

LA PROGETTAZIONE DELLE STRUTTURE IN LEGNO

prof. Ing. Bruno Calderoni

Dipartimento di Ingegneria Strutturale - Università di Napoli Federico II



Spoletto – 20÷21 marzo 2012

1/80

Indice

- 1 - Il legno come materiale strutturale**
- 2 - Le proprietà meccaniche del legno**
- 3 - La verifica degli elementi strutturali**
- 4 - I collegamenti nelle strutture lignee**



Prof. Ing. Bruno Calderoni - D.I.ST. – Università di Napoli Federico II

2/80

LA PROGETTAZIONE DELLE STRUTTURE IN LEGNO

Parte 1: IL LEGNO COME MATERIALE STRUTTURALE



Prof. Ing. Bruno Calderoni - D.I.ST. – Università di Napoli Federico II

3/80

La "materia prima" del legno strutturale

Gli alberi producono il legno

- il legno è un prodotto naturale
- esistono più di 5000 specie legnose
- vi possono essere notevoli differenze:
 - tra le diverse specie
 - all'interno della stessa specie
- per usi strutturali si utilizzano:
 - al massimo 10 specie
 - solo alcune parti dell'albero



4/80

La "materia prima" del legno strutturale

- le FOGLIE:

- fotosintesi clorofilliana
- resistenza al vento

- i RAMI:

- trasporto sostanze nutritive
- esposizione delle foglie alla luce
- sostegno delle foglie

- il TRONCO:

- trasporto sostanze nutritive
- immagazzinamento sostanze
- orientamento crescita
- rigidità e resistenza

- le RADICI:

- assorbimento sostanze nutritive dal terreno
- ancoraggio dell'albero al suolo

L'albero è una struttura con funzioni sia biologiche che meccaniche

5/80

La struttura macroscopica del legno

Le sezioni del tronco e gli anelli di accrescimento

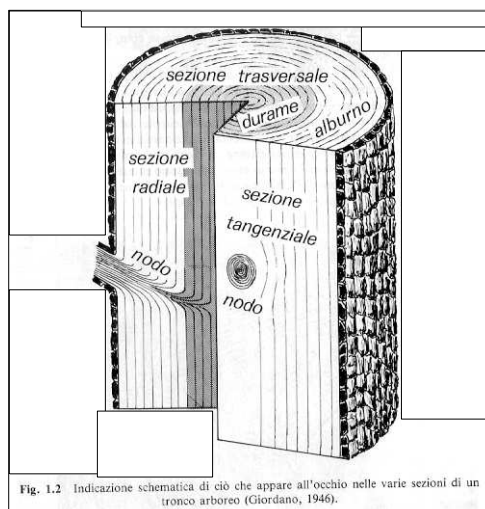
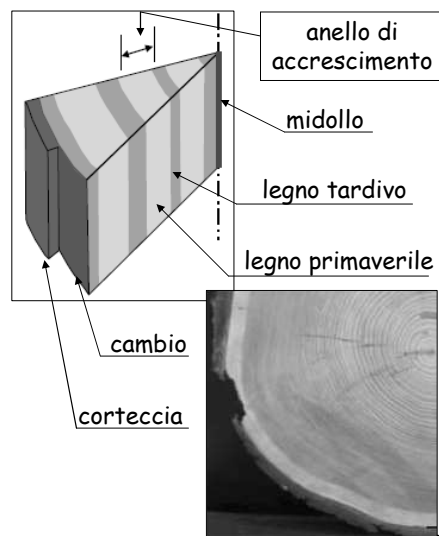


Fig. 1.2 Indicazione schematica di ciò che appare all'occhio nelle varie sezioni di un tronco arboreo (Giordano, 1946).

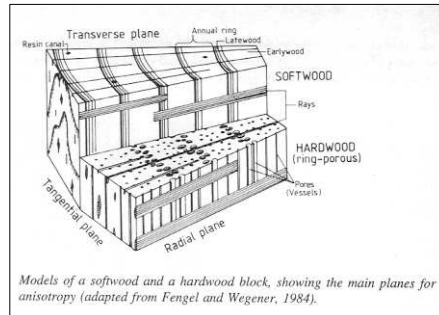
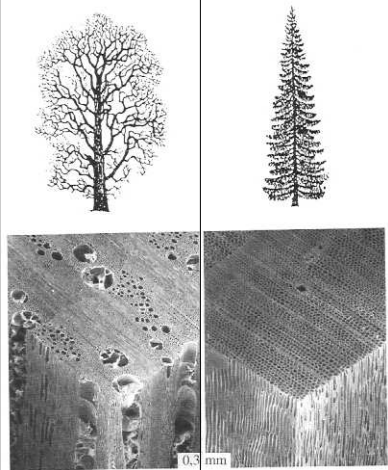


6/80

La struttura microscopica del legno

Latifoglie
(hardwood)

Conifere
(softwood)



Tessuto fondamentale: cellule fusiformi (tracheidi)

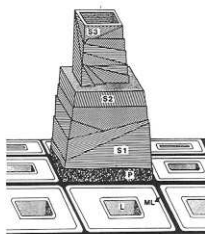
Tessuto conduttore: cellule tubolari (vasi)

Tes.to parenchimatico: cellule orizzontali (raggi midollari)

7/80

La nano-struttura

Organizzazione delle
fibre nelle pareti
cellulari



Schematic of the general wall architecture of normal wood fibers. Key: L, cell lumen; ML, middle lamella; P, primary wall; and S₁, S₂, and S₃ layers of the secondary wall (adapted from Parham and Gray, 1984).

La struttura molecolare

Composizione chimica:

- Carbonio (C) 50 %
- Ossigeno (O) 44 %
- Idrogeno (H) 6 %
- Altro 0.x %

Sostanze costituenti il legno:

- Cellulosa 45-50%
rigidezza e resistenza a trazione
- Emicellulosa 20-25%
elasticità
- Lignina 18-30%
adesione
rigidezza e resistenza a compressione
- Essenze diverse (estrattivi) 5%
caratteristiche particolari e
durabilità

8/80

Le caratteristiche fisiche del legno

L'Alburno e il Durame

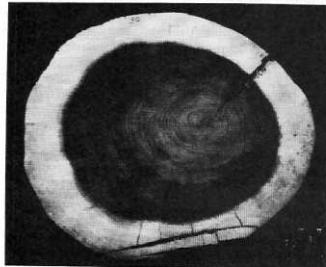


Fig. 1.3 Sezione di un tronco di Noce a durame nettamente differenziato (Foto Giordano, 1960).

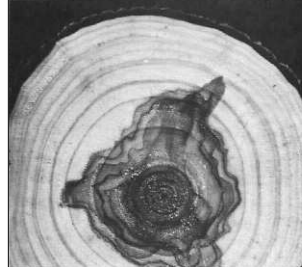
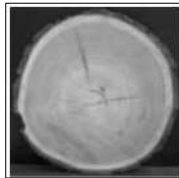
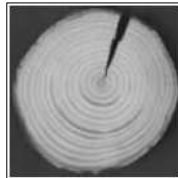


Fig. 1.4 Durame del tipo "a mosaico" nella parte basale di un Pioppo di coltura: nella zona scura il contenuto d'acqua è particolarmente elevato (Foto Giordano, 1980).

larice-quercia-robinia



abete



faggio-frassino



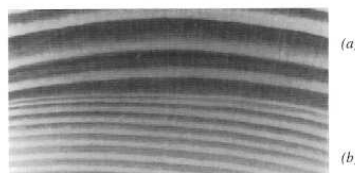
9/80

I difetti naturali del legno

Il legno di reazione

Legno di compressione
(conifere)

Legno di trazione
(latifoglie)



Compression wood in spruce (*Picea abies*). (a) compression wood; (b) normal wood.

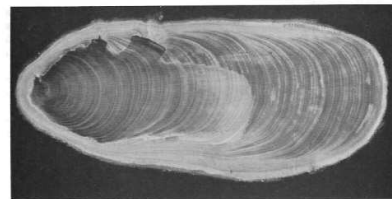


Fig. 1.38a Sezione basale di un fusto di Abete rosso fortemente incurvato nella parte inferiore perché radicato su ripido pendio soggetto a rilevanti accumuli di neve. Si noti l'estrema eccentricità dell'asse midollare e l'estensione del legno di compressione caratterizzato da tinta più cupa (Foto Giordano, 1960).

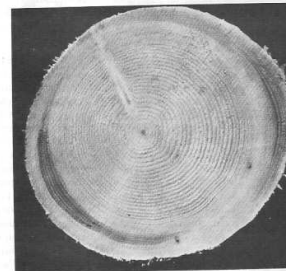
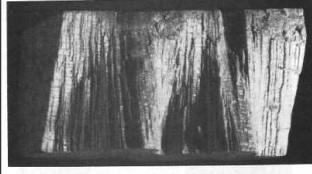


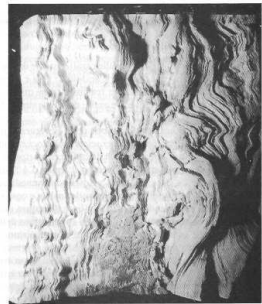
Fig. 1.38b Sezione di un fusto di Abete rosso che per cause accidentali è stato negli ultimi anni portato ad avere inclinazioni pressoché opposte; si noti che le due tracce di legno di compressione (o "canastro") corrispondono a due periodi ben distinti (Foto Giordano, 1970).

80

I difetti naturali del legno



36 Campione di legno ottenuto di spacco, mostrante la forte deviazione incrociata della fibratura: specie legnosa Obeco (Foto Giordano, 1985).



37 Esempio di fibratura fortemente irregolare in un frammento di legno di Eucalipto (Foto Giordano, 1978).

La deviazione della fibratura



Fig. 1.47 Deviazione localizzata della fibratura derivante dall'infrissione di un arpione metallico in un fusto di Frassino (Foto Giordano, 1991).

11/80

I difetti naturali del legno



The lateral branch is connected to the pith of the main stem. Each successive growth ring or layer forms continuously over the stem and branches.

La deviazione delle fibre attorno ai nodi

I nodi

I rami attraversano il tronco trasversalmente



Figure 8
A softwood board may show knots in clusters separated by the often clear wood of the internodes.



Figure 9
Tension failure of a spruce board caused by fibre inclination around a knot.

12/80

I difetti naturali del legno

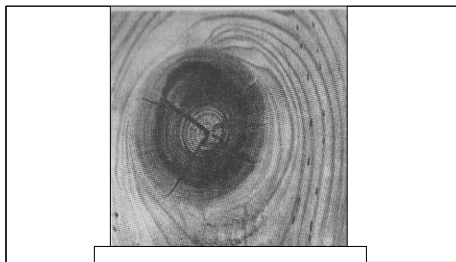


Fig. 1.46 Nodo "aderente", e cioè senza inclusione di corteccia tra il legno del fusto e legno del ramo. Nel corso della stagionatura il ritiro tangenziale della sezione del ramo, superiore al ritiro radiale dello stesso, provoca inevitabilmente delle fessurazioni a stella (Foto Giordano, 1980).

I nodi

Un nodo aderente

Sequenze di nodi in tronchi e in tavole

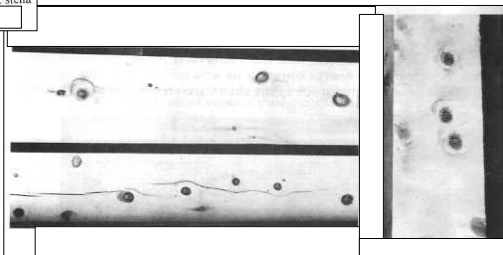


Fig. 1.43 A sinistra in alto: Presenza normale di nodi in una tavola che da essi non viene fortemente pregiudicata nelle sue caratteristiche di resistenza; in basso: tronco scortecciato presentante una abbondante nodosità. A destra: "Nido di nodi" ravvicinati infirmante seriamente la resistenza della tavola (Foto Giordano, 1990).

13/80

I difetti naturali del legno

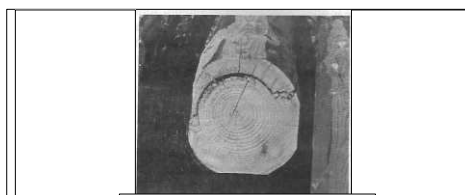


Fig. 1.33 Cipollatura in una trave di Abete bianco (Foto Giordano, 1946).

Le cipollature

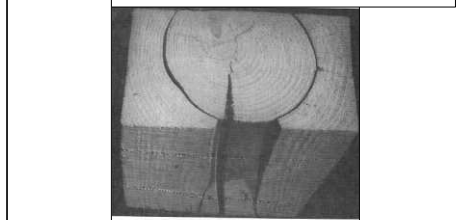


Fig. 1.34 Testata di trave di Abete bianco con cipollatura tanto estesa da impedire qualsiasi impiego (Foto Giordano, 1989).

14/80

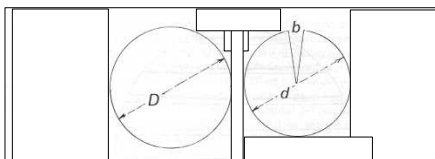


Fig. 1.14 (a sinistra) Sezione trasversale di un tronco allo stato fresco; (a destra): la stessa sezione dopo stagionatura.

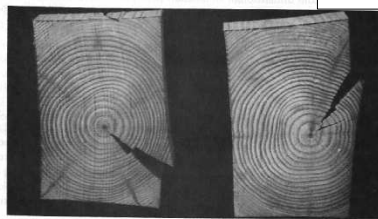
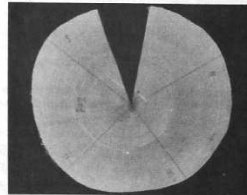


Fig. 1.15 Aspetto del ritiro naturale da stagionatura all'aria libera nella sezione trasversale di un tronco di Faggio e nella sezione trasversale di due travi di Abete. I bordi delle fenditure seguono esattamente l'andamento dei raggi midollari (Foto Giordano, 1990).

