

Vincenzo Calvo – Elisabetta Scalora

Solai e coperture in legno

- **Verifiche di solai e coperture in legno**
 - ↳ Resistenza a flessione (SLU); Resistenza a taglio (SLU); Deformazione (SLU); Resistenza al fuoco
- **Interventi di restauro e consolidamento di orizzontamenti in legno**
 - ↳ Irrigidimento di solai; Miglioramento strutturale delle travi; Protesi in legno
- **Verifiche di solai misti in legno e calcestruzzo con connessioni metalliche**
 - ↳ Calcolo della capacità portante delle unioni metalliche; Calcolo della resistenza delle unioni metalliche; Calcolo della rigidezza efficace a flessione (teoria di Möhler)
- **Aggiornato all'Eurocodice 5 e al D.M. 14 gennaio 2008 (NTC 2008)**

Vincenzo Calvo, Elisabetta Scalora
SOLAI E COPERTURE IN LEGNO

ISBN 13 978-88-8207-553-8
EAN 9 788882 075538

Software, 75
Prima edizione, maggio 2014

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 maggio 2014
presso **Tipolitografia Luxograph S.r.l.** Piazza Bartolomeo Da Messina, 2/e – 90142 Palermo

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.

Indice

INTRODUZIONE	p.	1
1. IL LEGNO	"	3
1.1. Pregi del legno	"	5
1.2. Difetti del legno	"	7
1.3. Proprietà fisiche e meccaniche del legno	"	9
1.4. Durabilità e degrado del legno.....	"	13
1.4.1. Insetti.....	"	16
1.4.2. Funghi	"	20
1.4.3. Trattamenti preservanti	"	21
2. IL LEGNO DA COSTRUZIONE	"	22
2.1. Lavorazione del legno.....	"	22
2.2. Tipi di legno per uso strutturale.....	"	23
2.3. Legno massiccio	"	31
2.4. Legno lamellare	"	32
2.5. Procedure di qualificazione e accettazione	"	33
2.5.1. Identificazione e rintracciabilità dei prodotti qualificati	"	36
2.5.2. Forniture e documentazione di accompagnamento.....	"	37
2.5.3. Prodotti provenienti dall'esterno	"	37
3. INQUADRAMENTO NORMATIVO	"	39
3.1. La normativa europea	"	39
3.2. La normativa italiana	"	40
4. METODI DI CALCOLO	"	42
4.1. Tensioni ammissibili.....	"	43
4.2. Stati limite.....	"	44
4.2.1. Stati Limite Ultimi (SLU).....	"	44
4.2.2. Stati Limite di Esercizio (SLE).....	"	44
5. AZIONI E CARICHI SULLE COSTRUZIONI	"	46
5.1. La classificazione delle azioni	"	46
5.2. La caratterizzazione delle azioni elementari.....	"	47
5.3. Le combinazioni delle azioni.....	"	47
5.4. Le azioni permanenti	"	49

5.5.	I carichi permanenti non strutturali.....	p.	49
5.6.	I carichi variabili.....	"	49
6.	AZIONE DELLA NEVE	"	51
6.1.	Coefficiente di forma per le coperture.....	"	51
6.1.1.	Copertura ad una falda.....	"	51
6.1.2.	Copertura a due falde.....	"	52
6.2.	Coefficiente di esposizione.....	"	52
6.3.	Valore caratteristico del carico della neve al suolo.....	"	53
7.	AZIONE DEL VENTO	"	55
7.1.	Velocità di riferimento.....	"	55
7.2.	Pressione del vento.....	"	56
7.3.	Azione tangenziale del vento.....	"	57
7.4.	Pressione cinetica di riferimento.....	"	57
7.5.	Coefficiente di esposizione.....	"	57
8.	COSTRUZIONI IN LEGNO: ASPETTI TECNICI	"	60
8.1.	Valutazione della sicurezza.....	"	60
8.2.	Analisi strutturale.....	"	60
8.3.	Azioni e loro combinazioni.....	"	61
8.4.	Classi di durata del carico.....	"	61
8.5.	Classi di servizio.....	"	62
8.6.	Resistenza di calcolo.....	"	63
8.7.	Collegamenti.....	"	64
8.8.	Elementi strutturali.....	"	66
8.9.	Sistemi strutturali.....	"	67
8.10.	Robustezza.....	"	68
8.11.	Durabilità.....	"	68
8.12.	Regole per l'esecuzione.....	"	69
8.13.	Controlli e prove di carico.....	"	71
9.	VERIFICHE AGLI STATI LIMITE	"	73
9.1.	Verifiche agli Stati Limite di Esercizio (SLE).....	"	73
9.2.	Verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU).....	"	76
9.2.1.	Verifiche di resistenza.....	"	76
9.2.2.	Trazione parallela alla fibratura.....	"	77
9.2.3.	Trazione perpendicolare alla fibratura.....	"	78
9.2.4.	Compressione parallela alla fibratura.....	"	78
9.2.5.	Compressione perpendicolare alla fibratura.....	"	79
9.2.6.	Compressione inclinata rispetto alla fibratura.....	"	79
9.2.7.	Flessione.....	"	80
9.2.8.	Tensoflessione.....	"	81
9.2.9.	Pressoflessione.....	"	82

