una pressione il più possibile uniforme; tale operazione viene effettuata in apposite presse (figure 2.17-2.21).

¹ Bulian Franco, *Materiali e tecnologie dell'industria del mobile*, Edizioni Goliardiche, 2011.

Le presse sono costituite da una struttura fissa sulla quale si fa agire un meccanismo di pressatura costituito normalmente da martinetti idraulici o pneumatici.

L'operazione di posizionamento delle lamelle e di chiusura della pressa deve essere fatta il più rapidamente possibile, onde evitare che la colla cominci a indurire. Per la chiusura delle presse si procede dal centro verso le estremità.

Le travi così realizzate rimangono in pressa per un periodo di 12 ore o più, secondo il tipo di colla, la temperatura e la forma della trave. La temperatura ambiente non deve comunque essere mai inferiore a 18° C.

In caso di travi curve, si utilizza un'altra pressa dotata di guide mobili che vengono posizionate secondo una sagoma precedentemente disegnata sul suolo. Dalla descrizione delle fasi di produzione fin qui condotta si intuisce l'importanza del condizionamento dei locali di produzione: il legname non deve variare il proprio contenuto idrometrico durante la produzione delle travi poiché il processo chimico che sta alla base della polimerizzazione delle colle è fortemente influenzato dalle condizioni termo-igrometriche dell'ambiente in cui esso avviene.

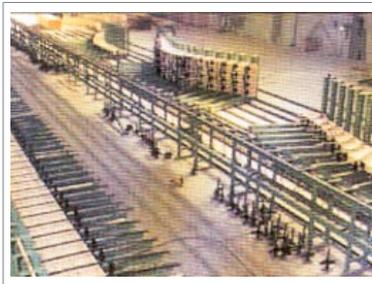


Figura 2.17. *Letti di pressa*



Figura 2.18. *Pressatura*



Figura 2.19. *Particolare pressatura*



Figura 2.20. *Letto di pressa trave curva*



Figura 2.21. *Particolare pressatura trave curva*

2.2.7. Lavorazione

Rimosse dalla pressa le travi sono lasciate 1-2 giorni a riposo all'interno dello stabilimento. Quindi fatte passare dentro una pialla fissa di forte capacità in modo da dare all'elemento lo spessore finito e rendere uniformi e lisce le superfici laterali e conferire all'elemento ligneo la necessaria regolarità geometrica.



Figura 2.22. *Piallatura laterale della trave*

Le altre operazioni di lavorazione consistono nel perfezionamento visivo dell'elemento ligneo, con rattoppi e protesi nella stessa essenza e talvolta la stuccatura.

La parte più delicata delle lavorazioni, in quanto incide sulla precisione delle connessioni e sul gioco dei giunti, è la foratura, il taglio a progetto e il taglio di gola a scomparsa per l'alloggiamento dei giunti metallici, delle barre o degli spinotti metallici.

Spesso tali operazioni sono automatizzate tramite l'uso di pantografi industriali, che riducono i tempi di lavorazione e aumentano la precisione della lavorazione stessa, tuttavia tali macchine hanno un limite nella dimensione dell'elemento, generalmente sono indicate per piccoli tetti e verande.

Un passo successivo è l'impregnazione del legno, l'importanza di tale processo verrà discussa più avanti, tale operazione può avvenire sia a mano che automatica, in tal caso è indubbio il vantaggio di una impregnazione automatica che spesso essendo in pressione aumenta la profondità di penetrazione dell'impregnante.

Spesso per le strutture complesse necessitano di una ulteriore fase detta pre-assemblaggio, nel quale la struttura viene assemblata in stabilimento per controllare eventuali errori geometrici, controllare i cedimenti anelastici, e a volte poter effettuare un collaudo statico degli elementi complessi.



Figura 2.23. *Pre-assemblaggio in stabilimento di una struttura ad archi*



Figura 2.24. *Pre-assemblaggio in stabilimento di una struttura ad archi*

2.3. Sistemi di fissaggio

2.3.1. 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.