I difetti naturali del legno

Le fessurazioni

Le fenditure a V da ritiro

15/80

I difetti naturali del legno

Le fessurazioni

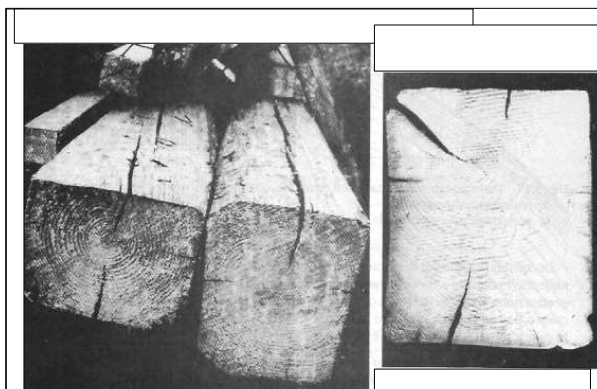


Fig. 1.16 Normali fenditure da ritiro in travi di Abete "centrate" vale a dire contenenti l'asse midollare, dopo stagionatura (Foto Giordano, 1982).

Travi in legno massiccio dopo la stagionatura

16/80

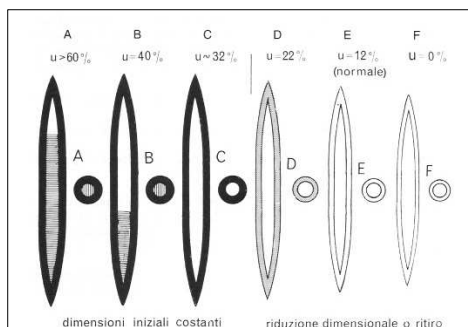


Fig. 1.10 — Rappresentazione schematica del comportamento di una singola fibra legnosa partendo dallo stato fresco e passando per le diverse fasi della stagionatura naturale all'aria e terminando poi con lo stato anidro ottenuto in stufa riscaldata a 103 °C.

- A: allo stato fresco, e cioè nell'albero vivente la cavità cellulare è totalmente o parzialmente riempita d'acqua libera (= linfa) mentre le pareti cellulari sono sature d'acqua;
 B: dopo l'abbattimento dell'albero il fusto comincia a perdere una certa parte dell'acqua libera, ma le pareti cellulari permangono ancora completamente sature e non subiscono alcuna variazione dimensionale;
 C: continuando la perdita di umidità per effetto dell'azione essiccante dell'aria si perviene al punto di saturazione delle pareti cellulari in corrispondenza del quale non vi è più acqua libera nell'interno delle cavità cellulari, ma vi è ancora tutta l'acqua collegata alle pareti: è appena da questo momento che hanno inizio le diminuzioni dimensionali che vengono indicate col nome di "ritiro";
 D: proseguendo l'esposizione all'aria viene progressivamente ad eliminarsi una parte dell'acqua collegata alle pareti mentre si manifestano i ritiri;
 E: l'azione disidratante dell'aria viene a cessare quando tra legno e aria ambiente si è stabilito l'equilibrio igroscopico: tale condizione, per aria a 20 °C e umidità relativa del 60-65%, comporta nel legno una umidità normale del 12%;
 F: la semplice esposizione all'aria non è sufficiente a far pervenire il legno allo stato anidro: per raggiungere tale condizione (che ovviamente determina il massimo ritiro possibile) è necessario ricorrere a procedimenti artificiali di essiccazione notando però che legno anidro, se esposto all'aria, riassorbe rapidamente umidità sino allo stabilirsi di un nuovo equilibrio igrometrico.

Le caratteristiche fisiche del legno

L'umidità interna

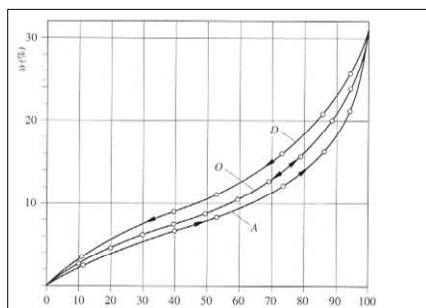
$$w = m_w/m_o \times 100$$

- Lo stato fresco ($w > 60\%$)
(cavità cellulari piene d'acqua)
- Il punto di saturazione delle fibre ($w \approx 28-32\%$)
- Lo stato di equilibrio normale ($w \approx 12\%$)

17/80

Le caratteristiche fisiche del legno

Il comportamento adsorbitivo



Sorption isotherms for spruce at 20 °C (Stamm 1964). Moisture content (w) versus relative humidity (ψ). A: adsorption; D: desorption; O: oscillating sorption.

Tab. 1.1 — Umidità u del legno in relazione alla temperatura e all'umidità relativa dell'aria ambiente

Umidità relativa dell'aria	Temperature in gradi centigradi									
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
5%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
10%	3%	3%	3%	2%	2%	2%	2%	2%	1%	1%
15%	4%	4%	4%	3%	3%	3%	3%	2%	2%	2%
20%	5%	5%	5%	4%	4%	4%	3%	3%	3%	2%
25%	6%	5%	5%	5%	5%	5%	4%	4%	3%	3%
30%	6%	6%	6%	6%	6%	5%	5%	4%	4%	3%
35%	7%	7%	7%	7%	6%	6%	5%	5%	4%	4%
40%	8%	8%	8%	7%	7%	6%	6%	6%	5%	4%
45%	9%	9%	9%	8%	8%	7%	7%	6%	6%	5%
50%	10%	10%	9%	9%	8%	8%	7%	7%	6%	6%
55%	11%	10%	10%	10%	9%	9%	8%	7%	7%	6%
60%	12%	11%	11%	11%	10%	10%	9%	8%	7%	7%
65%	13%	12%	12%	12%	11%	10%	10%	9%	8%	8%
70%	14%	14%	13%	13%	12%	11%	11%	10%	9%	8%
75%	15%	15%	15%	14%	13%	13%	12%	11%	10%	9%
80%	17%	17%	16%	16%	15%	14%	14%	13%	12%	11%
85%	19%	19%	18%	18%	17%	16%	15%	14%	13%	12%
90%	22%	22%	21%	20%	19%	18%	17%	16%	15%	14%
95%	27%	26%	25%	24%	23%	22%	21%	20%	19%	18%
100%	33%	32%	31%	30%	29%	28%	27%	26%	25%	24%

(L'umidità è espressa in % del peso assolutamente secco del legno).

18/80

Le caratteristiche fisiche del legno

Il ritiro ed il rigonfiamento

Ritiro totale volumetrico $\approx 15\%$
(da fresco ad anidro)

Ritiro lineare long. $\approx 0.25\%$
(da fresco a u = 12%)

Ritiro lineare trasv. medio $\approx 5\%$
(da fresco a u = 12%)

Ritiro longit. $\approx 1/20$ ritiro trasv.

Ritiro radiale $\approx 1/2$ ritiro tangenziale

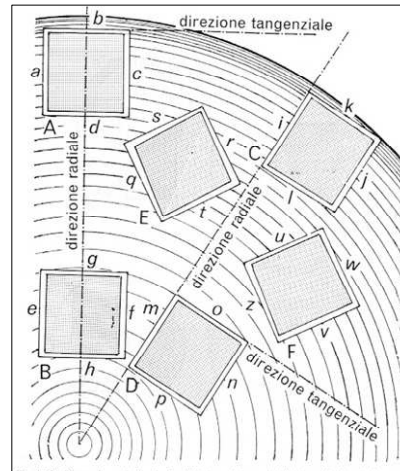


Fig. 1.18 Rispondenza degli spigoli e delle facce dei provini al ritiro nelle direzioni anatomiche trasversali:
provino A: *a* e *b* coincidono con le direzioni tangenziali mentre *c* e *d* senza apprezzabile errore possono venir considerati in direzione radiale;
provino B: mentre *g* e *h* possono considerarsi orientati in direzione tangenziale, *e* e *f* non corrispondono assolutamente alla direzione radiale;
provino C: *i* è rigorosamente in direzione radiale, ma non così *j* mentre *k* ed *l* possono considerarsi orientati in direzione tangenziale per buona parte del loro sviluppo;
provino D: *m* è rigorosamente in direzione radiale, ma non così *n* mentre *o* e *p* coincidono con la direzione tangenziale soltanto per breve tratto;
provino E: *q*, *r*, *s*, *t* sono tutti orientati in direzioni trasversali;
provino F: *v* è orientato in direzione radiale, *w* e *z* sono poco lontani dalla direzione radiale mentre *u* è in direzione diagonale.

19/80

I difetti del legno

Le deformazioni dovute al ritiro

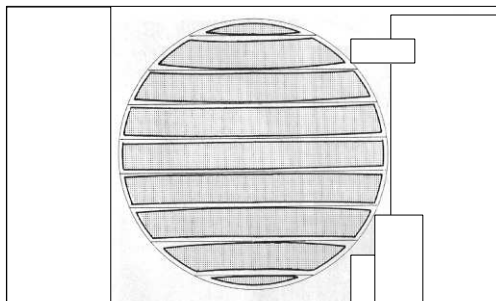


Fig. 1.13 Ritiri e deformazioni delle tavole segate "in parallelo" da un tronco fresco di taglio: alle estremità superiore ed inferiore appaiono gli sciaveri che fanno parte delle perdite di lavorazione.

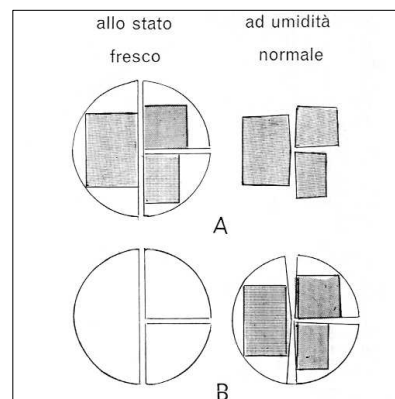
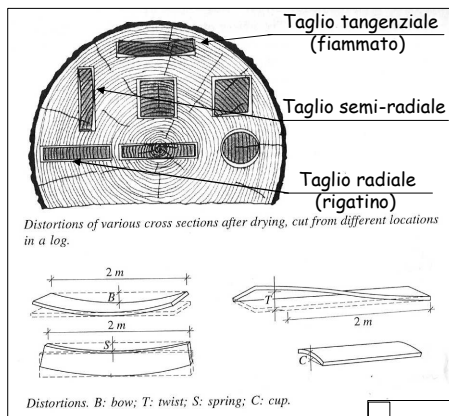


Fig. 1.19 Per ottenere delle travi prive di fenditure da ritiro: se si tratta di sezioni piuttosto grandi (lati > 30 cm) è necessario ricorrere a composizioni lamellari;
— per sezioni minori travi massicce si possono ottenere dalla sezionatura per il lungo di tronchi freschi di taglio, eliminando l'asse midollare: di poi si presentano due soluzioni alternative:
A) si squadrano subito, sempre sul fresco, le parti in cui il tronco è stato suddiviso, in conformità delle sezioni che si vogliono ottenere, tenendo però conto del ritiro che interverrà con la stagionatura. La lavorazione è rapida e semplice, ma con la progressiva perdita di umidità le sezioni si deformeranno;
B) avvenuta la segazione dei fusti per il lungo, le parti ottenute vengono lasciate stagionare all'aria: durante tale periodo si verificheranno dei ritiri, ma senza fessurazioni. Una volta che sia raggiunta una umidità prossima alla normale (12%) si procederà alla squadratura nelle forme e dimensioni volute. Questa soluzione immobilizza il materiale per un tempo notevole ed è di meno agevole esecuzione della alternativa A, ma presenta il vantaggio di dare sezioni rettangolari non deformate né negli angoli, né ai lati.

20/80

I difetti del legno



Le distorsioni degli elementi lignei

Le possibili distorsioni delle tavole

I limiti alle distorsioni

Type of distortion	Grade fitting into strength class	
	C18 and below	Higher classes
Bow	20	10
Spring	12	8
Twist	2 mm/25 mm width	1 mm/25 mm width
Cup	No restrictions	

Table 1. Maximum distortion (mm per 2 m length) according to prEN 518 and prEN 519.

21/80

Il degrado del legno

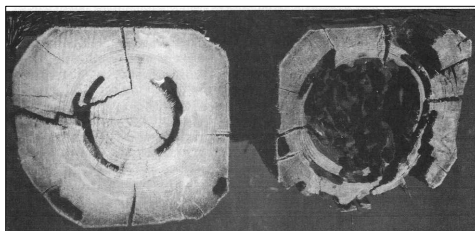


Fig. 1.49 Sezione di due fusti di Conifera attaccati dalle Formiche del legno (Foto Giordano, 1970).

Gli attacchi di insetti

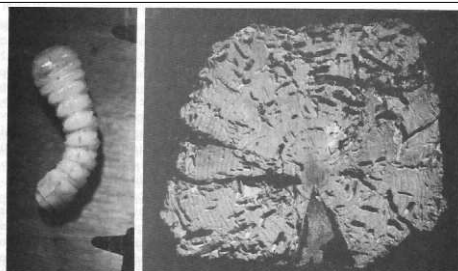


Fig. 1.52 (a sinistra) Larva di Capricorno delle case pervenuta a maturità, in grandezza naturale; (a destra) Sezione trasversale in trave di Abete fortemente attaccata dal Capricorno (Foto Giordano, 1960).

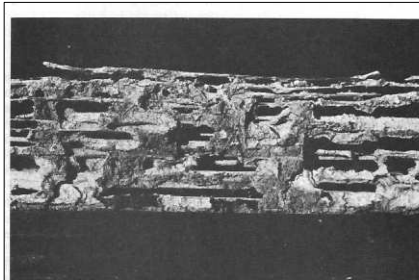


Fig. 1.50 Aspetto dell'interno di un travetto di Abete attaccato dalle Termiti (Foto Giordano, 1970).