9.2.10.	Taglio	p.	82
9.2.11.	Torsione.....	"	84
9.2.12.	Taglio e Torsione.....	"	84
9.3.	Verifiche di stabilità	"	84
9.3.1.	Elementi inflessi (instabilità di trave)	"	85
9.3.2.	Elementi compressi (instabilità di colonna).....	"	85
10.	VERIFICHE DI RESISTENZA AL FUOCO	"	87
10.1.	Resistenza al fuoco	"	87
10.2.	Calcolo del carico incendio.....	"	88
10.3.	Scenari e incendi convenzionali di progetto	"	92
10.4.	Criteri di progettazione degli elementi strutturali resistenti al fuoco.....	"	94
10.5.	Metodo della sezione ridotta.....	"	95
10.6.	Verifiche di resistenza al fuoco	"	99
10.7.	Unioni e collegamenti esposti al fuoco.....	"	101
11.	COSTRUZIONI IN LEGNO IN ZONA SISMICA	"	102
11.1.	Aspetti concettuali della progettazione.....	"	102
11.2.	Materiali e proprietà delle zone dissipative	"	103
11.3.	Tipologie strutturali e fattori di struttura	"	103
11.4.	Analisi strutturale.....	"	105
11.5.	Disposizioni costruttive	"	105
11.5.1.	Disposizioni costruttive per i collegamenti.....	"	106
11.5.2.	Disposizioni costruttive per gli impalcati	"	106
11.6.	Verifiche di sicurezza	"	106
11.7.	Regole di dettaglio.....	"	107
11.7.1.	Disposizioni costruttive per i collegamenti.....	"	107
11.7.2.	Disposizioni costruttive per gli impalcati	"	107
12.	CONSOLIDAMENTO E RESTAURO DEGLI ORIZZONTAMENTI	"	108
12.1.	Consolidamento di travi e solai in legno	"	109
12.2.	Verifica di solai misti legno e calcestruzzo	"	115
13.	SOLAI IN LEGNO	"	122
13.1.	La modellazione strutturale	"	123
14.	INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE “PREWOOD – SOLAI E COPERTURE IN LEGNO”	"	124
14.1.	Introduzione.....	"	124
14.2.	Requisiti minimi hardware e software	"	124
14.3.	Download del software e richiesta della password di attivazione	"	124
14.4.	Installazione e attivazione del software	"	125

15. MANUALE D'USO DEL SOFTWARE	
“PREWOOD – SOLAI E COPERTURE IN LEGNO”	p. 129
15.1. Solai e coperture in legno	” 129
15.2. Apri file	” 130
15.3. Salva file	” 130
15.4. Dati Generali	” 130
15.5. Scelta del materiale	” 131
15.6. Analisi dei carichi	” 134
15.7. Combinazioni di carico	” 136
15.8. Visualizza le Verifiche SLU ed SLE	” 138
15.9. Visualizza le Verifiche al fuoco	” 141
15.10. Visualizza il computo dei materiali utilizzati	” 144
15.11. Genera la relazione di calcolo	” 145
15.12. Informazioni	” 145
16. ESEMPIO DI CALCOLO EFFETTUATO CON PREWOOD	” 146
17. ESEMPIO DI RELAZIONE DI CALCOLO DI UNA COPERTURA INCLINATA IN LEGNO LAMELLARE ELABORATA MEDIANTE IL SOFTWARE PREWOOD	” 148
18. TABELLE DELLE CLASSI DI RESISTENZA DEI MATERIALI	” 157
18.1. Classi di resistenza per legno massiccio di conifera e pioppo.....	” 157
18.2. Classi di resistenza per legno massiccio di latifoglia	” 158
18.3. Classi di resistenza per legno lamellare incollato di conifera.....	” 159
18.4. Classi di resistenza per specie legnose di provenienza italiana	” 160
DOMANDE FREQUENTI	” 161
TEST INIZIALE	” 164
TEST FINALE	” 167
GLOSSARIO	” 170
BIBLIOGRAFIA	” 173
NORMATIVA DI RIFERIMENTO	” 174

Introduzione

Il presente libro affronta il tema della progettazione strutturale nelle costruzioni in legno secondo la nuova normativa nazionale, D.M. 14 gennaio 2008 “Norme Tecniche per le Costruzioni”, che per comodità sarà indicato con l’acronimo NTC 2008 o semplicemente NTC.

Il legno è il più antico materiale da costruzione ed ha rappresentato sino alla seconda metà dell’Ottocento il materiale principale per la realizzazione degli orizzontamenti, con la rivoluzione industriale nella seconda metà dell’Ottocento si diffondono i solai realizzati con profilati metallici e agli inizi del Novecento si hanno i primi orizzontamenti in calcestruzzo armato.

Di recente il legno sta recuperando importanza, grazie alle innovazioni tecnologiche (legno lamellare) e all’emergere del tema della eco-sostenibilità, che sta ricoprendo un ruolo importante nella bioarchitettura.

Per poter effettuare una buona progettazione è bene conoscere il materiale che si intende utilizzare.

Il legno è un materiale composito costituito da cellule vegetali di forma allungata disposte parallelamente all’asse del tronco, costituite principalmente da cellulosa e lignina, la prima ha buona resistenza a trazione mentre la seconda a compressione.

In funzione della struttura e della disposizione delle cellule si determinano le proprietà fisiche e meccaniche dei diversi tipi di legno.

Il legno, essendo un materiale anisotropo, possiede una resistenza agli sforzi che varia in funzione della direzione in cui questi agiscono rispetto alla direzione delle fibre, in generale si può affermare che si ha una resistenza maggiore se sollecitato parallelamente alla fibratura e una resistenza minore se sollecitato ortogonalmente alla fibratura.

Le strutture in legno offrono una buona resistenza meccanica, un forte potere termocoibente e una buona resistenza al fuoco nonostante sia un materiale combustibile.

Il legno per le costruzioni si divide essenzialmente in:

- legno massiccio;
- legno lamellare.

Il legno lamellare, ottenuto mediante l’incollaggio di assi di legno in modo da formare elementi strutturali, è un materiale industriale e pertanto si può intervenire per migliorarne le condizioni di esercizio e di sicurezza. Con l’utilizzo del legno lamellare non si riscontrano i difetti tipici del legno massello, ovvero deformazioni da ritiro e limitazioni dimensionali.

La tecnologia del legno lamellare ha permesso di superare le limitazioni dimensionali dei singoli elementi in legno massello, permettendo la copertura di grandi luci con strutture portanti leggere, con una buona resistenza meccanica e al fuoco.