Per il dimensionamento e la relativa verifica delle connessioni metalliche la normativa nazionale (NTC 2008) si rifà all’eurocodice 5, esattamente alla sezione 8. Prima di affrontare l’argomento nella sua totalità è necessario parlare dell’effetto di gruppo, che, nel procedimento di calcolo successivamente illustrato, verrà più volte richiamato. Un insieme di connessioni metalliche (siano essi bulloni, barre o viti) se disposte in maniera allineata lungo la direzione della fibratura, nonostante rispettino le distanze minime tra i vari elementi, subiscono un “effetto di gruppo”, una ridu-

zione, cioè, della resistenza del singolo elemento. Tale riduzione varia in funzione della distanza relativa degli elementi, e in funzione del numero di elementi presenti in un filare. Il principio si applica a tutte le connessioni che utilizzano mezzi a gambo cilindrico. Il principio fisico è quello della “rottura del blocco” (la connessione si rompe in maniera tale da distaccare il blocco o filare di elementi metallici). Il metodo di verifica dell’eurocodice 5 di seguito descritto pone determinate condizioni di partenza per la determinazione della resistenza per via sperimentale.

A meno che regole specifiche non vengano fornite, la capacità portante caratteristica e la rigidezza delle connessioni devono essere determinate tramite prove conformi alle EN 1075, EN 1380, EN 1381, EN 26891 e EN 28970. Se le norme pertinenti descrivono prove a trazione e compressione, le prove per la determinazione della capacità portante caratteristica devono essere eseguite a trazione.

Per il metodo di verifica sono riportate le seguenti condizioni affinché il calcolo sia valido:

- la disposizione e le dimensioni dei mezzi di unione in una connessione, nonché l’interasse fra mezzi di unione e le distanze dal bordo e dalle estremità, devono essere scelti in modo tale da ottenere la resistenza e la rigidezza attese;
- deve essere tenuto conto che la capacità portante di una connessione con mezzi di unione multipli, consistente di mezzi di unione tutti dello stesso tipo e dimensioni, può essere più bassa della somma delle individuali capacità portanti di ciascun mezzo di unione;
- quando una connessione include tipi differenti di mezzi di unione, oppure quando risulta differente la rigidezza delle connessioni, nei rispettivi piani di taglio di una connessione a piani di taglio multipli, si raccomanda che la compatibilità di tali mezzi di unione sia verificata.

Per una fila di mezzi di unione disposti parallelamente alla direzione della fibratura, si raccomanda che la capacità portante caratteristica efficace in direzione parallela alla fila, $F_{v,ef,Rk}$, sia assunta come:

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

Dove:

- $F_{v,ef,Rk}$ è la capacità portante caratteristica efficace di una fila di mezzi di unione disposta parallelamente alla direzione della fibratura;
- n_{ef} è il numero efficace di mezzi di unione in linea, parallelamente alla fibratura;
- $F_{v,Rk}$ è la capacità portante caratteristica di ciascun mezzo di unione, parallelamente alla fibratura.

Valori di n_{ef} per file parallele alla fibratura sono spiegate successivamente. Per una forza agente in direzione inclinata rispetto alla direzione della fila, si raccomanda che sia verificata che la componente della forza parallela alla fila sia minore o uguale alla capacità portante calcolata secondo la precedente espressione. Nel caso di connessioni con piani di taglio multipli, si raccomanda che in tali connessioni la resistenza di ciascun piano di taglio sia determinata assumendo che ciascun piano di taglio sia parte di una serie di connessioni fra triplete di elementi.

L’Eurocodice 5 definisce dei “modi di rottura”, dei cedimenti dei nodi per tre fenomeni principali: rifollamento dell’elemento più debole (modi a, b, c, g, h), piegatura per taglio del gambo cilindrico (modi d, e, f), formazione di cerniere elastiche multiple per effetto del cedimento per momento flettente presente nella barra (modi j, k). Per essere in grado di combinare la resistenza

derivante dai singoli piani di taglio in una connessione con piani di taglio multipli, si raccomanda che i modi di rottura dei mezzi di unione nei rispettivi piani di taglio siano fra loro compatibili e non consistano in una combinazione di modi di rottura *a*, *b*, *g* e *h* raffigurati nella precedente figura oppure di modi *e*, *f* e *j/l* per la rottura tra acciaio-legno con altri modi di rottura raffigurati nella successiva immagine.