22/80

Il degrado del legno

Gli attacchi di insetti

PAESE	A B NL UK	CH	D	DK	E	F	GR	I	IR	N	P	S	SF
Insetti													
Capricorno delle case (Hylotrupes)	R	R	R	I/L	R	R	R	R	O	L	R	L	O
Tarlo comune dei mobili (Anobium)	R	R	R	I	R	R	R	R	R	R	R	R	R
Orologio della morte (Xestobium)	R	I	R	I	I	R	I	I	R	I/O	O	I	I
Lictidi	R	R	R	O	R	R	R	R	O	R	R	I	O
Termiti	O	O	I	O	R	L	I	L	O	O	R	O	O

R - Rischio ; I - Rischio trascurabile ; O nessun rischio ;
L - Presente localmente nel Paese

Il rischio di attacco nei diversi paesi europei

Nome commerciale	Hylotrupes	Anobium	Termiti
Abete bianco, Abete rosso	SH	SH	S
Larice, Douglasia, Pino marittimo	S	S	S
Pino silvestre	S	S	S
Quercia, Castagno	n/a	S	M
Faggio europeo, Pioppo	n/a	S	S

La durabilità naturale di alcune specie

S = attaccabile
SH = attaccabile anche il durame
M = moderatamente durabile
n/a = non attaccabile

23/80

Il degrado del legno

Gli attacchi di microrganismi (funghi e batteri)

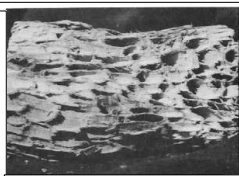


Fig. 1.56 Carie alveolare in frammento di legno di Abete bianco — grandezza naturale — (Foto Giordano, 1950).

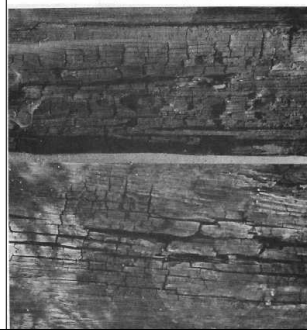


Fig. 1.57 Aspetto di legni di Conifere attaccati da funghi provocanti "carie a cubetti". Materiali in tali condizioni devono essere assolutamente scartati da ogni impiego strutturale (Foto Giordano, 1975).



Fig. 1.54 Attacchi di funghi cromogeni su tronchi di Conifere da lungo tempo in deposito all'aperto. Si noti come gli attacchi siano prevalentemente limitati all'albero periferico (Foto Giordano, 1920).

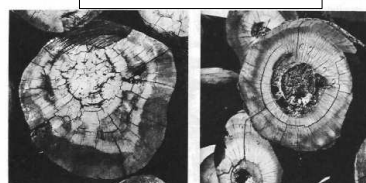


Fig. 1.55 Stadio molto avanzato di attacchi funghi determinanti vera "carie distruttiva" in tronchi di Pioppo nero lasciati troppo a lungo in depositi all'aria libera: nella figura di destra si noti anche una estesa cipollatura (Foto Giordano, 1954).

4/80

Specie legnosa	Durabilità nei riguardi di attacchi di:		Possibilità di impregnazione
	funghi	insetti	
CONIFERE			
Larice	x x x x	- x x	x
(<i>Larix europea</i>)	x x	x x	x x
Douglasia	x x	x x	x
(<i>Pseudotsuga menziesii</i>)			
Abete rosso (<i>Picea abies</i>)	x	-	x
Abete bianco (<i>Abies alba</i>)	x	-	x
Pino silvestre	x x	-	x
(<i>Pinus sylvestris</i>)	x	-	x x x
alburno			
LATIFOGIE			
Quercia (<i>Quercus</i> sp.)	x x x x	x x x	-
p.) escluso Cerro	x	-	x x x
Robinia (<i>Robinia</i>)	x x x x	x x	x
pseudocacia	x	-	x x x
Castagno	x x x	x x	-
(<i>Castanea vesca</i>)	x	-	x x x
Cerro	x x	x x	-
(<i>Quercus cerris</i>)	x	-	x x x
Faggio (<i>Fagus sylvatica</i>)	-	-	x x x
Pioppo (<i>Populus</i> sp. p.)	-	-	x x x

Tab. 12.10 - Durabilità naturale dei legni italiani da costruzione più comuni (da Giordano, modificata)

Legenda

Per attacchi di funghi:

x x x x: estremamente durevole > 25 anni di servizio soddisfacente a contatto con il suolo
 x x x: durevole 15,25 anni di servizio soddisfacente a contatto con il suolo
 x x: moderatamente durevole 10,15 anni di servizio soddisfacente a contatto con il suolo
 x: poco durevole 5,10 anni di servizio soddisfacente a contatto con il suolo
 -: non durevole 5 anni di servizio soddisfacente a contatto con il suolo

Per attacchi di insetti:

x x x: resistente (o non attaccato, o attaccato solo eccezionalmente)
 x x: moderatamente resistente (poco attaccato)
 -: non resistente (molto attaccabile)

Per possibilità di impregnazione:

x x x: permeabile
 x x: moderatamente resistente
 x: resistente
 -: estremamente resistente

Il degrado del legno

La durabilità
naturale del
legname italiano da
costruzione

25/80

Influenze sulle proprietà meccaniche

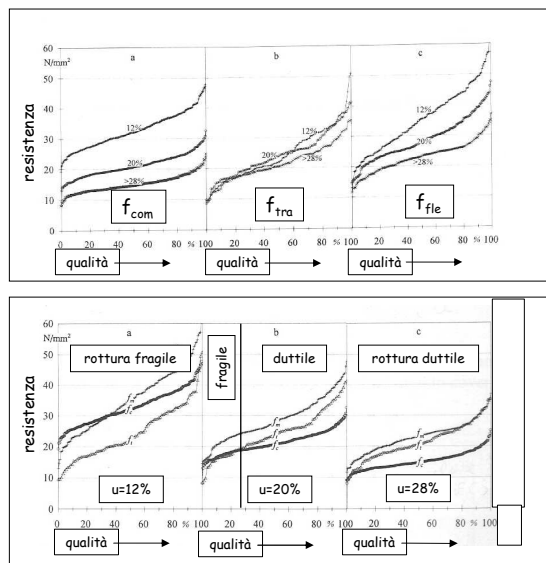
L'umidità del legno

Property	Change (%)
Compression strength parallel to the grain	5
Compression strength perpendicular to the grain	5
Bending strength parallel to the grain	4
Tension strength parallel to the grain	2,5
Tension strength perpendicular to the grain	2
Shear strength parallel to the grain	3
Impact bending strength parallel to the grain	0,5
Modulus of elasticity parallel to the grain	1,5

Table 2 Approximate change (%) of clear wood properties for a one percentage change of moisture content. Basis is properties at 12% moisture content.

26/80

Influenze sulle proprietà meccaniche

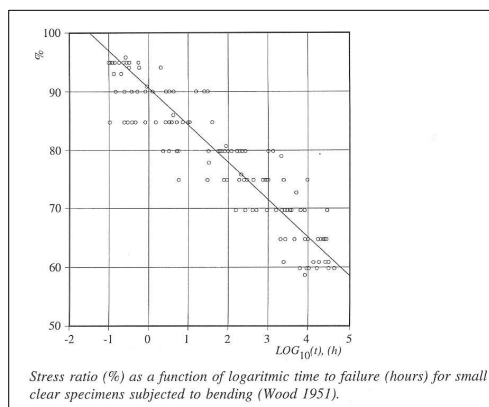


La variazione
delle resistenze
al variare
dell'umidità

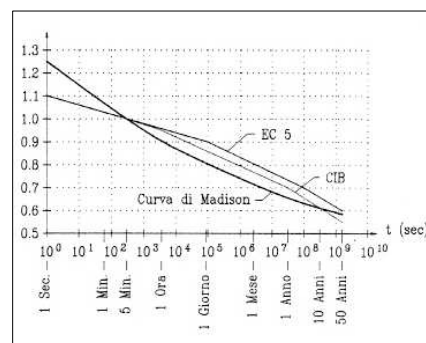
27/80

Influenze sulle proprietà meccaniche

La durata del carico



Il carico di rottura al variare
della durata del carico

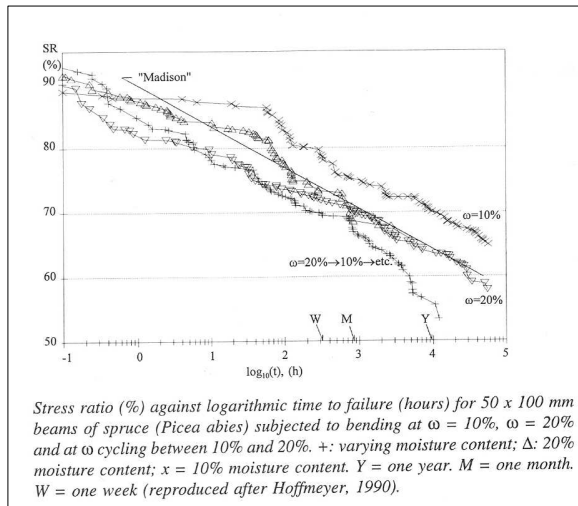


La riduzione della resistenza in
funzione della durata del carico

28/80

Influenze sulle proprietà meccaniche

La durata del carico e le variazioni di umidità



29/80

- *Classe di servizio 1*: questa classe di umidità è caratterizzata da un contenuto di umidità nei materiali corrispondente ad una temperatura di $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e a una umidità relativa dell'aria circostante che supera il 65% soltanto per alcune settimane all'anno.
Nella classe di servizio 1 l'umidità media di equilibrio per la maggior parte delle conifere non supera il 12%.
- *Classe di servizio 2*: questa classe di servizio è caratterizzata da un contenuto di umidità nei materiali corrispondente ad una temperatura di $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e a una umidità relativa dell'aria circostante che supera l'80% soltanto per alcune settimane all'anno.
Nella classe di servizio 2 l'umidità media di equilibrio per la maggior parte delle conifere non supera il 18%.
- *Classe di servizio 3*: rientrano in questa classe di servizio tutte le condizioni climatiche che danno luogo a contenuti di umidità nel legno più elevati.

Le classi di servizio

Classe di durata del carico	Durata del carico
Permanente	più di 10 anni
Lunga durata	6 mesi - 10 anni
Media durata	1 settimana - 6 mesi
Breve durata	meno di 1 settimana
Istantaneo	--

Le classi di durata del carico

30/80

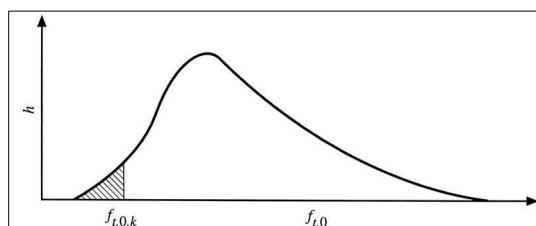
Il coefficiente riduttivo per le resistenze K_{mod} (CNR-DT 206/2007)

Valori di k_{mod} per legno e prodotti strutturali a base di legno

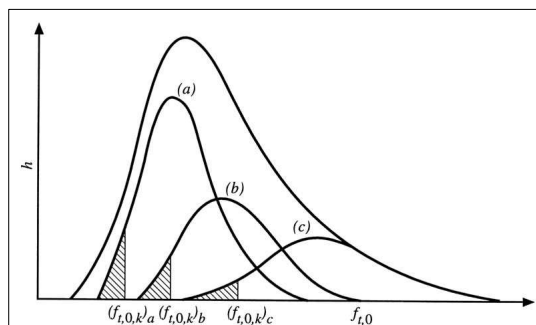
Materiale	Riferimento	Classe di servizio	Classe di durata del carico				
			Permanente	Lunga	Media	Breve	Istantanea
Legno massiccio Legno lamellare incollato Microlamellare (LVL)	EN 14081-1 EN 14080 EN 14374, EN 14279	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Compensato	EN 636 Parti 1, 2, 3 Parti 2, 3 Parte 3	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Pannello di scaglie orientate (OSB)	EN 300 OSB/2 OSB/3 OSB/4 OSB/3 OSB/4	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Pannello di particelle (truciolare)	EN 312 Parti 4, 5 Parte 5 Parti 6, 7 Parte 7	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
		1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Pannello di fibre, alta densità	EN 622-2 HBLA, HB, HLA 1 o 2 HB, HLA 1 o 2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
Pannello di fibre, media densità (MDF)	EN 622-3 MBH, LAL 1 o 2 MBH, HLS 1 o 2 MBH, HLS 1 o 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		2	-	-	-	0,45	0,80
	EN 622-5 MDF, LA, MDF, HLS MDF, HLS	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		2	-	-	-	0,45	0,80
		2	-	-	-	0,45	0,80

31/80

La classificazione del legno strutturale



Resistenza
caratteristica di
legno non
classificato



Le maggiori
resistenze
caratteristiche di
tre diverse classi
di qualità

32/80

La classificazione a vista secondo la resistenza

Le norme per la classificazione a vista

EN 518 (ora EN 14081) - Requisiti per le norme di classificazione a vista secondo la resistenza

UNI 11035-1 - Classificazione a vista di legnami italiani secondo la resistenza meccanica; terminologia e misurazione delle caratteristiche

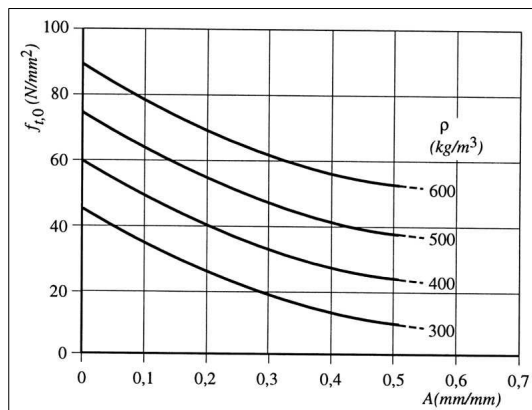
UNI 11035-2 - Regole per la classificazione a vista secondo la resistenza e valori caratteristici per tipi di legname strutturale italiano

EN 1912 - Assegnazione delle categorie visuali e delle specie (legnami esteri)

33/80

La classificazione a vista secondo la resistenza

L'influenza sulla resistenza della massa volumica e della rapidità di accrescimento (densità degli anelli)



34/80

La classificazione a vista secondo la resistenza

Le caratteristiche da considerare per la classificazione

La massa volumica e la rapidità di accrescimento

Massa volumica e rapidità di accrescimento

Nelle regole di classificazione riportate nella UNI 11035-2 è specificato per quali tipi di legname strutturale è richiesta la determinazione della massa volumica e/o della velocità di accrescimento.