La resistenza al fuoco si può definire come la capacità di un manufatto di svolgere la propria funzione dal momento in cui viene investito da un incendio.

La resistenza al fuoco non è una proprietà intrinseca del materiale ma è una prestazione di un elemento strutturale, o dell'intera struttura nei confronti dell'azione di incendio.

Le strutture in legno, nonostante la combustibilità del materiale, hanno un buon comportamento al fuoco se la sezione trasversale degli elementi strutturali non è di dimensioni ridotte. Sotto l'azione del fuoco e raggiunta la temperatura di carbonizzazione, la resistenza e la rigidità del legno diventano nulle determinando così la riduzione della sezione resistente degli elementi strutturali. Generalmente si considera che le caratteristiche meccaniche della sezione lignea residua, ovvero quella sezione che non comprende la zona carbonizzata, ad una certa distanza dallo strato carbonizzato, non risultano ridotte rispetto alle condizioni standard.

Il quadro normativo di riferimento per le strutture in legno è rappresentato in Europa dall'Eurocodice 5 e in Italia dal Decreto Legislativo 14 gennaio 2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" (NTC 2008), con quest'ultimo l'Italia ha dettato le regole per le costruzioni in legno, per l'utilizzo di questo materiale e sulle caratteristiche che deve possedere affinché possa essere impiegato nelle costruzioni. I capitoli che trattano il tema delle costruzioni in legno sono:

- Capitolo 4.4. "Costruzioni civili e industriali – Costruzioni di legno";
- Capitolo 7.7. "Progettazione per azioni sismiche – Costruzioni di legno";
- Capitolo 11.7. "Materiali e prodotti per uso strutturale – Materiali e prodotti a base di legno".

Nonostante l'introduzione di questi capitoli, le NTC non sono sufficienti per la progettazione, e pertanto fanno spesso riferimento a normative di comprovata validità per quanto non espressamente specificato in detta norma.

L'Eurocodice 5, essendo il documento normativo più completo per la progettazione delle strutture in legno, è considerato come norma di comprovata validità e pertanto può essere utilizzato senza contrastare le prescrizioni delle NTC 2008, salvo l'utilizzo dei coefficienti di sicurezza che devono essere quelli indicati nella normativa italiana.

*Arch. Elisabetta Scalora
Ing. Vincenzo Calvo*

Capitolo 1

Il legno

Il legno è il più antico materiale da costruzione ed ha rappresentato sino alla seconda metà dell'800 il materiale principale per la realizzazione degli orizzontamenti. Con la rivoluzione industriale nella seconda metà dell'800 si diffondono i solai realizzati con profilati metallici e successivamente agli inizi del '900 si hanno i primi orizzontamenti in calcestruzzo armato quindi, sino a qualche decennio fa, il legno ha ricoperto un ruolo secondario.

Di recente il legno sta recuperando importanza e prestigio, grazie alle innovazioni tecnologiche (come legno lamellare e xlam) e all'emergere del tema della eco-sostenibilità, che sta ricoprendo un ruolo importante nella bioarchitettura, un vantaggio del legno, infatti è la sua capacità di ridurre l'utilizzo di energia.

Il legno è un materiale composito costituito da cellule vegetali di forma allungata disposte parallelamente all'asse del tronco, ed è costituito principalmente da:

- cellulosa;
- lignina;
- acqua;
- estrattivi.

La *cellulosa* è un polisaccaride composto da unità ripetute del monomero di glucosio che costituisce il componente base della parete cellulare (40-46% del peso secco) e possiede buona resistenza a trazione.

La *lignina* è un polimero organico costituito principalmente da composti fenolici, costituisce il 20-30% in peso del tessuto legnoso e possiede una buona resistenza a compressione.

L'*acqua* contenuta nel legno è presente in quantità che varia dal 17 al 60% ed è sotto forma di acqua di costituzione, di saturazione e di imbibizione.

Gli *estrattivi* comprendono composti di natura diversa, tra questi citiamo i carboidrati, gli acidi grassi, fenoli, i tannini, etc., nonostante siano contenuti in piccole quantità possono conferire al legno importanti proprietà, quali colore, durabilità naturale, stabilità dimensionale.

Dal punto di vista tecnologico si intende per legno la parte interna dei fusti delle piante arboree, appartenenti alle gimnosperme (conifere) e alle angiosperme dicotiledoni (latifoglie).

Il legno derivato dalle conifere (pino, abete, larice, ecc.) possiede una struttura omogenea e compatta poiché è costituito per il 95% da *tracheidi*, cellule che svolgono funzione di sostegno meccanico e di conduzione della linfa.

Il legno con funzione strutturale deriva nella maggior parte dalle conifere poiché quest'ultime hanno una maggiore rapidità di crescita e il legno che se ne ricava è più economico e maggiormente lavorabile in quanto tenero.

Le latifoglie (faggio, rovere, noce, ciliegio, olmo, ecc.) sono costituite da *fibre* e *vasi*, le fibre hanno funzione di sostegno e i vasi hanno funzione di conduzione della linfa, e pos-

siedono nervature più sottili, ne consegue che il legno risulta più duro e viene generalmente utilizzato in ebanisteria.

In funzione della struttura e della disposizione delle cellule si determinano le proprietà fisiche e meccaniche dei diversi tipi di legno.

Mediante una sezione trasversale del fusto è possibile distinguere gli strati che lo compongono (anelli), dall'esterno verso l'interno possiamo individuare:

- *corteccia*: costituisce l'anello più esterno ed ha una funzione protettiva dagli agenti atmosferici;
- *floema*: ha uno spessore molto sottile ed è il tessuto di conduzione della linfa elaborata, ovvero il nutrimento sintetizzato che dalle foglie raggiunge tutte le altre parti dell'albero;
- *cambio*: è la zona in cui inizia l'accrescimento del tronco, ovvero produce alburo verso l'interno e floema verso l'esterno;
- *alburo*: è formato da cellule nelle quali scorre linfa grezza, ovvero acqua e sali minerali, che dalle radici giunge alle foglie;
- *durame*: è la zona del tronco di maggiore spessore, è costituito da cellule dure e compatte ed è essenzialmente l'alburo invecchiato, nel quale non si ha più flusso di linfa;
- *midollo*: è la parte più interna del tronco e non si differenzia molto dal durame.