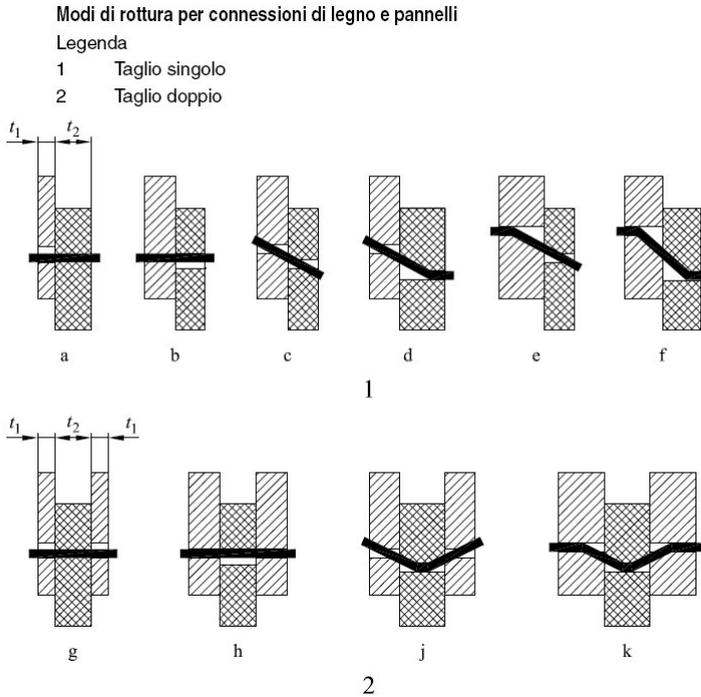


Figura 2.25. Modi di rottura definiti dall'Eurocodice 5 giunti legno-legno

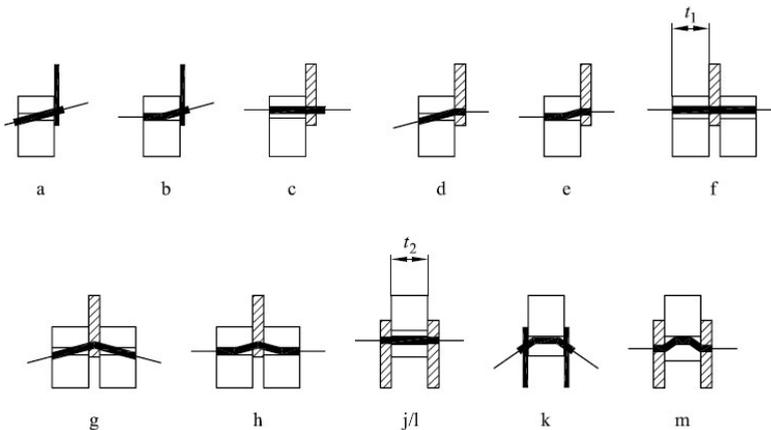


Figura 2.26. Modi di rottura definiti dall'Eurocodice 5 giunti legno-acciaio

Quando una forza in una connessione agisce in direzione inclinata rispetto alla fibratura, (vedere la figura successiva), deve essere presa in considerazione la possibilità di rottura per spacco causata dalla componente a trazione della forza, $F_{Ed} \sin \alpha$, perpendicolare alla fibratura.

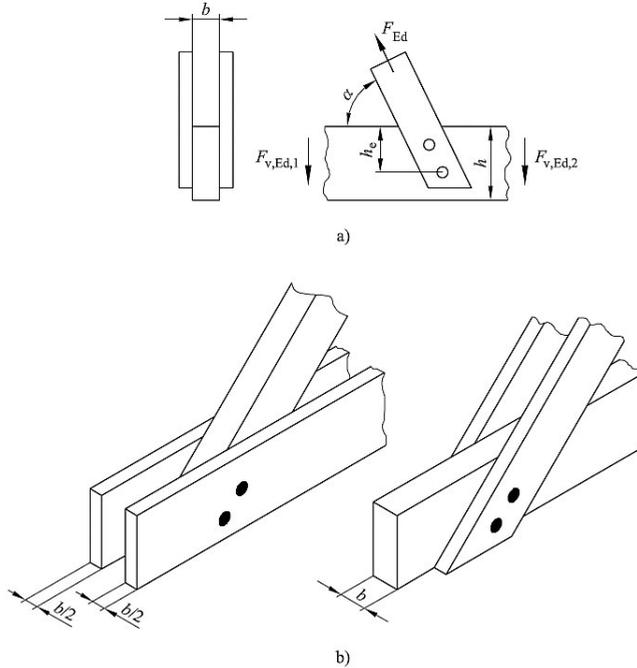


Figura 2.27. Eurocodice 5 inclinazione elementi e nomenclatura dimensioni necessarie al calcolo