La massa volumica media ρ , laddove richiesta, deve essere determinata su ciascun singolo elemento calcolando il rapporto fra la massa M (in kilogrammi, misurata con una precisione dell'1%), e il volume V (in metri cubi, ottenuto moltiplicando l'area della sezione mediana per la lunghezza ed esprimendo il risultato con almeno 3 cifre significative), e riferita all'umidità del 20%.

$$\rho = \frac{M}{V} \text{ kg/m}^3$$

Per umidità medie rilevate diverse da quella di riferimento, si deve correggere ρ diminuendone o aumentandone il valore dello 0,5% per ogni punto percentuale di umidità rispettivamente in più o in meno rispetto all'umidità di riferimento e arrotondando il risultato al valore intero più vicino.

La rapidità di accrescimento ω , laddove richiesta, dovrà essere misurata su una testata del segato; essa è assunta uguale alla larghezza media, espressa in millimetri, degli anelli di accrescimento. La misurazione si effettua sulla linea più lunga e il più perpendicolare possibile agli anelli di accrescimento e cominciando a $y = 25 \text{ mm}$ dal midollo quando questo è presente (vedere figura 4). Essa è data da:

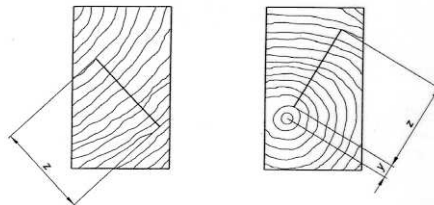
$$\omega = \frac{z}{N} \text{ mm}$$

dove:

z è almeno 75 mm (quando possibile);

N è il numero di anelli compreso in z .

Determinazione della rapidità di accrescimento



35/80

La classificazione a vista secondo la resistenza

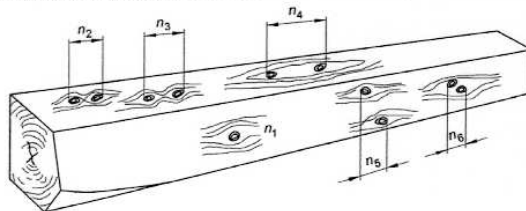
Le caratteristiche da considerare per la classificazione

Esempi di nodi isolati e raggruppati

Legenda

Nodi:

- n_1 Nodo isolato
- n_2 Gruppo di nodi, in quanto nodi allineati a meno di 150 mm di distanza
- n_3 Nodi isolati, in quanto allineati a più di 150 mm di distanza
- n_4 Gruppo di nodi, in quanto anche se a più di 150 mm di distanza la fibratura non recupera la direzione originale fra i nodi
- n_5 Nodi isolati, in quanto anche se insistenti su un tratto minore di 150 mm di lunghezza non sono allineati e la fibratura fra di essi recupera la direzione originale
- n_6 Gruppo di nodi, in quanto presentano la fibratura che non recupera la direzione originale



La presenza e la distribuzione dei nodi

36/80

La classificazione a vista secondo la resistenza

Le caratteristiche da considerare per la classificazione

Inclinazione della fibratura

La direzione generale della fibratura viene determinata su una base di misura avente lunghezza minima pari a un metro. Essa può essere determinata sulla base delle fessurazioni da ritiro eventualmente visibili, oppure mediante l'appropriato uso del graffietto (vedere figura 3).

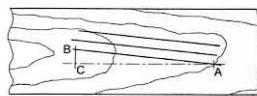
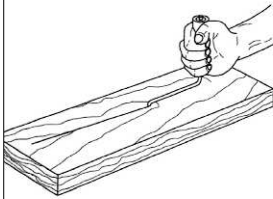
I limiti di ammissibilità per i diversi tipi di legname sono riportati nella UNI 11035-2.

figura 3

Determinazione dell'inclinazione della fibratura mediante graffietto

Legenda

- AB Direzione della fibratura, determinata mediante il graffietto
- AC Asse geometrico del segato
- BC/AC Inclinazione della fibratura, espressa come rapporto



L'inclinazione della fibratura deve essere determinata su almeno due facce contigue dell'elemento, ed è decisivo il valore peggiore.

**La direzione
della fibratura**

37/80

Fessurazioni longitudinali da ritiro

La lunghezza delle fessurazioni da ritiro è legata all'umidità, pertanto i limiti assegnati per i diversi tipi di legname nelle regole di classificazione sono di norma applicabili solo per legno equilibrato a umidità del 20% o minore.

I limiti di ammissibilità per i diversi tipi di legname sono riportati nella UNI 11035-2.

Cipollatura

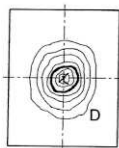
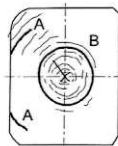
Non sono ammissibili cipollature affioranti su una qualsiasi faccia dell'elemento.

Singole cipollature non affioranti sono ammissibili solo se si aprono su una sola testata dell'elemento e se rispondono ai requisiti di diametro massimo e di eccentricità precisati per i diversi tipi di legname nella UNI 11035-2.

Esempi di cipollatura

Legenda

- A Cipollatura affiorante
- B Cipollatura completa e inclusa
- C Cipollatura multipla
- D Cipollatura ammissibile
- E Cipollatura inammissibile per eccessiva eccentricità
- F Cipollatura inammissibile per eccessivo diametro



**La classificazione a
vista secondo la
resistenza**

**Le caratteristiche
da considerare per
la classificazione**

**La fessurazioni
e le cipollature**

38/80

Prescrizioni per le caratteristiche geometriche

Smusso

Lo smusso è sempre riferito a una sezione di forma e dimensioni pari alla sezione nominale dell'elemento, assimilando quest'ultima al rettangolo o al quadrato.

Lo smusso non riduce la resistenza, ma viene limitato per ragioni costruttive generali (lo smusso può essere indesiderabile nel caso in cui vengano usati connettori o piastre di lamiera punzonata, oppure quando il materiale sia sollecitato a compressione trasversale).

L'ampiezza dello smusso viene misurata obliquamente ed espressa in rapporto al lato maggiore della sezione. Tale rapporto viene indicato con s .

Metodo di misurazione dello smusso

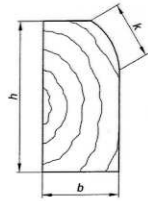
Legenda

$s = k/h$ Ampiezza dello smusso

k Larghezza della zona smussata, misurata obliquamente

h Lato maggiore della sezione

b Lato minore della sezione



Quando gli smussi superano i limiti di ammissibilità per la sezione rettangolare o quadrata, l'elemento può essere comunque classificato assimilando la sezione nominale al cerchio inscritto nella sezione dell'elemento che presenta la massima smussatura.

I limiti di ammissibilità per i diversi tipi di legname sono riportati nella UNI 11035-2.

La classificazione a vista secondo la resistenza

Le caratteristiche da considerare per la classificazione

**Le caratteristiche geometriche:
Gli smussi**

39/80

Metodi di misurazione delle deformazioni: base di misura 2 m

Legenda

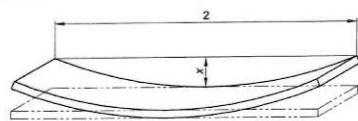
A Arcuatura

F Falcatura

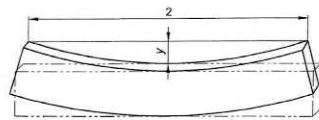
S Svergolamento

I Imbarcamento

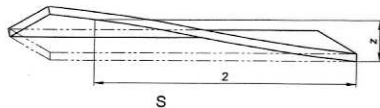
Dimensioni in m



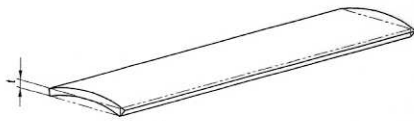
A



F



S



I

Deformazioni

Sono da scartare tutti i pezzi che presentino arcuatura, falcatura, svergolamento e imbarcamento eccessivi in relazione al loro impiego finale. I metodi di misurazione di tali deformazioni sono illustrati in figura 7.

I limiti di ammissibilità per i diversi tipi di legname sono riportati nella UNI 11035-2.

La classificazione a vista secondo la resistenza

Le caratteristiche da considerare per la classificazione

**Le caratteristiche geometriche:
Le deformazioni**

40/80

La classificazione a vista secondo la resistenza

Prescrizioni per le caratteristiche biologiche

Degradamento da insetti

Deve essere scartato ogni elemento soggetto ad attiva infestazione da parte di Insetti in grado di proliferare anche nel legno stagionato (in genere: Anobidi, Lictidi, Cerambicidi).

Se l'elemento è stagionato, sono ammessi fori di Insetti che attaccano solo il legno fresco (fori tipicamente rotondi, con alone nerastro, aventi diametro di circa 2 mm), fino a una presenza massima di 10 fori su un qualsiasi tratto di 1 m di lunghezza (sommando i fori visibili sulle quattro facce del pezzo). In caso di attacchi pregressi e comprovatamente esauriti, sono ammessi in ciascun elemento ligneo fori di Anobidi (tipicamente rotondi,

senza aloni nerastri, aventi diametro non minore di 1,5 mm), fino a una presenza massima di 10 fori su un qualsiasi tratto di 1 m di lunghezza (sommando i fori visibili sulle quattro facce del pezzo).

Comunque, sommando i fori con alone nerastro ai fori praticati dagli Anobidi, non è ammessa la presenza di più di 10 fori in totale su un qualsiasi tratto di 1 m di lunghezza del segato.

Non sono ammessi fori prodotti da Lictidi (fori piccolissimi senza alone, rotondi e tipicamente di diametro non maggiore di 1 mm) o da Cerambicidi (fori molto grandi senza alone, tipicamente ellittici e con diametro minimo maggiore di 3 mm).

Non sono altresì ammessi segni di degradamento dovuti all'attacco di altri Insetti distruttori del legno (per esempio Termiti).

Degradamento da funghi

Deve essere scartato ogni elemento che presenti segni di alterazione da funghi della carie del legno, tranne il caso dei nodi neri che vengono considerati altrove (vedere 4.3.1).

Le caratteristiche
da considerare per
la classificazione

Le caratteristiche
biologiche:
Degrado da funghi
e/o insetti

41/80

La classificazione a vista secondo la resistenza

Prescrizioni relative ad altre caratteristiche

Legno di reazione

La quota ammissibile di legno di reazione (legno di compressione o "canastro" per le Conifere, legno di tensione per le Latifoglie), viene determinata in rapporto all'area della superficie della faccia su cui compare, oppure all'area di una delle sezioni di estremità del segato, considerando sempre il valore peggiore.

I limiti di ammissibilità per i diversi tipi di legname sono riportati nella UNI 11035-2.

Lesioni e danni meccanici

Non sono ammessi gli elementi che presentano lesioni del tessuto legnoso causate nell'albero in piedi da gelo, fulmine, vento e traumi di varia origine. Non sono altresì ammessi danni meccanici dovuti alle operazioni in bosco e in segheria, i cui effetti possano pregiudicare la resistenza del legname in opera. Non è infine ammessa la presenza di lesioni derivanti dalla azione del vischio (tracce degli austori).

Non rientrano in questa categoria di lesioni né le fessurazioni da ritiro (vedere 4.3.4), né le cipollature (vedere 4.3.5).

Altri criteri

Potranno essere presi in esame, ai fini della classificazione, unicamente criteri che influiscono direttamente sulla resistenza oppure sull'uso del legname nelle costruzioni.

Qualora un pezzo presenti difetti non elencati nella presente norma, essi devono essere valutati in relazione a quelli elencati; se tali difetti a giudizio di chi esegue la classificazione, comportano effetti sulla resistenza minori di quelli che comportano i difetti elencati nel presente documento, essi possono essere considerati accettabili.