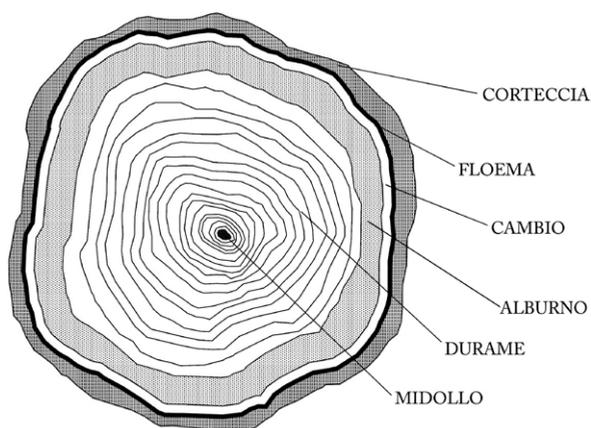


Figura 1.1. Sezione trasversale di un tronco d'albero

Il legno è un materiale di origine biologica e pertanto le sue caratteristiche fisiche e il suo comportamento meccanico sono strettamente legati all'anatomia della pianta di provenienza.

All'interno del tronco, idealmente cilindrico, si individuano tre direzioni principali (longitudinale, radiale e circonferenziale) a cui corrispondono tre sezioni (trasversale, radiale e tangenziale), per ognuna delle quali è possibile definire caratteristiche morfologiche differenziate e caratteristiche fisiche e meccaniche molto variabili, che conferiscono al materiale uno spiccato comportamento anisotropo.

Proprio per la sua anisotropia, il legno possiede una resistenza agli sforzi che varia in funzione della direzione in cui questi agiscono rispetto alla direzione delle fibre, in generale si può affermare che si ha una resistenza maggiore se sollecitato parallelamente alla fibratura

e una resistenza minore se sollecitato ortogonalmente alla fibratura, proprio per questa peculiarità è importante la progettazione dei nodi.

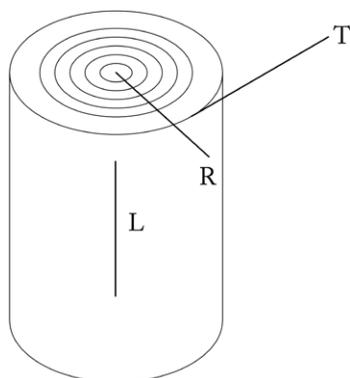


Figura 1.2. Schematizzazione delle direzioni anatomiche del legno: *L* – direzione longitudinale: è parallela all’asse del tronco e corrispondente alla direzione delle fibre; *R* – direzione radiale: è perpendicolare alla direzione longitudinale; *T* – direzione tangenziale: è perpendicolare alla direzione longitudinale e alla direzione radiale.

1.1. Pregi del legno

Il legno, come tutti i materiali da costruzione presenta vantaggi e svantaggi. Il primo vantaggio, che merita di essere menzionato, è che il legno è un materiale sostenibile, in quanto l’energia utilizzata nel processo produttivo per la realizzazione delle costruzioni è nettamente inferiore a quella generalmente impiegata per costruzioni in cemento armato o in muratura, inoltre il legno impiegato per le costruzioni è ecologico e rinnovabile, infatti può essere trasformato e riutilizzato in vari modi, quindi con l’utilizzo di questo materiale si possono realizzare edifici sostenibili con un basso inquinamento ambientale.

Il legno è un materiale con buone caratteristiche isolanti, grazie alla porosità della sua struttura; infatti, le costruzioni di legno hanno una capacità di isolamento termico maggiore rispetto alle costruzioni convenzionali, per esempio un muro esterno in legno risulta meno spesso di un muro in mattoni e fornisce al contempo un isolamento maggiore evitando ponti termici.

Le costruzioni in legno hanno una buona resistenza al fuoco, nonostante siano realizzate con un materiale combustibile; il legno carbonizza superficialmente in modo uniforme formando una barriera che protegge la sezione più interna ed ostacola la propagazione delle fiamme verso l’interno, evitando il crollo improvviso della struttura.

Il legno ha una buona resistenza a flessione, e un’altrettanto buona resistenza a trazione e compressione se sollecitato parallelamente alla fibratura, e quindi può essere definito come un materiale dalle buone proprietà meccaniche ma risulta particolarmente sensibile all’umidità, pertanto è soggetto a fenomeni di rigonfiamento, per assorbimento d’acqua, e di ritiro, per disseccamento, che tendono a deformare la sezione degli elementi. Per evitare le deformazioni, dovute ai fenomeni sopracitati, si deve effettuare una precisa stagionatura, che consiste nel portare il materiale ad un tasso di umidità in equilibrio con quella dell’ambiente in cui verrà collocato.

È importante precisare che le proprietà meccaniche del legno, essendo un materiale anisotropo, variano con la direzione anatomica considerata e variano notevolmente in funzione dell'umidità e della temperatura dell'ambiente.

In generale possiamo affermare che:

- il peso specifico del legno è direttamente proporzionale alla resistenza meccanica;
- la resistenza è inversamente proporzionale all'umidità contenuta nel legno.

In quanto materiale igroscopico, il legno tende ad assorbire e a cedere umidità cercando l'equilibrio termo-igrometrico con l'ambiente in cui è collocato. La manualistica indica tre condizioni di umidità per la valutazione della massa volumica del legno:

- stato fresco (legno appena tagliato) che possiede di umidità maggiore o uguale al punto di saturazione delle pareti cellulari (30%);
- stato normale (umidità variabile tra il 12% ed il 15%);
- stato anidro.