Per tenere conto della possibilità di rottura per spacco causata dalla componente a trazione della forza, $F_{Ed} \sin \alpha$, perpendicolare alla fibratura, deve essere soddisfatta la condizione che segue:

$$F_{V,ED} \leq F_{90,RD}$$

Con:

$$F_{V,ED} = \max \begin{cases} F_{V,ED,1} \\ F_{V,ED,2} \end{cases}$$

Dove:

- $F_{90,RD}$ è la capacità a rottura per spacco di progetto, calcolata dalla capacità caratteristica a rottura per spacco $F_{90,Rk}$ secondo il punto 2.4.3; nella fattispecie l'applicazione diretta diventa:

$$F_{90,RK} = K_{\text{mod}} \frac{F_{90,k}}{\gamma_M}$$

- $F_{90,k}$ è il valore caratteristico della capacità portante;
- γ_M è il coefficiente parziale per una proprietà materiale;
- K_{mod} è il coefficiente di correzione che tiene conto degli effetti della durata del carico e dell'umidità;
- $F_{V,ED,1}$; $F_{V,ED,2}$ sono le forze a taglio di progetto su ciascun lato della connessione.

Per legno di conifere, si raccomanda che la capacità caratteristica a rottura per spacco, per le disposizioni mostrate nell'ultima figura sia assunta come:

$$F_{90,RK} = 14bw \sqrt{\frac{h_c}{\left(1 - \frac{h_c}{h}\right)}}$$

Dove:

- $w = \begin{cases} \max & \left\{ \left(\frac{W_{pl}}{100}\right)^{0,35} \\ 1 \right\} \end{cases}$ per mezzi di unione a piastra metallica punzonata per tutti gli altri mezzi di unione;
- $F_{90,RK}$ è la capacità caratteristica per rottura a spacco, in N;
- w è un coefficiente di correzione;
- h_c è la distanza del bordo caricato dal centro del mezzo di unione più distante oppure dal bordo del mezzo di unione a piastra metallica punzonata, in mm;
- h è l'altezza dell'elemento ligneo, in mm;
- b è lo spessore dell'elemento, in mm;
- W_{pl} è la larghezza del mezzo di unione a piastra metallica punzonata, in direzione parallela alla fibratura, in mm.

Per le forze di connessione alternate, La capacità portante caratteristica di una connessione deve essere ridotta se la connessione è sottoposta a forze interne alternate, dovute ad azioni di lunga durata oppure di media durata.

Si raccomanda che l'effetto sulla resistenza della connessione da parte di azioni di lunga durata oppure di media durata alternantesi fra una forza a trazione di progetto $F_{t,Ed}$, e una forza a compressione di progetto $F_{c,Ed}$, sia preso in considerazione progettando la connessione per $(F_{t,Ed} + 0,5F_{c,Ed})$ e $(F_{c,Ed} + 0,5F_{t,Ed})$.

Per gli spinotti, il metodo di calcolo diviene il seguente.

Per la determinazione della capacità portante caratteristica di connessioni con mezzi di unione metallici del tipo a spinotto, devono essere considerati i contributi dovuti alla resistenza allo snervamento, alla resistenza al rifollamento, nonché alla resistenza all'estrazione del mezzo di unione.