Le caratteristiche
da considerare per
la classificazione

Le altre
caratteristiche :
-Legno di reazione
-Lesioni e danni
meccanici
-Altri difetti

42/80

La classificazione a vista secondo la resistenza

Le regole di classificazione e le categorie (classi) per le diverse specie legnose

Specie/Provenienza	Sigla	Regola di classificazione da adottare	Categoria
Conifere			
Abete ⁽¹⁾ / Nord ⁽²⁾	A/N	"Conifere 1"	S1
			S2
			S3
Abete ⁽¹⁾ / Centro Sud ⁽²⁾	A/C	"Conifere 1"	S1
			S2
			S3
Larice ⁽¹⁾ / Nord ⁽²⁾	L/N	"Conifere 1"	S1
			S2
			S3
Douglasia ⁽²⁾ / Italia	DI	"Conifere 2"	S1
			S2/S3
Altre conifere ⁽²⁾ / Italia	CONI	"Conifere 1"	S1
			S2
			S3
Latifoglie			
Castagno ⁽²⁾ / Italia	CI	"Latifoglie"	S
Querce caducifoglie ⁽²⁾ / Italia	QI	"Latifoglie"	S
Pioppo e Ontano ⁽²⁾ / Italia	PI	"Latifoglie"	S
Altre latifoglie ⁽²⁾ / Italia	LAT/I	"Latifoglie"	S

43/80

La classificazione a vista secondo la resistenza

Le regole "Conifere 1"

"Conifere 1"			
Criteri per la classificazione	Categorie		
	S1	S2	S3
Smussi ⁽¹⁾	$s \leq 1/8$ e comunque ciascun lato della sezione, per almeno 2/3, non deve essere interessato da smussi	$s \leq 1/3$ e comunque ciascun lato della sezione, per almeno 1/3, non deve essere interessato da smussi	$s \leq 1/2$ e comunque ciascun lato della sezione, per almeno 1/4, non deve essere interessato da smussi
Nodi singoli ⁽²⁾	$A \leq 1/5$ e comunque $d < 50$ mm	$A \leq 2/5$ e comunque $d < 70$ mm	$A \leq 3/5$
Nodi raggruppati ⁽²⁾	$A_g \leq 2/5$	$A_g \leq 2/3$	$A_g \leq 3/4$
Ampiezza anelli	≤ 6 mm	nessuna limitazione	
Inclinazione fibratura	$\leq 1:14$	$\leq 1:8$	$\leq 1:6$
Fessurazioni: - da ritiro - cipollatura - da fulmine, gelo, lesioni	ammesse, se non passanti non ammesse non ammesse	ammesse senza limitazioni ammessa con limitazioni ⁽³⁾ non ammesse	
Degrado da funghi: - azzurrimento - carie bruna e bianca	ammesso non ammesse		
Legno di compressione	fino a 1/5 della superficie o della sezione	fino a 2/5 della superficie o della sezione	fino a 3/5 della superficie o della sezione
Attacchi di insetti	non ammessi	ammessi con limitazioni ⁽³⁾	
Vischio	non ammesso		
Deformazioni: - Arcuatura - Falcatura - Svergolamento - Imbarcamento	10 mm ogni 2 m di lunghezza 8 mm ogni 2 m di lunghezza 1 mm ogni 25 mm di larghezza nessuna restrizione		20 mm ogni 2 m di lunghezza 12 mm ogni 2 m di lunghezza 2 mm ogni 25 mm di larghezza nessuna restrizione

44/80

La classificazione a vista secondo la resistenza

Le regole "Conifere 2"

"Conifere 2"		
Criteri per la classificazione	Categorie	
	S1	S2/S3
Smussi ⁽¹⁾	$s \leq 1/8$ e comunque ciascun lato della sezione, per almeno 2/3, non deve essere interessato da smussi	$s \leq 1/2$ e comunque ciascun lato della sezione, per almeno 1/2, non deve essere interessato da smussi
Nodi singoli ⁽²⁾	$A \leq 1/5$ e comunque $d < 50$ mm	$A \leq 3/5$
Nodi raggruppati ⁽³⁾	$\leq 2/5$	$\leq 3/4$
Ampiezza anelli Massa volumica	nessuna limitazione $\rho > 380$ kg/m ³	
Inclinazione fibratura	$\leq 1:14$	$\leq 1:8$
Fessurazioni: - da ritiro - cipollatura - da fulmine, gelo, lesioni	ammesse non ammessa non ammessa	
Degrado da funghi: - azzurrimento - carie bruna e bianca	ammesso non ammesso	
Legno di compressione	fino a 1/5 della superficie o della sezione	fino a 3/5 della superficie o della sezione
Attacchi di insetti	non ammessi	ammessi con limitazioni ⁽⁴⁾
Vischio	non ammesso	
Deformazioni: - Arcatura - Falcatura - Svergolamento - Imbarcamento	10 mm ogni 2 m di lunghezza 8 mm ogni 2 m di lunghezza 1 mm ogni 25 mm di larghezza nessuna restrizione	

45/80

La classificazione a vista secondo la resistenza

Le regole "Latifoglie"

"Latifoglie"	
Criteri per la classificazione	Categoria unica
	S
Smussi ⁽¹⁾	$s \leq 1/4$ e comunque ciascun lato della sezione, per almeno 2/3, non deve essere interessato da smussi
Nodi singoli ⁽²⁾	$A \leq 1/2$ e comunque: $\begin{cases} d \leq 70 \text{ mm} \\ D \leq 150 \text{ mm} \end{cases}$
Nodi raggruppati ⁽³⁾	$W \leq 1/2$ e comunque: $t \leq 70$ mm
Ampiezza anelli Massa volumica ⁽⁴⁾	nessuna limitazione $\rho > \rho_{\min}$
Inclinazione fibratura	$\leq 1:6$
Fessurazioni: - da ritiro - cipollatura - da fulmine, gelo, lesioni	ammesse con limitazioni ⁽⁵⁾ ammessa con limitazioni ⁽⁶⁾ non ammessa
Degrado da funghi: carie bruna o bianca	non ammessa
Legno di tensione	nessuna limitazione
Attacchi di insetti	ammessi con limitazioni ⁽⁷⁾
Vischio	non ammesso
Deformazioni: - Arcatura - Falcatura - Svergolamento - Imbarcamento	10 mm ogni 2 m di lunghezza 8 mm ogni 2 m di lunghezza 1 mm ogni 25 mm di larghezza nessuna restrizione

46/80

I valori caratteristici di resistenza, deformabilità e massa volumica per le varie categorie (UNI 11035)

Proprietà		Abete / Nord			Abete / Centro Sud			Larice / Nord			Douglasia / Italia		Altre Conifere / Italia			Castagno / Italia	Quercia caducifoglie / Italia	Pioppo / Italia	Altre Latifoglie / Italia
		S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2/S3	S1	S2	S3	S	S	S	S
Flessione (5-percentile), MPa	$f_{b,k}$	29	23	17	32	26	21	42	32	26	40	23	33	26	22	28	42	26	27
Trazione parallela alla fibratura (5-percentile), MPa	$f_{t,k}$	17	14	10	19	17	13	25	19	16	24	14	20	16	13	17	25	16	16
Trazione perpendicolare alla fibratura (5-percentile), MPa	$f_{t90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8	0,4	0,5
Compressione parallela alla fibratura (5-percentile), MPa	$f_{c,k}$	23	20	18	24	22	20	27	24	22	26	20	24	22	20	22	27	22	22
Compressione perpendicolare alla fibratura (5-percentile), MPa	$f_{c90,k}$	2,9	2,9	2,9	2,1	2,1	2,1	4,0	4,0	4,0	2,6	2,6	4,0	4,0	4,0	3,8	5,7	3,2	3,9
Taglio (5-percentile), MPa	$f_{v,k}$	3,0	2,5	1,9	3,2	2,9	2,3	4,0	3,2	2,7	4,0	3,4	3,3	2,7	2,4	2,0	4,0	2,7	2,0
Modulo di elasticità parallelo alla fibratura (medio), MPa	$E_{0,mean}$	12 000	10 500	9 500	11 000	10 000	9 500	13 000	12 000	11 500	14 000	12 500	12 300	11 400	10 500	11 000	12 000	8 000	11 500
Modulo di elasticità parallelo alla fibratura (5-percentile), MPa	$E_{0,05}$	8 000	7 000	6 400	7 400	6 700	6 400	8 700	8 000	7 700	9 400	8 400	8 200	7 600	7 000	8 000	10 100	6 700	8 400
Modulo di elasticità perpendicolare alla fibratura (medio), MPa	$E_{90,mean}$	400	350	320	370	330	320	430	400	380	470	420	410	380	350	730	800	530	770
Modulo di taglio (medio), MPa	G_{mean}	750	660	590	690	630	590	810	750	720	880	780	770	710	660	950	750	500	720
Massa volumica (5-percentile), kg/m³	ρ_k	380	380	380	280	280	280	550	550	550	400	420	530	530	530	465	760	420	515
Massa volumica (media), kg/m³	ρ_{mean}	415	415	415	305	305	305	600	600	600	435	455	575	575	575	550	825	460	560

47/80

Le classi di resistenza dell'EN 338 (Legno strutturale - Classi di resistenza) I profili prestazionali

		Pioppo e conifere												Latifoglie							
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D30	D35	D40	D50	D60	D70		
Proprietà di resistenza (in N/mm²)																					
Flessione	$f_{b,k}$	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	30	35	40	50	60	70		
Trazione parallela	$f_{t,k}$	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	18	21	24	30	36	42		
Trazione perpendicolare	$f_{t90,k}$	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6		
Compressione parallela	$f_{c,k}$	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	23	25	26	29	32	34		
Compressione perpendicolare	$f_{c90,k}$	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5		
Taglio	$f_{v,k}$	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	3,8	3,8	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0		
Proprietà di rigidità (in kN/mm²)																					
Modulo di elasticità medio parallelo	$E_{0,mean}$	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16	10	10	11	14	17	20		
Modulo di elasticità parallelo al 5%	$E_{0,05}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7	8,0	8,7	9,4	11,8	14,3	16,8		
Modulo di elasticità medio perpendicolare	$E_{90,mean}$	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33		
Modulo di taglio medio	G_{mean}	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00	0,60	0,65	0,70	0,88	1,06	1,25		
Massa volumica (in kg/m³)																					
Massa volumica	ρ_k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	530	560	590	650	700	900		
Massa volumica media	ρ_{mean}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	640	670	700	780	840	1 080		
Nota																					
a) I valori forniti sopra per la resistenza a trazione, la resistenza a compressione, la resistenza a taglio, il modulo di elasticità al 5%, il modulo di elasticità medio perpendicolare alla fibratura e il modulo di taglio medio, sono calcolati utilizzando le equazioni fornite nell'appendice A.																					
b) Le proprietà nel prospetto sono compatibili con un legno la cui umidità sia corrispondente ad una temperatura di 20 °C e un'umidità relativa del 65%.																					
c) Il legno conforme alle classi C45 e C50 può non essere immediatamente disponibile.																					

48/80

L'assegnazione delle classi di resistenza alle specie ed alle categorie visuali (EN1912) - Conifere

Classe di resistenza	Paese di pubblicazione della norma di classificazione (vedere nota 1 alla fine del prospetto)	Categoria (vedere nota 4)	Specie Nome commerciale	Provenienza (vedere nota 2)	Identificazione botanica (vedere prospetto 3)	Commenti
C35	-	-	-	-	-	-
C30	Francia	ST-I	Abete rosso e Abete bianco	Francia	1, 22	Limitato a spessori uguali o maggiori di 60 mm
	Germania	S13	Douglasia	Germania	54	
	Austria e Germania	S13	Abete rosso	CNE Europa	22	
		S13	Pino silvestre	CNE Europa	47	
		S13	Abete bianco	CNE Europa	1	
		S13	Larice	CNE Europa	15	
	Paesi nordici	T3	Pino silvestre	NNE Europa	47	
		T3	Abete rosso	NNE Europa	22	
		T3	Abete bianco	NNE Europa	1	
		T3	Larice	NNE Europa	15	
	USA	J&P Sel	Pino pece	USA	35, 36, 43, 48	
		SILF Sel	Pino pece	USA	35, 36, 43, 48	
C27	-	-	-	-	-	-
C24	Francia	ST-II	Abete rosso e Abete bianco	Francia	1, 22	Limitato a spessori uguali o maggiori di 60 mm
	Germania	ST-II	Douglasia	Francia	54	
		ST-II	Pinii	Francia	38, 44, 47	
		ST-II	Poppo (vedere nota 3)	Francia	50	
	Germania e Austria	S10	Douglasia	Germania	54	
		S10	Abete rosso	CNE Europa	22	
		S10	Pino silvestre	CNE Europa	47	
		S10	Abete bianco	CNE Europa	1	
		S10	Larice	CNE Europa	15	
	Paesi nordici	T2	Pino silvestre	NNE Europa	47	
		T2	Abete rosso	NNE Europa	22	
		T2	Abete bianco	NNE Europa	1	
		T2	Larice	NNE Europa	15	
	Paesi Bassi	B	Abete rosso e Abete bianco	NC Europa	1, 22	
		SS	Pino del Paraná	Brasile	12	
	Regno Unito	SS	Pino silvestre	CNE Europa	47	
		SS	Abete bianco e Abete rosso	CNE Europa	1, 22	
		SS	Douglasia-Larice	USA e Canada	18, 54	
		SS	Hem-fir	USA e Canada	2, 4, 5, 7, 8, 62	
		SS	S-P-F	USA e Canada	3, 6, 23, 25, 26, 27, 32, 34, 45	
		SS	Pino pece	USA	35, 36, 43, 48	
		SS	Pino pece	Caralbi	33, 42	
		SS	Larice	Regno Unito	15, 16, 17	

49/80

L'assegnazione delle classi di resistenza alle specie ed alle categorie visuali (EN1912) - Latifoglie

Classe di resistenza	Paese di pubblicazione della norma di classificazione	Categoria (vedere nota 1)	Specie Nome commerciale	Provenienza	Identificazione botanica (vedere prospetto 4)	Commenti
D70	Regno Unito	HS	Belaui	Asia del Sud-Est	113, 114	
		HS	Cuorverde	Guyana	110	
D60	Paesi Bassi	A/B	Azobé	Africa occidentale	100	
	Regno Unito	HS	Azobé	Africa occidentale	100	
		HS	Kapur	Asia del Sud-Est	86	
		HS	Kempas	Asia del Sud-Est	98	
D50	Regno Unito	HS	Keruing	Asia del Sud-Est	80	
		HS	Karri	Australia occidentale	90	
		HS	Bilinga	Africa occidentale	107	
		HS	Merbau	Asia del Sud-Est	94, 95	
D40	Regno Unito	HS	Irko		103, 104	
		HS	Jainah		91	
		HS	Teck		117	
D35	-	-	-	-	-	-
D30	-	-	-	-	-	-

Nota 1 - Le categorie elencate nel presente prospetto sono specificate nelle norme di classificazione riportate nell'appendice A.