Per umidità, U , del legno si intende il rapporto tra la massa dell'acqua contenuta nel legno e la sua massa anidra.

Per convenzione il valore del 12% di umidità del legno è definita come “umidità normale”.

Dopo il periodo di stagionatura il legno può raggiungere i seguenti gradi di umidità in funzione della temperatura dell'ambiente:

- $U \leq 12\%$ ambienti chiusi riscaldati;
- $12\% < U < 20\%$ ambienti chiusi non riscaldati o aperti coperti;
- $U > 20\%$ ambienti aperti senza protezione.

La stagionatura ha il compito di portare l'umidità del legno in equilibrio con quella atmosferica, e quindi non di eliminare del tutto l'umidità del legno.

La fase di stagionatura determina una riduzione delle dimensioni delle sezioni in legno e quindi genera il fenomeno del ritiro, ma se nuovamente in contatto con acqua od elevata umidità, esse subiscono un rigonfiamento.

La variazione dimensionale non è uniforme in tutte e tre le direzioni anatomiche del legno ma si differenzia, assumendo i seguenti valori:

- ritiro $< 1\%$ in direzione assiale;
- $3\% < \text{ritiro} < 6\%$ in direzione radiale;
- $5\% < \text{ritiro} < 12\%$ in direzione tangenziale.

Quindi, le variazioni dimensionali che accompagnano la perdita di umidità del legno sono piuttosto lievi parallelamente alla fibratura e considerevoli lungo le direzioni radiali e tangenziali.

Data l'anisotropia con cui si manifesta il fenomeno del ritiro è chiaro che gli elementi ottenuti dalla segatura del tronco possono presentare variazioni di forma a seconda dell'orientamento del piano di taglio rispetto agli anelli di accrescimento.

Il legno è resistente al calore, al gelo, alla corrosione e all'inquinamento e pertanto non richiede trattamenti chimici per durare nel tempo, l'unico fattore che deve essere tenuto sotto controllo è l'umidità.

1.2. Difetti del legno

Le caratteristiche del legno sono fortemente influenzate dalla presenza di difetti, come per esempio i nodi, e dai danni provocati da microrganismi, come funghi e insetti.

La presenza di difetti riduce le proprietà meccaniche del legno, i quali si dividono in:

- difetti dovuti alla lavorazione;
- difetti naturali.

I difetti dovuti alla lavorazione dipendono dal modo in cui viene effettuato il taglio, che può generare il fenomeno del ritiro nelle tre direzioni anatomiche del legno, o da una cattiva stagionatura, e prendono il nome di:

- *imbarcatura trasversale*: curvatura dell'asse perpendicolarmente alle fibre;
- *imbarcatura longitudinale*: curvatura dell'asse parallelamente alle fibre;
- *svergolatura*: deformazione torsionale dell'asse che subisce un'imbarcatura sia trasversale che longitudinale.
- *arcuatura*: curvatura che assumono le tavole di legno umide, seccandosi.

La corretta stagionatura del legno è quindi un'operazione di grande importanza, può essere effettuata in maniera naturale o artificiale.

La stagionatura naturale si effettua tagliando i tronchi ed esponendoli in ambienti arieggiati al riparo dalla pioggia, richiede tempi lunghi.

La stagionatura artificiale richiede tempi più brevi, ma trattandosi di una stagionatura accelerata presenta degli svantaggi visibili nel tempo.

I principali difetti naturali, generalmente riconducibili ad qualche irregolarità di accrescimento, sono:

- nodi;
- cipollature;
- fenditure radiali;
- eccentricità del midollo.

Nodi

I nodi rappresentano delle porzioni di rami contenute all'interno del tronco, sono dovuti ad una crescita anomala dei rami nel durame, hanno una massa volumetrica diversa da quella del legno circostante e durante la stagionatura si ritirano più velocemente rispetto alle altre parti del legno e pertanto, essendo elementi di discontinuità e difformità del legno costituiscono un difetto.

Analizzando la sezione trasversale dei rami, si può notare che hanno la stessa struttura del tronco, e quindi anch'essi presentano un midollo centrale, gli anelli di accrescimento, il durame, l'alburno, il cambio e la corteccia. I rami si accrescono, partendo dal midollo del tronco, in direzione orizzontale o poco inclinata.

La continuità del tessuto del cambio garantisce la continuità del tessuto legnoso tra tronco e ramo, in questo caso si parlerà di "nodo sano".

Quando un ramo muore diventa un corpo estraneo a contatto con il tronco, e come tale viene gradualmente inglobato dalla crescita di quest'ultimo, in tal modo avviene la formazione dei "nodi morti". Man mano che il tronco cresce, ricopre e maschera del tutto questi nodi, sino a rendere indistinguibili le zone in cui essi erano presenti.

Nelle assi i nodi si configurano come piccoli cerchi di colore diverso, i nodi vivi sono quelli attaccati al legno circostante e non compromettono le proprietà meccaniche, mentre i nodi morti sono quelli che si staccano dal legno lasciando i buchi e di conseguenza rendono inutilizzabile l'elemento.

Quindi, la presenza di nodi incide sulla la resistenza a rottura, sulla deformabilità e sulla formazione di fessure.

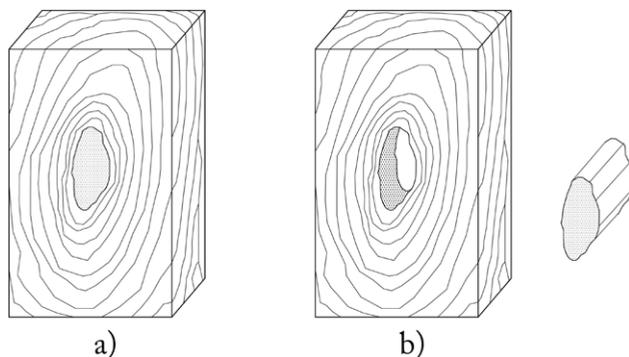


Figura 1.3. Schematizzazione dei nodi: a) nodo vivo – b) nodo morto

Cipollature

Le cipollature sono difetti dovuti al distacco tra due anelli annuali di accrescimento, si manifestano maggiormente sul legno stagionato, e sono causate da diversi fattori, come per esempio:

- differenze di accrescimento dei cerchi annuali in dipendenza del clima, del terreno ecc.;
- azioni meccaniche (vento, fulmini, gelo e disgelo, ecc.);
- azioni fungine;
- taglio fuori stagione.