Per le connessioni legno-legno si raccomanda che la capacità portante caratteristica per chiodi, bulloni, spinotti e viti, per singolo piano di taglio e per singolo mezzo di unione, sia assunta come il valore minimo determinato dalle espressioni che seguono:

Per mezzi di unione a singola sezione di taglio:

$$F_{V,RK} = \min \begin{cases} f_{h,1,k}t_1d & a \\ f_{h,2,k}t_2d & b \\ \frac{f_{h,1,k}t_1d}{1+\beta} \left[\sqrt{\beta+2\beta^2 \left[1+\frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1}\right)^2 + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1}\right)^2 - \beta \left(1+\frac{t_2}{t_1}\right) \right]} \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & c \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k}t_1d}{2+\beta} \left[\sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,RK}}{f_{h,1,k}dt_1^2} - \beta} \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & d \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k}t_2d}{2+2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1+\beta) + \frac{4\beta(1+2\beta)M_{y,RK}}{f_{h,1,k}dt_2^2} - \beta} \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & e \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,RK}f_{h,1,k}d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & f \end{cases}$$

Per mezzi di unione a taglio doppio:

$$F_{V,RK} = \min \begin{cases} f_{h,1,k}t_1d & g \\ 0,5f_{h,2,k}t_2d & h \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k}t_1d}{2+\beta} \left[\sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,RK}}{f_{h,1,k}dt_1^2} - \beta} \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & j \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,RK}f_{h,1,k}d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & k \end{cases}$$

Con:

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

Dove:

- $F_{V,RK}$ è la capacità portante caratteristica per singolo piano di taglio e per singolo mezzo di unione;
- t_i è lo spessore del legno o del pannello, oppure la profondità di penetrazione, con i uguale a 1 oppure a 2;
- $f_{h,i,k}$ è la resistenza caratteristica a rifollamento nell'elemento ligneo i -esimo;
- d è il diametro del mezzo di unione;
- $M_{y,RK}$ è il momento caratteristico di snervamento per il mezzo di unione;
- β è il rapporto fra le resistenze a rifollamento degli elementi;
- $F_{ax,Rk}$ è la capacità caratteristica assiale a estrazione per il mezzo di unione, Nelle espressioni precedenti, il primo termine sul lato destro rappresenta la capacità portante secondo la teoria dello snervamento di *Johansen*, mentre il secondo termine $F_{ax,Rk}/4$ è il contributo dovuto all'“effetto cordata”. Si raccomanda che il contributo alla capacità portante dovuto all'“effetto cordata” sia limitato alle seguenti percentuali della parte *Johansen*:

- chiodi a gambo cilindrico 15%;
- chiodi a gambo quadro 25%;
- altri chiodi 50%;
- viti 100%;
- bulloni 25%;
- spinotti 0%.

Se $F_{ax,Rk}$ non è noto, allora si raccomanda che il contributo dovuto all'“effetto cordata” sia assunto uguale a zero.

Per mezzi di unione a taglio singolo, la capacità caratteristica a estrazione, $F_{ax,Rk}$, è assunta come la più bassa delle capacità nei due elementi. I differenti modi di rottura sono stati illustrati nelle precedenti immagini, Per la capacità a estrazione, $F_{ax,Rk}$, di bulloni, la resistenza fornita dalle rondelle può essere tenuta in considerazione, vedere il punto 8.5.2(2) oppure paragrafo successivo. Se di seguito non vengono fornite regole specifiche, si raccomanda che la resistenza caratteristica a rifollamento $f_{h,k}$ sia determinata secondo le EN 383 e EN 14358. Se di seguito non vengono fornite regole specifiche, si raccomanda che il momento caratteristico di snervamento $M_{y,Rk}$ sia determinato secondo le EN 409 e EN 14358.

Connessioni acciaio-legno

La capacità portante caratteristica di una connessione acciaio-legno dipende dallo spessore delle piastre di acciaio. Piastre di acciaio aventi spessore minore o uguale a $0,5d$ sono classificate come **piastre sottili**, mentre le piastre di acciaio aventi spessore maggiore o uguale a d con la tolleranza dei diametri di foratura minore di $0,1d$ sono classificate come **piastre spesse**. Si raccomanda che la capacità portante caratteristica di connessioni con piastre di acciaio aventi spessore compreso fra quello di una piastra sottile e quello di una piastra spessa sia calcolata tramite interpolazione lineare fra i valori limite per le piastre sottili e spesse. Ovviamente la resistenza della piastra di acciaio deve essere verificata. Si raccomanda che la capacità portante caratteristica per chiodi, bulloni, spinotti e viti, per singolo piano di taglio e per singolo mezzo di unione, sia assunta come il valore minimo determinato tramite le espressioni seguenti.