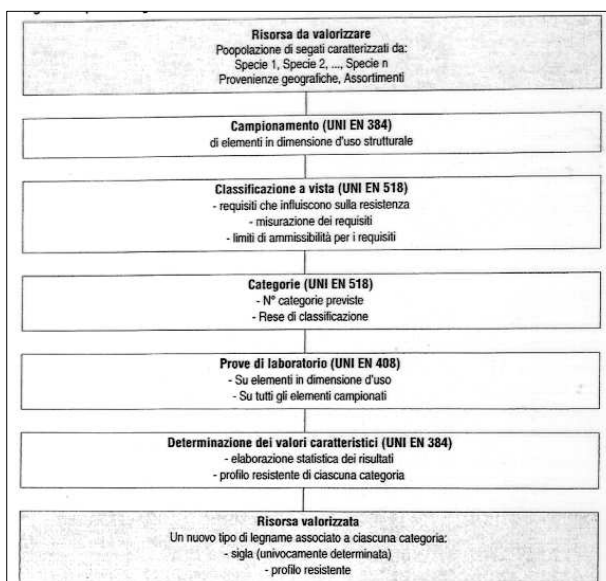
50/80

Paese di pubblicazione della norma di classificazione	Categoria	Norma di classificazione
Austria	S13 S10 S7	Norma austriaca ON DIN 4074 Parte 1 Sortierung von Nadelholz nach der Tragfähigkeit, Nadeleinschnitzholz, 1989
Canada	J&P Sel J&P N° 1 J&P N° 2 SLF Sel SLF N° 1 SLF N° 2 LF Const Stud	Norma canadese NLGA 1996 The national grading rules for dimension lumber (Queste categorie sono accettabili solo quando classificate secondo l'allegato per l'esportazione che fornisce le regole di conformità secondo EN 518)
Francia	ST-I ST-II ST-III	Norma francese NF B 52-001:1996 Règles d'utilisation du bois dans les constructions: Classement visuel pour emploi ed structure pour les principales essences résineuses et feuillues
Germania	S13 S10 S7	Norma tedesca DIN 4074 Teil 1 Sortierung von Nadelholz nach der Tragfähigkeit, Nadeleinschnitzholz, 1989
Irlanda	SS GS	Norma irlandese IS 127:1990 Specification for the stress grading of softwood timber
Paesi Bassi	B C A/B	Norma olandese NEN 5496:1983 Kwaliteitsnorm voor hout (KVN 1983) Houtsoort europees vuren Norma olandese NEN 5480:1983 Kwaliteitsnorm voor hout (KVN 1983) Houtsoort naaldbomen
Paesi nordici	T3 T2 T1 T0	Regole nordiche di classificazione - INSTA 142:1994 Nordic visual strength grading rules for timber
Portogallo	E	Norma portoghese NP 4305 Madeira serrada de pinheiro bravo para estruturas
Regno Unito	SS GS HS	Norma inglese BS 4978:1996 Visual strength grading of softwood Norma inglese BS 5736:1997 Visual strength grading of hardwoods
USA	J&P Sel J&P N° 1 J&P N° 2 J&P N° 3 SLF Sel SLF N° 1 SLF N° 2 SLF N° 3 LF Const LF Std Stud	Norma USA NGRDL 1996 The national grading rules for softwood dimension lumber (Queste categorie sono accettabili solo quando classificate secondo l'allegato per l'esportazione che fornisce le regole di conformità secondo EN 518)

Le norme di classificazione per la definizione delle categorie richiamate nella EN1912

51/80

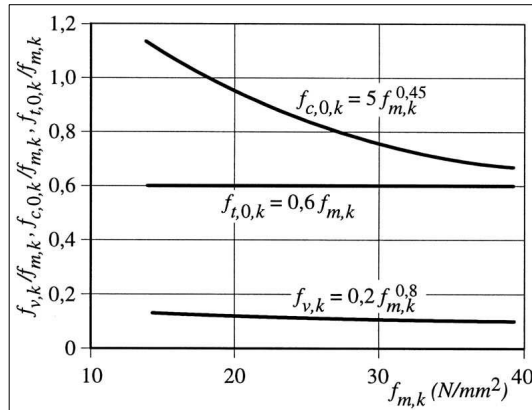
La procedura per la definizione di un nuovo tipo di legname e del corrispondente profilo prestazionale



52/80

La determinazione del profilo prestazionale

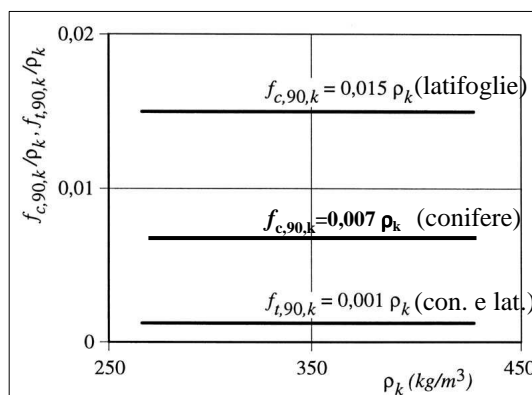
Le resistenze a trazione, a compressione e a taglio si ricavano da quella a flessione $f_{m,k}$ (sperimentale)



53/80

La determinazione del profilo prestazionale

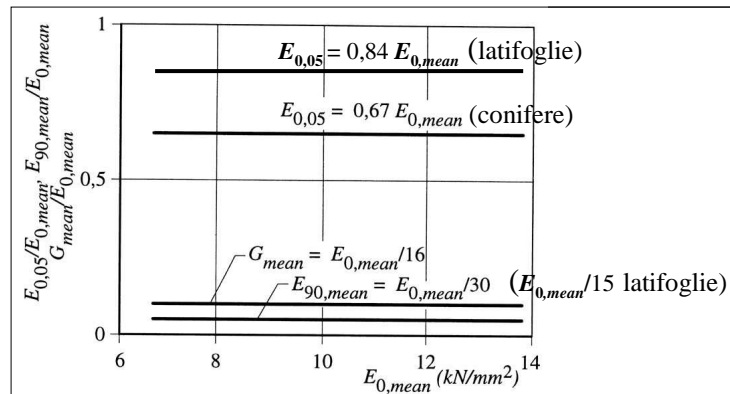
Le resistenze a trazione e a compressione ortogonale alle fibre si derivano dalla massa volumica ρ_k (sperimentale)



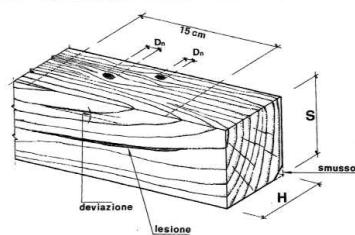
54/80

La determinazione del profilo prestazionale

I moduli di elasticità ortogonale alle fibre (E) e tangenziale (G) si ricavano da quello normale medio longitudinale $E_{0,mean}$ (sperimentale)



55/80



Catego- ria	Cipolla- ture e lesioni	Tasche di resina	Devia- zione fibre rispetto all'asse	Diamet- ro dei nodi (D_n) in sezioni $S \times H$ (S = di- mensione minima)	Frequenza dei nodi su area $15 \text{ cm} \times H$ ($15 \text{ cm} \times S$)	Smussi per sezioni a spigoli vivi	Spessore degli anelli essenza del legname		
							resinoso	forte	dolce
I	no	no	$\leq \frac{1}{15}$	$\leq \frac{1}{5} S$	$\sum D_n \leq \frac{2}{5} H$ ($\leq \frac{2}{5} S$)	no	$\leq 2 \text{ mm}$	$\geq 7 \text{ mm}$	$\geq 8 \text{ mm}$
II	no	$< 3 \text{ mm}$	$\leq \frac{1}{8}$	$\leq \frac{1}{3} S$	$\sum D_n \leq \frac{2}{3} H$ ($\leq \frac{2}{3} S$)	$\leq \frac{1}{20} H$ (o S)	$\leq 3,3 \text{ mm}$	$\geq 4 \text{ mm}$	$\geq 3,3 \text{ mm}$
III	non estese	$\geq 3 \text{ mm}$	$\leq \frac{1}{5}$	$\leq \frac{1}{2} S$	$\sum D_n \leq \frac{3}{4} H$ ($\leq \frac{3}{4} S$)	$\leq \frac{1}{10} H$ (o S)	$> 3,3 \text{ mm}$	$< 4 \text{ mm}$	$< 3,3 \text{ mm}$

Le regole di
classificazione delle
norme DIN 4074-2

56/80

Le tensioni ammissibili per legno massiccio nelle norme DIN 1052

Tabella 5: Tensioni ammissibili per legno massiccio in N/mm² per condizioni di carico II

Tipo di tensione		Legno massiccio di conifera (secondo Tabella 1, riga 1)					Legno massiccio di latifoglia (secondo Tabella 1, riga 3)		
		Classe di assortimento secondo DIN 4074-1 ¹⁾					Gruppo di specie legnosa		
		S7 MS7	S10 MS10	S13	MS13	MS17	A	B	C
		classe media ²⁾							
1	Flessione $\sigma_{B, amn}$	7	10	13	15	17	11	17	25
2	Trazione \parallel alle fibre $\sigma_{Z \parallel, amn}$	0 ³⁾	7	9	10	12	10	10	15
3	Trazione \perp alle fibre $\sigma_{Z \perp, amn}$	0 ³⁾	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
4	Compressione \parallel alle fibre $\sigma_{D \parallel, amn}$	6	8.5	11	11	12	10	13	20
5a	Compressione \perp alle fibre $\sigma_{D \perp, amn}$	2	2	2	2.5	2.5	3	4	8
5b		2.5 ⁴⁾	2.5 ⁴⁾	2.5 ⁴⁾	3 ⁴⁾	3 ⁴⁾	4 ⁴⁾	-	-
6	Taglio \parallel alle fibre $\tau_{a, amn}$	0.9	0.9	0.9	1	1	1	1.4	2
7	Taglio \perp alle fibre $\tau_{q, amn}$	0.9	0.9	0.9	1	1	1	1.4	2
8	Torsione ⁵⁾ $\tau_{T, amn}$	0	1	1	1	1	1.6	1.6	2

¹⁾ Le classi di assortimento S7, S10 e S13 corrispondono alle classi di qualità III, II e I della DIN 4074-2.
²⁾ Almeno di classe di assortimento S10 secondo la DIN 4074-1 oppure classe di qualità II secondo DIN 4074-2.
³⁾ Per la classe di assortimento MS7 valgono i seguenti valori: $\sigma_{Z \parallel, amn} = 4 \text{ N/mm}^2$
 $\sigma_{Z \perp, amn} = 0.05 \text{ N/mm}^2$
⁴⁾ Nell'utilizzazione di questi valori sono da attendersi schiacciamenti locali maggiori di cui si dovrà, se necessario, tenere conto nel progetto. Questi valori non possono essere utilizzati nelle connessioni con mezzi di unione differenti.
⁵⁾ Per le sezioni a cassone devono essere rispettati i valori di riga 7.

57/80

I moduli di elasticità per legno massiccio nelle norme DIN 1052

Tabella 1: Moduli di elasticità e scorrimento in N/mm² per legno massiccio e lamellare (umidità $\leq 20\%$)

Specie		Classe di assortimento secondo DIN 4074-1 ²⁾	Moduli di elasticità		
			parallelo alle fibre E_{\parallel}	ortogonale alle fibre E_{\perp}	a taglio G
1	Abete rosso (Picea abies Karst.), Pino (Pinus sylvestris L.), Abete bianco (Abies alba Mill.), Larice (Larix decidua Mill.), Douglasia (Pseudotsuga menziesii Franco), Southern Pine (Pinus palustris), Western Hemlock (Tsuga heterophylla Sarg.), Yellow Cedar ¹⁾	S7 - MS7	8000	250	500
		S10 - MS10	10000 ³⁾ 4)	300	500
		S13	10500 ³⁾ 4)	350	500
		MS13	11500 ³⁾	350	550
		MS17	12500 ³⁾	400	600
2	Legno lamellare realizzato con lamelle delle specie legnose di riga 1	S10 - MS10	11000	350	550
		S13	12000	400	600
		MS13	13000	400	650
		MS17	14000	450	700
3	A: Rovere, Faggio, Teak, Keruing (Yang) B: Afzelia, Merbau, Angelique (Basralocus) C: Azobé (Bongossi), Greenheart	qualità media ⁵⁾	12500	600	1000
			13000	800	1000
			17000 ⁶⁾	1200 ⁶⁾	1000 ⁶⁾

¹⁾ Nomi botanici secondo DIN 4076-1.
²⁾ Le classi di assortimento S7, S10 e S13 corrispondono alle classi di qualità III, II e I della DIN 4074-2.
³⁾ Per il calcolo della freccia di elementi messi in opera con umidità $\leq 15\%$ i valori possono essere aumentati del 10%.
⁴⁾ Per tondame da costruzione: $E_{\parallel} = 12000 \text{ N/mm}^2$.
⁵⁾ Almeno classe di assortimento S10 secondo la DIN 4074-1 ovvero classe di qualità II secondo DIN 4074-2.
⁶⁾ Valori indipendenti dall'umidità.

58/80

Le regole per la classificazione a vista di elementi strutturali lignei in opera (UNI 11119 - Beni Culturali)

Regole di classificazione per elementi strutturali lignei in opera

CARATTERISTICA		CATEGORIA IN OPERA		
		I	II	III
Smussi		$\leq 1/8$	$\leq 1/5$	$\leq 1/3$
Lesioni varie Cretti da gelo Cipollature		assenti	assenti	ammissibili, purché in misura limitata
Nodi singoli		$\leq 1/5$ ≤ 50 mm	$\leq 1/3$ ≤ 70 mm	$\leq 1/2$
Gruppi di nodi		$\leq 2/5$	$\leq 2/3$	$\leq 3/4$
Inclinazione della fibratura (pendenza %)	in sezione radiale	$\leq 1/14$ (~7%)	$\leq 1/8$ (~12%)	$\leq 1/5$ (20%)
	in sezione tangenziale	$\leq 1/10$ (10%)	$\leq 1/5$ (20%)	$\leq 1/3$ (~33%)
Fessurazioni radiali da ritiro		ammissibili, purché non passanti		

Modalità di misurazione delle caratteristiche quantificabili sugli elementi strutturali lignei in opera

Smussi	Il minore dei due rapporti tra le dimensioni dei cateti dello smusso e la dimensione del lato corrispondente della sezione efficace.
Nodi singoli	Il rapporto fra il diametro minimo del nodo e la dimensione del lato della sezione efficace su cui compare.
Gruppi di nodi	Il rapporto fra la somma dei diametri minimi dei nodi compresi in un tratto di 150 mm e la dimensione del lato della sezione efficace su cui compare.
Inclinazione della fibratura	L'inclinazione delle fessurazioni da ritiro rispetto all'asse longitudinale dell'elemento, misurata sulle tacche delle membrature, in zone distanti da nodi o da altre caratteristiche che possano comportare forti deviazioni localizzate della fibratura (per esempio a causa di nodi); la base minima di misura per la determinazione di questo parametro è pari a 150 mm, misurati parallelamente alla dimensione maggiore dell'elemento.