La presenza di cipollature determina una riduzione delle proprietà meccaniche e pertanto il legno con questo tipo di difetto non può essere utilizzato come legno da costruzione.

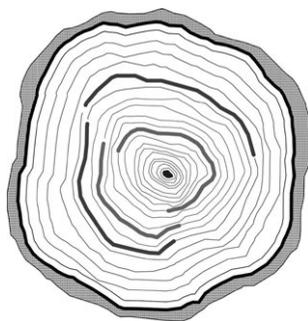


Figura 1.4. Cipollature

Fenditure radiali

Sono difetti dovuti a sbalzi di temperatura, determinano delle lesioni nel durame con direzione radiale, dall'esterno verso l'interno, che alterano la continuità dei tessuti legnosi, compromettendone la forma, la struttura e la funzionalità.

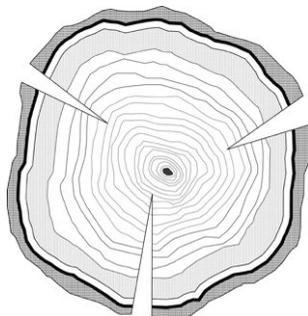


Figura 1.5. *Fenditure radiali*

Eccentricità del midollo

Si parla di eccentricità del midollo quando la sua posizione è spostata verso l'esterno rispetto al centro del tronco; è un difetto tipico di alberi che crescono su pendii molto ripidi o in zone molto ventose. L'eccentricità del midollo determina anche l'eccentricità degli anelli di accrescimento a cui si accompagna una ovalizzazione della sezione trasversale, ciò in fase di stagionatura comporta un ritiro differente dovuto alla diversa densità e ne consegue una difficoltà di lavorazione.

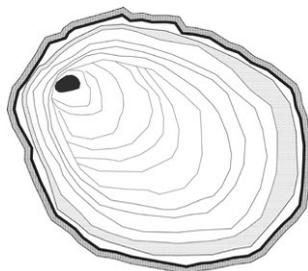


Figura 1.6. *Eccentricità del midollo*

» 1.3. Proprietà fisiche e meccaniche del legno

Le proprietà fisiche forniscono informazioni sulla natura e sulla struttura del legno, esse sono:

- *densità*: è il rapporto tra la massa legnosa e il volume;
- *peso specifico*: è funzione della densità e della quantità di acqua contenuta. Generalmente il peso specifico viene rilevato dopo il periodo di stagionatura;

- *igroscopicità*: è quella proprietà legata all'umidità e alla temperatura che consente ai legnami di deformarsi;
- *porosità*: è la capacità di assorbire l'umidità;
- *ritiro*: è il fenomeno che determina la variazione di volume per effetto dell'umidità e della temperatura.

Le caratteristiche meccaniche del legno dipendono da molteplici fattori, quali: l'essenza, il peso specifico secco, il grado di umidità, la direzione delle fibre rispetto alla sollecitazione e i difetti del legno stesso.

Le proprietà meccaniche forniscono informazioni sul modo di reagire alle sollecitazioni, esse sono:

- *durezza*: è la capacità del materiale a resistere alla penetrazione di altri corpi;
- *resistenza*: è la capacità del legno di resistere a forze e sollecitazioni senza rompersi;
- *elasticità*: è la capacità dei legnami a ritornare allo stato iniziale dopo aver subito una sollecitazione, soprattutto se sollecitati a flessione;
- *tenacità*: è la proprietà che determina la resistenza del legno a sforzi dinamici.

La deformabilità del legno sotto l'azione di una forza applicata, è espressa in termini di moduli di elasticità e di coefficienti di scorrimento, mentre la capacità portante alle varie sollecitazioni viene espressa in termini di resistenze.

Considerando l'anisotropia del legno, che lo rende un materiale non omogeneo, il valori delle resistenze meccaniche caratteristiche devono essere intesi come valori indicativi e devono essere calcolate non sulla media dei valori registrati per la sollecitazione, bensì sui valori minimi in modo da poter garantire una maggiore sicurezza.

Un'importante considerazione da fare è che un provino di legno fornisce proprietà meccaniche differenti un funzione della temperatura e dell'umidità a cui è sottoposto, e che provini differenti possono fornire valori di resistenza differenti in funzione della presenza di difetti.

Inoltre la deformazione e la resistenza sono strettamente legate alla durata delle sollecitazioni applicate.

Per comprendere come si comporta il legno sotto l'azione di un carico assiale, analizziamo il diagramma tensioni-deformazioni (σ - ϵ), che sintetizza i risultati della prova di compressione di un provino di legno, costituito da un parallelepipedo con fibratura parallela alla lunghezza.

Mediante la prova di compressione otterremo, al variare del carico, coppie di valori di tensioni e deformazioni.

Si definisce tensione la forza che si trasmette mediante una superficie unitaria e si misura in N/m^2 , poiché le tensioni del legno possono assumere valori elevati spesso vengono espresse in Megapascal (MPa), pari a ad $1 N/mm^2$.

Le tensioni sono essenzialmente di due tipi:

- *tensioni normali*: sono orientate perpendicolarmente all'elemento di superficie considerato e si indica generalmente con la lettera greca σ ;
- *tensioni tangenziali*: sono orientate parallelamente all'elemento di superficie considerato e di indicano generalmente con la lettera greca τ .

In una trave, le tensioni normali σ possono essere generate da sollecitazioni di trazione e compressione longitudinale, o da sollecitazioni di flessione. Mentre le tensioni tangenziali τ possono essere generate da sollecitazioni di taglio o torsione.