- Per una piastra di acciaio sottile, a taglio singolo:

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

- Per una piastra di acciaio spessa, a taglio singolo:

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

- Per una piastra di acciaio di qualsiasi spessore interposta come elemento centrale di una connessione a doppio taglio:

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

- Per piastre di acciaio sottili poste come elementi esterni di una connessione a doppio taglio:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5 f_{h,2,k} t_2 d \\ 1,15 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,2,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$

- Per piastre di acciaio spesse poste come elementi esterni di una connessione a doppio taglio:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5 f_{h,2,k} t_2 d \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,2,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$

Dove:

- $F_{v,Rk}$ è la capacità portante caratteristica, per piano di taglio e per mezzo di unione;
- $f_{h,k}$ è la resistenza caratteristica a rifollamento nell'elemento ligneo;
- t_1 è il più piccolo degli spessori dell'elemento dal lato legno, oppure la profondità di penetrazione;
- t_2 è lo spessore dell'elemento ligneo centrale;
- d è il diametro del mezzo di unione;
- $M_{y,Rk}$ è il momento caratteristico di snervamento, per il mezzo di unione;
- $F_{ax,Rk}$ è la capacità caratteristica a estrazione, per il mezzo di unione.

Per la limitazione dell'“effetto cordata” $F_{ax,Rk}$, si applicano i valori precedenti. Deve essere tenuto conto che la capacità portante delle connessioni acciaio-legno aventi un'estremità caricata può essere ridotta da una rottura lungo il perimetro del gruppo di mezzi di unione.

Appendice A: mezzi di unione in gruppo

Per connessioni acciaio-legno che comprendono mezzi di unione multipli del tipo a spinotto, sottoposte a una componente della forza parallela alla fibratura in prossimità dell'estremità dell'elemento di legno, si raccomanda che la capacità portante caratteristica a frattura lungo il

perimetro dell'area dei mezzi di unione, come mostrato nella figura sottostante (rottura per distacco del blocco, o "block shear failure");

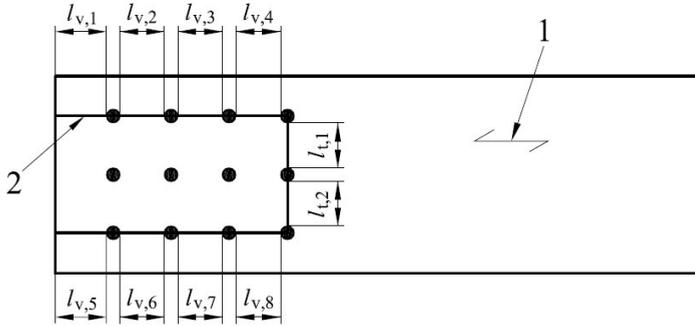


Figura 2.28. Eurocodice 5 effetto di gruppo

e in figura sottostante (rottura per taglio del tassello, o "plug shear failure"), sia assunta come:

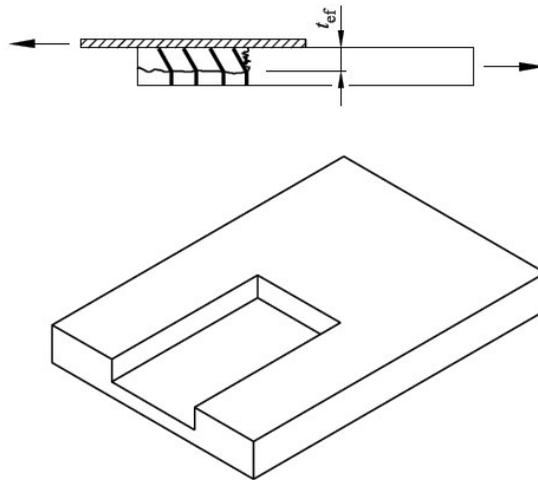


Figura 2.29. Eurocodice 5 rottura plug shear failure

$$F_{bs,Rk} = \max \begin{cases} 1,5 A_{net,t} f_{t,0,k} \\ 0,7 A_{net,v} f_{v,k} \end{cases}$$