59/80

Tensioni massime per l'applicazione del metodo delle tensioni ammissibili e moduli medi di elasticità a flessione, per le categorie in opera delle principali specie legnose, applicabili per umidità del legno = 12%

Specie	Categoria in opera	Tensioni massime (N/mm ²)					
		compressione		flessione statica	trazione parallela alla fibratura ¹⁾	taglio (parallelo alla fibratura)	modulo di elasticità a flessione
		parallela alla fibratura	perpendicolare alla fibratura				
Abete bianco (Abies alba Mill.)	I	11	2,0	11,5	11	0,9	13 000
	II	9	2,0	10	9	0,8	12 000
	III	7	2,0	7,5	6	0,7	11 000
Abete rosso (Picea abies Karst.)	I	10	2,0	11	11	1,0	12 500
	II	8	2,0	9	9	0,9	11 500
	III	6	2,0	7	6	0,8	10 500
Larice (Larix spp.)	I	12	2,5	13	12	1,1	15 500
	II	10	2,2	11	9,5	1,0	14 500
	III	7,5	2,0	8,5	7	0,9	13 500
Pini (Pinus spp.)	I	11	2,0	12	11	1,0	13 000
	II	9	2,0	10	9	0,9	12 000
	III	7	2,0	8	6	0,8	11 000
Castagno (Castanea sativa Mill.)	I	11	2,0	12	11	0,8	10 000
	II	9	2,0	10	9	0,7	9 000
	III	7	2,0	8	6	0,6	8 000
Pioppo (Populus spp.)	I	10	1,5	10,5	9	0,6	9 000
	II	8	1,5	8,5	7	0,5	8 000
	III	6	1,5	6,5	4,5	0,4	7 000
Quercia (Quercus spp.)	I	12	3,0	13	12	1,2	13 500
	II	10	2,5	11	10	1,0	12 500
	III	7,5	2,2	8,5	7	0,9	11 500

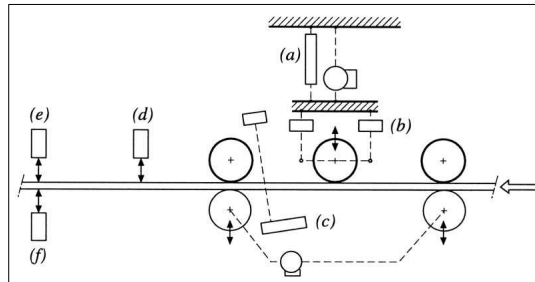
1) La tensione massima a trazione perpendicolare alla fibratura si assume convenzionalmente uguale a zero.

Le tensioni ammissibili ed i moduli di elasticità per legno massiccio in opera (UNI 11119)

60/80

La classificazione automatica a macchina del legno strutturale

EN 519 Requisiti per il legno classificato a macchina secondo la resistenza e per le macchine classificatrici



Lo schema di una macchina classificatrice

61/80

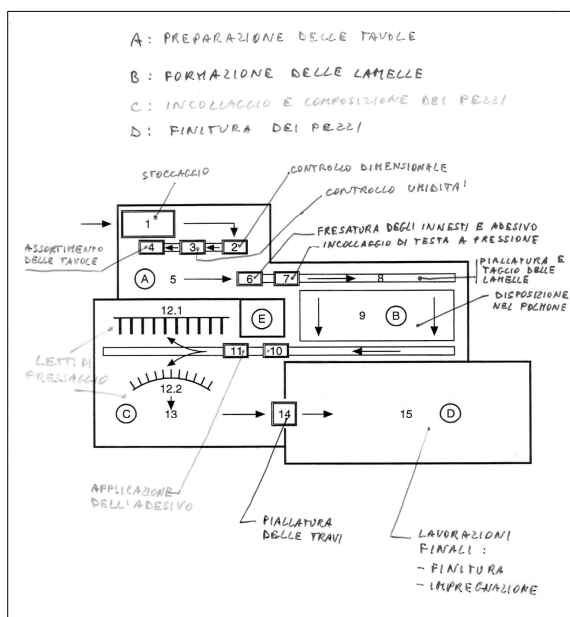
La classificazione automatica a macchina del legno strutturale

L'influenza dei diversi parametri di classificazione sulle resistenze del legno

Parametro di classificazione	Correlazione con		
	f_m	$f_{t,0}$	$f_{c,0}$
Nodi	0,5	0,6	0,4
Inclinazione della fibratura	0,2	0,2	0,1
Massa volumica	0,5	0,5	0,6
Ampiezza degli anelli	0,4	0,5	0,5
Nodi + ampiezza anelli	0,5	0,6	0,5
Nodi + massa volumica	0,7 - 0,8	0,7 - 0,8	0,7 - 0,8
Modulo di elasticità E	0,7 - 0,8	0,7 - 0,8	0,7 - 0,8
E + massa volumica	0,7 - 0,8	0,7 - 0,8	0,7 - 0,8
E + nodi	> 0,8	> 0,8	> 0,8

62/80

Il legno lamellare incollato



Il processo produttivo

63/80

Il legno lamellare incollato

La certificazione delle Ditte produttrici (DIN 1052)

Annesso A (normativo)

Certificazione di idoneità alla produzione di elementi portanti in legno lamellare

- A 1** Membrane in legno lamellare sono da considerarsi di produzione approvata (come riportato al § 12.1), quando la ditta produttrice può esibire un certificato di idoneità alla produzione (secondo le indicazioni del § A 3) attestante che la stessa è qualificata alla produzione di elementi portanti incollati.
- Ditte qualificate alla produzione di legno lamellare delle classi di resistenza BS14, BS16 o BS18 (composti rispettivamente da lamelle di classi di assortimento S13, MS13 o MS17), devono dimostrare di sottostare ad un controllo di idoneità alla produzione dei giunti a minidita come indicato nell'annesso B.
- A 2** Il certificato di idoneità alla produzione viene rilasciato da Istituti di Prova riconosciuti a seguito di ispezioni di verifica agli impianti ed alla manodopera specializzata della ditta. Il certificato - revocabile - ha validità quinquennale ed è rinnovabile, su richiesta, per ulteriori periodi quinquennali a seguito di una ulteriore verifica degli impianti e della manodopera. La ditta produttrice è tenuta a segnalare ogni variazione significativa degli impianti, del procedimento di incollaggio e della manodopera specializzata.

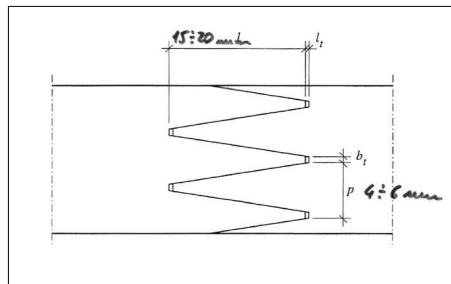
Il certificato di idoneità è inserito nel registro delle ditte autorizzate pubblicato dall'Istituto di Tecnologia delle Costruzioni di Berlino.

- A 3** Si hanno differenti tipi di certificato:
- Certificato di tipo A** per le ditte qualificate alla produzione di elementi portanti incollati di ogni tipo.
 - Certificato di tipo B** per le ditte qualificate alla produzione di elementi portanti incollati di tipo semplice (come travi con luce effettiva fino a 12 m, archi a tre cerniere con luce fino a 15 m e travi a L di lunghezza fino a 12 m).
 - Certificato di tipo C** per le ditte qualificate alla produzione di elementi portanti incollati non convenzionali soggetti all'approvazione dell'Ispettorato generale delle costruzioni.
 - Certificato di tipo D** per le ditte qualificate alla produzione di pannelli in legno per costruzioni prefabbricate. Il certificato di tipo D è automaticamente attribuito alle ditte con certificato di tipo A e B.

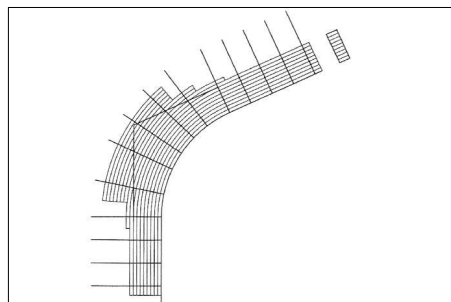
Nei certificati è inoltre riportata l'eventuale idoneità della ditta per la produzione di giunti a minidita secondo il § 12.3.

64/80

Il legno lamellare incollato



I giunti a minidita



La realizzazione di elementi curvi e di forma particolare

65/80

Il legno lamellare incollato

I controlli sulla produzione di giunti a minidita (DIN 1052)

Annesso B (normativo)

Certificazione di idoneità alla produzione di giunti a minidita in lamelle di classe di assortimento S13, MS13 e MS17 (secondo DIN 4074-1) per la produzione di legno lamellare di classe di resistenza BS14, BS16 e BS18.

B.1 Controllo di produzione interno

B.1.1 Prelievo dei campioni

In ogni turno di lavoro devono essere prelevati per ogni classe di assortimento delle lamelle almeno due campioni di giunti a dita per prove di resistenza. I campioni devono essere prelevati ad intervalli temporali circa costanti. La lunghezza dei campioni deve essere pari ad almeno 17 volte lo spessore lamelle. Inoltre il giunto a dita deve essere nella mezziera dei campioni.

B.1.2 Requisiti

Le resistenze caratteristiche a flessione $f_{m,k}$ (frattile 5%) dei campioni devono soddisfare i seguenti limiti inferiori:

- a) $f_{m,k} \geq 35 \text{ N/mm}^2$ per le lamelle ricavate da tavole di classe di assortimento S13;
- b) $f_{m,k} \geq 40 \text{ N/mm}^2$ per le lamelle ricavate da tavole di classe di assortimento MS13;
- c) $f_{m,k} \geq 45 \text{ N/mm}^2$ per le lamelle ricavate da tavole di classe di assortimento MS17.

Inoltre per ogni 100 prove consecutive non si possono avere più di 5 campioni con resistenza minore di quella caratteristica. Infine nessun campione può presentare una resistenza inferiore del 90% di quella caratteristica.

B.1.3 Metodologia di prova

I campioni devono essere sottoposti a prova su sezioni complete. La prova deve essere eseguita entro 72 ore dalla produzione del campione.

I campioni devono essere sottoposti a prove di flessione secondo l'asse debole del campione. La luce di prova deve essere pari a 15 volte lo spessore della lamella.

La prova consiste nell'applicazione di due carichi concentrati posti ai terzi della luce. I carichi devono essere incrementati con continuità fino al carico massimo. La strumentazione di prova deve permettere di misurare il carico applicato con una precisione del 1%. La rottura deve essere raggiunta in un tempo di 60 ± 15 secondi.

B.2 Controllo di produzione esterno

B.2.1 Frequenza dei controlli

I controlli esterni della produzione devono essere effettuati almeno due volte l'anno e senza alcun preavviso, a meno che non sussistano giustificati motivi che lo richiedano.

B.2.2 Prelievo dei campioni

In ogni controllo esterno devono essere prelevati in modo casuale almeno 20 campioni per ogni classe di assortimento.

B.2.3 Metodologia di prova

I campioni devono essere sottoposti a prova secondo la metodologia riportata § B.1.3.

B.2.4 Requisiti

Le resistenze caratteristiche a flessione $f_{m,k}$ (frattile 5%) dei 20 campioni prelevati devono soddisfare i requisiti di § B.1.2.

66/80

Il legno lamellare incollato

Le colle strutturali per il legno e le classi di rischio

Ad alto rischio

- Esposizione alle intemperie, ad esempio strutture marine e strutture all'esterno nelle quali l'incollaggio è esposto agli agenti atmosferici.
- Edifici con condizioni caldo-umide, dove l'umidità del legno è superiore al 18% e la temperatura degli incollaggi può essere superiore ai 50°C, come ad esempio lavanderie, piscine, sottotetti non ventilati.
- Ambienti inquinati chimicamente, ad esempio stabilimenti chimici e di tintoria.
- Muri esterni a parete semplice con rivestimento protettivo.

Per tali esposizioni gli adesivi idonei sono:

- RF: Resorcinolo-formaldeide
- PF: Fenolo-formaldeide
- PF/RF: Fenolo/resorcinolo-formaldeide
- MF/UF: Melamina/urea-formaldeide

A basso rischio

- Strutture esterne protette dal sole e dalla pioggia, coperte di tettoie aperte e porticati.
- Strutture provvisorie, come le casseforme per calcestruzzo.
- Edifici riscaldati ed aerati nei quali l'umidità del legno non superi il 18% e la temperatura dell'incollaggio rimanga al di sotto dei 50°C, ad esempio case, sale di riunione, di spettacolo, chiese ed altri edifici.