Le sollecitazioni sono generate da forze che agiscono su un corpo.
Le tensioni σ si determinano con la formula:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

dove:

F è il carico che agisce sul provino;

A è l'area della sezione trasversale in cui è applicato il carico.

Le deformazioni ε si determinano con la formula:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

dove:

Δl è la variazione dimensionale generata dall'applicazione dello sforzo;

l è la lunghezza del provino.

Riportando i valori ottenuti nel diagramma σ - ε otterremo una curva in cui il tratto ha andamento rettilineo, ovvero il provino ha un comportamento elastico-lineare, nel quale le deformazioni sono direttamente proporzionali alle tensioni agenti e quindi la legge di Hooke è soddisfatta, la quale si traduce nella seguente equazione:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

dove:

E è una costante, chiamata modulo di elasticità o Modulo di Young, che geometricamente è il coefficiente angolare del tratto e si determina con la seguente espressione:

$$E = tg\alpha$$

Durante la fase elastica le deformazioni indotte sono reversibili, al raggiungimento del *limite di proporzionalità* (punto A) inizia la fase plastica, ovvero la curva non ha più un andamento rettilineo e le deformazioni indotte dal carico sono irreversibili. Raggiunto il *limite di plasticità* (punto B) il materiale ha un comportamento imprevedibile e aumentando ulteriormente il carico si giunge al *limite di rottura*. La tensione che corrisponde al limite di rottura si definisce *resistenza* del legno.

Possiamo, quindi, concludere che il legno sottoposto a sollecitazioni ha un comportamento di tipo elasto-plastico, ovvero all'aumentare della forza aumenta la deformazione sino al raggiungimento del limite di proporzionalità, oltrepassato questo limite le deformazioni crescono in modo più che proporzionale ed aumentano fino alla rottura.

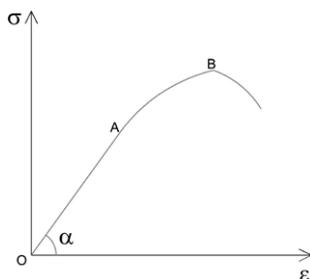


Figura 1.7. Diagramma tensioni-deformazioni (σ - ϵ)

Durezza

La durezza indica la resistenza del materiale ad opporsi alla penetrazione di altri corpi; le prove di durezza consistono nel misurare l'area di impronta lasciata sulla superficie da un altro corpo (penetratore) adeguatamente caricato su un provino. Esistono diverse scale per misurare la durezza dei materiali, che variano in funzione dell'apparecchio e della forma del penetratore, le più usate sono:

- *durezza Brinell*: viene espressa in N/mm^2 ed è il rapporto tra la forza applicata e la superficie della calotta sferica dell'impronta lasciata nel legno da una sfera di acciaio avente diametro di 10 mm;
- *durezza Janka*: viene espressa in N ed è data dalla forza necessaria per far penetrare nel legno, una sfera di acciaio, avente diametro 11,28 cm, per una profondità pari al suo raggio;
- *durezza Chalais-Meudon* o *durezza di fianco*: consiste nell'applicare un carico costante di 1 kN per ogni cm di larghezza del provino, mediante un punzone cilindrico avente raggio di 15 mm e lunghezza pari alla larghezza del provino; la durezza viene espressa in funzione della profondità di penetrazione del cilindro, determinata in base all'impronta lasciata sulla superficie del provino.

Resistenza

La resistenza indica la capacità del legno di resistere alle diverse sollecitazioni e pertanto avremo:

- *resistenza a compressione assiale*: è il rapporto fra il carico ultimo applicato in direzione parallela alla fibratura e l'area della sezione trasversale. Un'elevata resistenza a compressione assiale è utile negli elementi presso-inflessi;
- *resistenza a compressione trasversale*: è il rapporto fra il carico ultimo applicato in direzione ortogonale alla fibratura e l'area della sezione trasversale. Un'elevata resistenza a compressione trasversale è utile negli appoggi trave-colonna;
- *resistenza a trazione*: è il rapporto fra il carico ultimo e l'area della sezione trasversale. Una buona resistenza a trazione è importante per le catene delle capriate;
- *resistenza a flessione*: la sollecitazione di flessione è associata ad una deformazione curvilinea del provino, dove la parte concava ha subito un accorciamento, mentre la parte convessa un allungamento. La resistenza a flessione è importante dove il rapporto tra la luce libera e lo spessore del pezzo è elevato;

- *resistenza a taglio*: a causa dell'anisotropia del legno, le rotture per effetto del taglio avvengono lungo le superfici parallele alla fibratura. La resistenza a taglio è importante dove il rapporto tra la luce libera e lo spessore del pezzo è basso ed i carichi sono elevati;
- *resistenza a carico di punta*: in corrispondenza di un certo carico critico, gli elementi strutturali snelli, soggetti ad un carico assiale, si inflettono e giungono a rottura prima che sia raggiunto il limite di rottura a compressione assiale. Questo tipo di comportamento è tipico dei puntoni di una capriata.

Elasticità

Il modulo di elasticità E (modulo di Yang) generalmente può essere determinato mediante la prova di flessione o mediante metodi dinamici, come ad esempio lo studio delle vibrazioni, che si possono ottenere stimolando un provino in vario modo. In generale possiamo affermare che il modulo di elasticità calcolato con i metodi dinamici risulta maggiore di quello calcolato mediante la prova di flessione.

Un altro metodo per la determinazione del modulo di Young è lo studio del tempo di propagazione delle onde d'urto all'interno del legno. Questo tipo di prova è utilizzata per la determinazione del modulo di Young su elementi strutturali in opera o per l'individuazione delle zone degradate del legno non visibili ad occhio nudo.

1.4. Durabilità e degrado del legno

La biodegradabilità del legno, a volte è considerata un vantaggio ma costituisce un aspetto da non sottovalutare per la sua conservazione e durata nel tempo dopo la posa in opera.