Con:

$$A_{net,t} = L_{net,t} t_1$$

$$A_{net,v} = \begin{cases} L_{net,t} t_1 & \text{modi di rottura (e, f, j / l, k, m)} \\ \frac{L_{net,v}}{2} (L_{net,t} + 2t_{ef}) & \text{per tutti gli altri modi di rottura} \end{cases}$$

e:

$$L_{net,v} = \sum_i l_{v,i}$$

$$L_{net,t} = \sum_i l_{t,i}$$

– per piastre di acciaio sottili (per i modi di rottura indicati fra parentesi):

$$t_{ef} = \begin{cases} 0,4t_1 & (a) \\ 1,4\sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k}d}} & (b) \end{cases}$$

– per piastre di acciaio spesse (per i modi di rottura indicati fra parentesi):

$$t_{ef} = \begin{cases} 2\sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k}d}} & (d) (h) \\ t_1 \left[\sqrt{2 + \frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k}dt_1^2}} - 1 \right] & (c) (g) \end{cases}$$

Dove:

- $F_{bs,Rk}$ è la capacità caratteristica a taglio del tassello;
- $A_{net,t}$ è l'area netta della sezione trasversale, ortogonale alla fibratura;
- $A_{net,v}$ è l'area netta a taglio, in direzione parallela alla fibratura;
- $L_{net,t}$ è la larghezza netta della sezione trasversale, ortogonale alla fibratura;
- $A_{net,v}$ è la lunghezza netta totale dell'area di frattura a taglio;
- $l_{v,i}$; $l_{t,i}$ sono definite in figura;
- t_{ef} è l'altezza efficace, in funzione del modo di rottura del mezzo di unione;
- t_1 è lo spessore dell'elemento ligneo o la profondità di penetrazione del mezzo di unione;
- $M_{y,Rk}$ è il momento caratteristico di snervamento del mezzo di unione;
- d è il diametro del mezzo di unione;
- $f_{t,0,k}$ è la resistenza caratteristica a trazione dell'elemento ligneo;
- $f_{v,k}$ è la resistenza caratteristica a taglio dell'elemento ligneo;
- $f_{v,k}$ è la resistenza caratteristica a rifollamento dell'elemento ligneo.

2.3.2. Fissaggio legno-legno e legno-acciaio

2.3.2.1. Fissaggio con chiodi

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 mini-

ma 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. Di seguito si riportano alcune caratteristiche meccaniche di chiodi ad aderenza migliorata.



Figura 2.30. Chiodi a gambo liscio e seghettato

Chiodi				
Ad aderenza migliorata norma EN 14592:2008				
Resistenza caratteristica a trazione $f_{u,k,min} = 600 \text{ N/mm}^2$				
d [mm]	L [mm]	$M_{y,k}$ [Nmm]	$f_{ax,k}$ [N/mm ²]	$f_{tens,k}$ [KN]
4	40	6260	5,51 $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$	7,69
4	50	6260	5,51 $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$	7,69
4	60	6260	5,51 $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$	7,69
Classe di servizio 1 in accordo con EN 1995-1-1				

Tabella 2.4.

Di seguito si descrive il metodo di dimensionamento secondo l'Eurocodice 5.

Connessioni con chiodi

I simboli per gli spessori nelle connessioni a taglio singolo e doppio (vedere la figura sottostante) sono definiti come segue:

- t_1 è lo spessore dal lato della testa in una connessione a taglio singolo; il minimo valore fra lo spessore di legno dal lato della testa del chiodo e la penetrazione dal lato della punta in una connessione a taglio doppio;
- t_2 è la penetrazione dal lato della punta in una connessione a taglio singolo; lo spessore dell'elemento centrale in una connessione a taglio doppio.

Si raccomanda che il legno sia preforato quando:

- la massa volumica caratteristica del legno è maggiore di 500 kg/m^3 ;
- il diametro d del chiodo è maggiore di 8 mm.