In determinate condizioni di impiego, il legno è un materiale estremamente durevole, tant'è vero che in Giappone, paese con un clima piuttosto umido, si ritrovano degli edifici sacri in legno ancora integri dopo circa 1300 anni.

La durabilità delle opere realizzate con prodotti in legno strutturali è ottenibile mediante un'accurata progettazione dei dettagli esecutivi.

Al fine di garantire alla struttura adeguata durabilità, si devono considerare i seguenti fattori tra loro correlati (paragrafo 11.7.9.1 delle NTC 2008):

- la destinazione d'uso della struttura;
- le condizioni ambientali prevedibili;
- la composizione, le proprietà e le prestazioni dei materiali;
- la forma degli elementi strutturali ed i particolari costruttivi;
- la qualità dell'esecuzione ed il livello di controllo della stessa;
- le particolari misure di protezione;
- la probabile manutenzione durante la vita presunta.

adottando in fase di progetto idonei provvedimenti volti alla protezione dei materiali.

Il deterioramento del legno può essere causato da vari fattori:

- *fattori di origine biologica*: attacco di insetti (che possono scavare nel legno gallerie, fino a ridurlo in polvere) o di organismi xilofagi, per esempio i funghi (che possono provocare alterazioni cromatiche e marciume, sinonimo di carie);
- *agenti atmosferici*: sbalzi di umidità e di temperatura.

Il degradamento biologico del legno da parte di funghi e insetti xilofagi può essere innescato da particolari condizioni dipendenti dalla temperatura e dall'umidità, e più precisamente temperatura dell'aria compresa tra i 18° ed i 30 °C e contenuto d'acqua nel legno superiore al 20%, pertanto si deve cercare di mantenere il legno al di sotto di tale soglia di umidità per evitare l'attacco di funghi ed evitare il contatto con il terreno per evitare l'attacco da parte di insetti, come ad esempio le termiti.

Nonostante la sensibilità agli agenti atmosferici, il legno può avere una buona durabilità se viene utilizzata la specie botanica più idonea e se i dettagli costruttivi sono stati progettati e realizzati in modo da non far ristagnare l'acqua sulle superfici.

Ogni specie botanica è caratterizzata dalla sua durabilità naturale. Si definisce *durabilità naturale* di una specie legnosa, la capacità del legno di mantenere nel tempo le proprie caratteristiche fisiche e meccaniche nei confronti del degradamento dovuto a fattori climatici e biologici, senza essere trattato con sostanze preservanti.

Il legno può essere conservato mediante prodotti chimici contro il deterioramento, e pertanto un altro aspetto del legno, da non sottovalutare, è la sua trattabilità, ovvero la capacità del legno di assorbire liquidi, in particolare, preservanti.

Il legno ed i materiali a base di legno, per essere utilizzati come materiali da costruzione, devono possedere un'adeguata durabilità naturale per la classe di rischio prevista in servizio, oppure devono essere sottoposti ad un trattamento preservante adeguato. Le norme europee che trattano il tema della durabilità del legno, citate anche nelle NTC 2008, sono:

- UNI EN 350-1: fornisce le linee guida per la determinazione della durabilità naturale del legno massiccio sottoposto all'attacco di organismi xilofagi;
- UNI EN 350-2: fornisce indicazioni sulla durabilità e l'impregnabilità di alcune specie legnose in ambito europeo;
- UNI EN 351-1: descrive il metodo di classificazione della penetrazione e ritenzione del preservante nei legnami impregnati;
- UNI EN 335: definisce cinque classi di utilizzo (rischio biologico) e i relativi requisiti di durabilità naturale in funzione alle condizioni di servizio;
- UNI EN 460: fornisce una guida ai requisiti di durabilità naturale per il legno da utilizzare nelle classi di rischio.

	Specie legnosa	Funghi	Insetti xilofagi			
			Cerambiciti	Anobidi	Lictidi	Termiti
C O N I F E R E	Abete bianco	4	S	S	–	S
	Abete rosso	4	S	S	–	S
	Douglasia	3-4	S	S	–	S
	Larice	2	S	S	–	S
	Pino pece	3	S	S	–	M-S
	Pino silano	4-5	S	S	–	S
	Pino silvestre	3-4	S	S	–	S

segue »

	Specie legnosa	Funghi	Insetti xilofagi			
			Cerambiciti	Anobidi	Lictidi	Termiti
L A T I F O G L I E	Castagno	2	S	S	D	M
	Cerro	4	S	S	S	M
	Faggio	5	S	S	D	S
	Farnia	2	S	S	S	M
	Pioppo	5	S	S	D	S
	Rovere	2	S	S	S	M
1=Molto durabile; 2=Durabile; 3=Moderatamente durabile; 4=Poco durabile; 5=Non durabile D=Durabile; M=Moderatamente durabile; S=Attaccabile						

Tabella 1.1. Durabilità naturale di alcune specie legnose, norme UNI EN 350-2

Classe di impregnabilità	Descrizione	Comportamento all'impregnazione
1	Impregnabile	Facile da impregnare; i segati possono essere penetrati completamente senza difficoltà mediante trattamento a pressione.
2	Moderatamente impregnabile	Abbastanza facile da impregnare; normalmente non è possibile una penetrazione completa, ma con un trattamento a pressione di 2÷3 ore si può raggiungere una penetrazione laterale di 6 mm nelle conifere e di un'alta percentuale dei vasi nelle latifoglie.
3	Poco impregnabile	Difficile da impregnare; un trattamento a pressione da 3 a 4 ore permette al più una penetrazione laterale compresa fra 3 mm e 6 mm.
4	Non impregnabile	Virtualmente impossibile da impregnare; scarsa quantità di preservante assorbita anche dopo 3÷4 ore di impregnazione a pressione; la penetrazione laterale e longitudinale è minima.

Tabella 1.2. Impregnabilità dei legnami, norme UNI EN 350-2