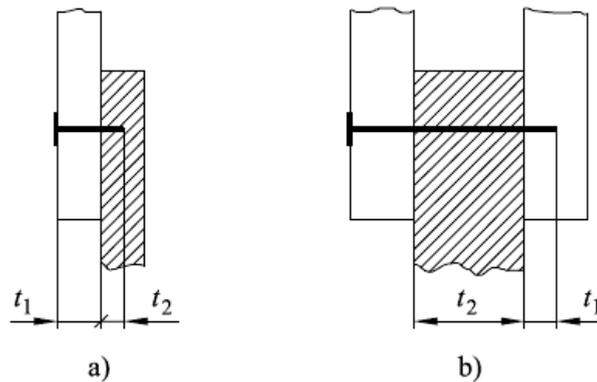


Figura 2.31. Eurocodice 5 giunzione con chiodi

Per chiodi a gambo quadro o scanalato, il diametro del chiodo d sia assunto uguale alla dimensione del lato.

Per chiodi a gambo liscio prodotti con filo di acciaio avente una resistenza a trazione minima di 600 N/mm^2 , si raccomanda che siano utilizzati i seguenti valori caratteristici per il momento di snervamento:

$$M_{y,Rk} = \begin{cases} 0,3 f_u d^{2,6} & \text{per chiodi a gambo cilindrico} \\ 0,45 f_u d^{2,6} & \text{per chiodi a gambo quadro} \end{cases}$$

Dove:

- $M_{y,Rk}$ è il valore caratteristico per il momento di snervamento, in Nmm;
- d è il diametro del chiodo, come definito nella EN 14592, in mm;
- f_u è la resistenza a trazione del filo, in N/mm^2 .

Per chiodi aventi diametri fino a 8 mm, si applicano le seguenti resistenze caratteristiche a rifollamento per il legno:

- senza pre-foratura:

$$f_{h,k} = 0,082 \rho_k d^{-0,3} \text{ N / mm}^2$$

- con pre-foratura:

$$f_{h,k} = 0,082 (1 - 0,01d) \rho_k \text{ N / mm}^2$$

Dove:

- ρ_k è la massa volumica caratteristica del legno, in kg/m^3 ;
- d è il diametro del chiodo, in mm.

Inoltre: per chiodi aventi diametri maggiori di 8 mm, si applicano i valori di resistenza caratteristica al rifollamento validi per i bulloni. In una connessione a tre elementi, i chiodi possono sovrapporsi nell'elemento centrale, purché $(t - t_2)$ sia maggiore di $4d$ (vedi figura seguente).

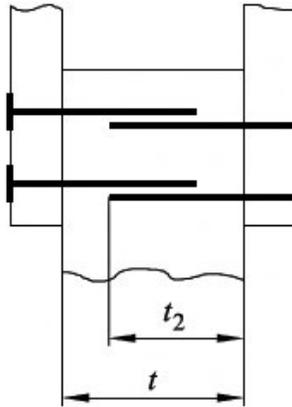


Figura 2.32. Eurocodice 5 connessione con chiodi, nomenclatura per calcolo

Per una fila di n chiodi disposti parallelamente alla fibratura, a meno che i chiodi di tale fila siano sfalsati ortogonalmente alla fibratura per almeno $1d$ (vedere la figura sottostante), si raccomanda che la capacità portante parallela alla fibratura sia calcolata utilizzando il numero efficace di mezzi di unione n_{ef} , dove:

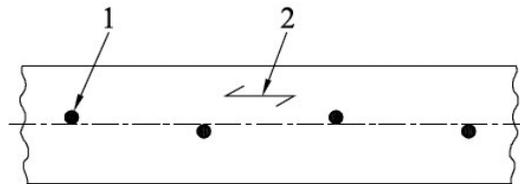


Figura 2.33. Eurocodice 5 passo chiodi

$$n_{ef} = n^{K_{ef}}$$

Dove:

- n_{ef} è il numero efficace di chiodi nella fila;
- n è il numero di chiodi in una fila;
- K_{ef} è fornito nel seguente prospetto.

Passo*	K_{ef}	
	Non preforati	Preforati
$a_1 \geq 14d$	1,0	1,0
$a_1 = 10d$	0,85	0,85
$a_1 = 7d$	0,7	0,7
$a_1 = 4d$	–	0,5

(*) Per passi intermedi, è ammessa l'interpolazione lineare di k_{ef} .

Tabella 2.5.

Si raccomanda che in una connessione esistano almeno due chiodi.