Per tali esposizioni gli adesivi idonei sono:

- RF: Resorcinolo-formaldeide
- PF: Fenolo-formaldeide
- PF/RF: Fenolo/resorcinolo-formaldeide
- MF/UF: Melamina/urea-formaldeide
- UF: Urea-formaldeide e UF modificato

67/80

L'idoneità degli adesivi strutturali in relazione alle condizioni ambientali

Ambiente	RF/PRF	PF(a caldo)	MUF	UF	Caseina
Esterno	+	+	(+)	x	x
> 50 °C	+	+	(+)	x	x
> 85 % u.r.	+	+	(+)	x	x
Marino	+	+	x	x	x
< 50 °C, < 85 % u.r.	+	+	+	+	+
Colore linea di colla	Scuri	Scuri	Chiaro	Chiaro	Chiaro
Classe Uni En	301-I	-	301 - I/II	301 - II	-
+: Idoneo x: Non idoneo (+): Alcune marche idonee -: Non compreso da norme EN esistenti					

68/80

Gli adesivi strutturali polimerici (resine)

Proprietà	resina epossidica	PU bicomponente	PU monocomponente	EPI
Resistenza alle intemperie	?	?	?	?
Resistenza al calore	?	?	?	?
Resistenza all'acqua	?	?	?	?
Creep	?	?	?	?
Resilienza	+	+	+	+
Potere riempitivo	+	+	x	x
Adesione	?	+	+	o
Facilità di impiego	x	x	x	+
Tempo di indurimento	o	o	o	+

+ Buono, probabilmente migliore degli adesivi attualmente in uso.
 o Confrontabile agli adesivi attualmente in uso.
 x Inferiore agli adesivi attualmente in uso.
 ? Incerto, grandi variazioni fra marche.

69/80

I profili prestazionali (EN 338) per il legno lamellare omogeneo

Valori caratteristici per le proprietà di resistenza e di rigidezza in N/mm² e di massa volumica in kg/m³
(per legno lamellare incollato omogeneo)

Classe di resistenza del legno lamellare incollato		GL 24h	GL 28h	GL 32h	GL 36h
Resistenza a flessione	$f_{m,g,k}$	24	28	32	36
Resistenza a trazione	$f_{t,0,g,k}$	16,5	19,5	22,5	26
	$f_{t,90,g,k}$	0,4	0,45	0,5	0,6
Resistenza a compressione	$f_{c,0,g,k}$	24	26,5	29	31
	$f_{c,90,g,k}$	2,7	3,0	3,3	3,6
Resistenza a taglio	$f_{v,g,k}$	2,7	3,2	3,8	4,3
Modulo di elasticità	$E_{0,g,mean}$	11 600	12 600	13 700	14 700
	$E_{0,g,05}$	9 400	10 200	11 100	11 900
	$E_{90,g,mean}$	390	420	460	490
Modulo di taglio	$G_{g,mean}$	720	780	850	910
Massa volumica	$\rho_{g,k}$	380	410	430	450

70/80

I profili prestazionali (EN 338) per il legno lamellare combinato

Valori caratteristici per le proprietà di resistenza e di rigidità in N/mm² e di massa volumica in kg/m³
(per legno lamellare incollato combinato)

Classe di resistenza del legno lamellare incollato		GL 24c	GL 28c	GL 32c	GL 36c
Resistenza a flessione	$f_{m,g,k}$	24	28	32	36
Resistenza a trazione	$f_{t,0,g,k}$	14	16,5	19,5	22,5
	$f_{t,90,g,k}$	0,35	0,4	0,45	0,5
Resistenza a compressione	$f_{c,0,g,k}$	21	24	26,5	29
	$f_{c,90,g,k}$	2,4	2,7	3,0	3,3
Resistenza a taglio	$f_{v,g,k}$	2,2	2,7	3,2	3,8
Modulo di elasticità	$E_{0,g,mean}$	11 600	12 600	13 700	14 700
	$E_{0,g,05}$	9 400	10 200	11 100	11 900
	$E_{90,g,mean}$	320	390	420	460
Modulo di taglio	$G_{g,mean}$	590	720	780	850
Massa volumica	$\rho_{g,k}$	350	380	410	430

Le proprietà meccaniche delle lamelle per la composizione delle travi lamellari

ESEMPI DI COMPOSIZIONI DI TRAVI

Il legno lamellare incollato con composizione di trave conforme a quanto mostrato nei prospetti B.1 e B.2, è conforme a tutte le proprietà meccaniche delle classi di resistenza fornite nei prospetti 1 e 2.

Esempi di composizioni di travi conformi ai prospetti 1 e 2; proprietà richieste per le lamelle in conformità al 6.3.1

Classe di resistenza del legno lamellare incollato	GL 24	GL 28	GL 32	GL 36
Legno lamellare incollato omogeneo:				
Resistenza a trazione, in N/mm ²	14,5	18	22	26
Modulo di elasticità a trazione, in N/mm ²	11 000	12 000	13 000	14 000
Massa volumica, in kg/m ³	350	370	390	410
Legno lamellare incollato combinato: ^{*)}				
Resistenza a trazione, in N/mm ²	14,5/11	18/14,5	22/18	26/22
Modulo di elasticità a trazione, in N/mm ²	11 000/9 000	12 000/11 000	13 000/12 000	14 000/13 000
Massa volumica, in kg/m ³	350/320	370/350	390/370	410/390

^{*)} I valori di massa volumica sono indicativi.

^{**)} Per il legno lamellare combinato, le proprietà richieste sono fornite per le lamelle esterne/interne.

73/80

Le tensioni ammissibili per legno lamellare nelle norme DIN 1052

Tabella 16: Tensioni ammissibili per legno lamellare (secondo § 12.6) in N/mm² per condizioni di carico H

Tipo di tensione		Legno lamellare (realizzato con specie legnose di Tabella 1, riga 1)			
		Classi di legno lamellare			
		BS11	BS14	BS16	BS18
		Classe di assortimento delle lamelle secondo DIN 4074-1			
		S10 / MS10	S13	MS13	MS17
1	Flessione $\sigma_{fl, ammi}$	11	14	16	18
2	Trazione alle fibre $\sigma_{Z , ammi}$	8.5	10.5	11	13
3	Trazione ⊥ alle fibre $\sigma_{Z ⊥, ammi}$	0.2	0.2	0.2	0.2
4	Compressione alle fibre $\sigma_{D , ammi}$	8.5	11	11.5	13
5a	Compressione ⊥ alle fibre $\sigma_{D ⊥, ammi}$	2.5	2.5	2.5	2.5
5b		3 ¹⁾	3 ¹⁾	3 ¹⁾	3 ¹⁾
6	Taglio alle fibre $\tau_{d, ammi}$	0.9	0.9	1	1
7	Taglio ⊥ alle fibre $\tau_{q, ammi}$	1.2	1.2	1.3	1.3
8	Torsione ²⁾ $\tau_{T, ammi}$	1.6	1.6	1.6	1.6

¹⁾ Nell'utilizzazione di questi valori sono da attendersi schiacciamenti locali maggiori di cui si dovrà, se necessario, tenere conto nel progetto. Questi valori non possono essere utilizzati nelle connessioni con mezzi di unione differenti.

²⁾ Per le sezioni a cassone devono essere rispettati i valori di riga 7.

74/80

I moduli di elasticità per legno lamellare nelle norme DIN 1052

Tabella 15: Moduli di elasticità e scorrimento in N/mm^2 per elementi costruttivi di legno lamellare (umidità $\leq 15\%$)

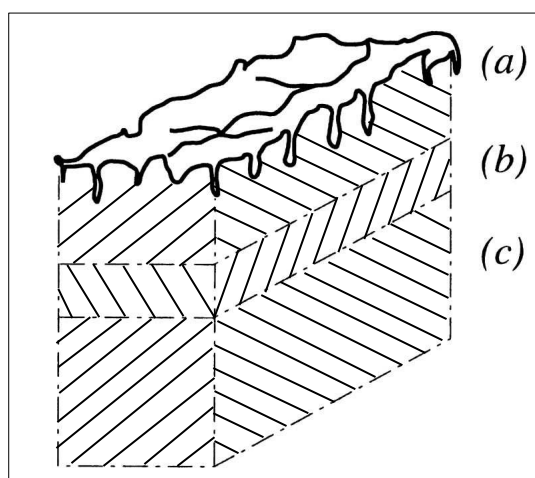
Moduli di elasticità	Legno lamellare (realizzato con specie legnose di Tabella 1, riga 1)			
	Classi di legno lamellare			
	BS11	BS14	BS16	BS18
	Classe di assortimento delle lamelle secondo DIN 4074-1			
	S10 - MS10	S13	MS13	MS17
1 Flessione E_f	11000	11000 ¹⁾	12000 ¹⁾	13000 ¹⁾
2 Trazione e Compressione E_t	11000	12000	13000	14000
3 Trazione e Compressione E_c	350	400	400	450
4 Modulo di taglio G	550	600	650	700

¹⁾ Per il modulo di elasticità a flessione di elementi di legno lamellare omogenei (ovvero realizzati con lamelle della classe di assortimento corrispondente) si possono utilizzare i valori di riga 2. Lo stesso vale per gli elementi di legno lamellare combinati (ovvero realizzati con lamelle della classe di assortimento corrispondente e della classe immediatamente inferiore) nei quali almeno $1/6$ dell'altezza della trave su entrambi i lati, è realizzata con lamelle della classe di assortimento corrispondente. Questo vale anche se in disaccordo con quanto riportato nel § 5.1.2, secondo capoverso.

75/80

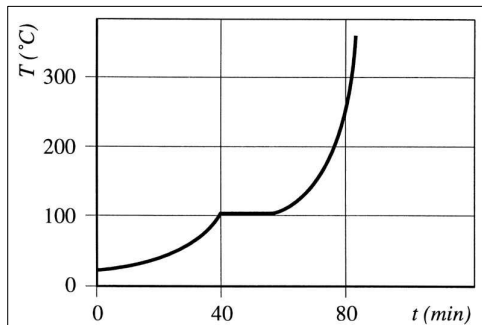
La resistenza al fuoco del legno

I cambiamenti del legno sotto l'azione del fuoco



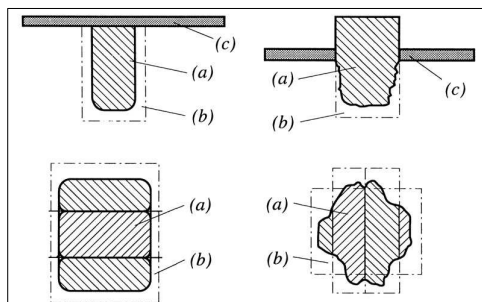
- a) Legno carbonizzato
- b) Strato pirolitico
- c) Legno non influenzato dal fuoco

76/80



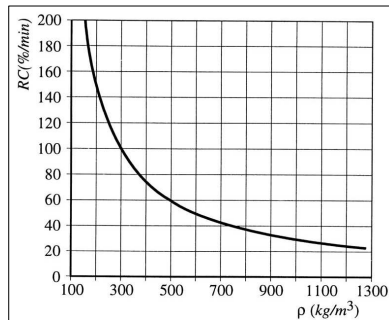
La resistenza al fuoco del legno

La temperatura nel legno riscaldato (strato c)



La riduzione di sezione negli elementi strutturali

77/80



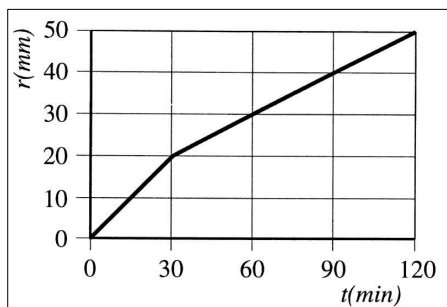
La resistenza al fuoco del legno

Relazione tra massa volumica e velocità di combustione

Materiale		β₀ in mm/min
Legno massiccio di conifera con	ρ _k ≥ 290 kg/m³ e min a ≥ 35 mm	0,8
Legno lamellare incollato di conifera con	ρ _k ≥ 290 kg/m³	0,7
Pannelli di legno con	ρ _k ≥ 450 kg/m³ e t _p = 20 mm	0,9
Legno massiccio di latifolia con	ρ _k ≥ 450 kg/m³	0,5
Legno lamellare incollato di latifolia con	ρ _k ≥ 450 kg/m³	0,5
Quercia		0,5
Legno massiccio di latifolia con	ρ _k ≥ 290 kg/m³	0,7
Legno lamellare incollato di latifolia con	ρ _k ≥ 290 kg/m³	0,7
Compensato con	ρ _k ≥ 450 kg/m³ e t _p = 20 mm	1
Pannelli a base di legno con	ρ _k ≥ 450 kg/m³ e t _p = 20 mm	0,9

La velocità di carbonizzazione di progetto (senza tener conto dell'arrotondamento degli spigoli)

78/80



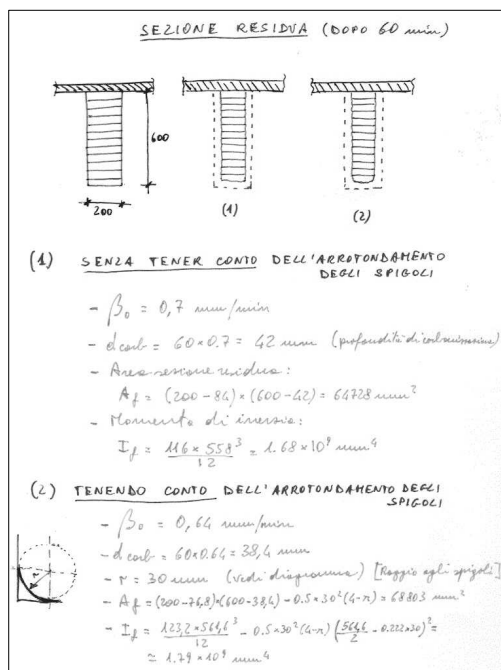
La resistenza al fuoco del legno

L'arrotondamento degli spigoli

Materiale		β_0 in mm/min
Legno massiccio di conifera con	$\rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,67
Legno lamellare incollato di conifera con	$\rho_k \geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,64
Legno massiccio di latifoglia con	$\rho_{\text{mean}} \geq 350 \text{ kg/m}^3$	0,54
Legno lamellare incollato di latifoglia con	$\rho_{\text{mean}} \geq 350 \text{ kg/m}^3$	0,54

La velocità di carbonizzazione di progetto (tenendo conto dell'arrotondamento)

79/80



Un esempio di calcolo

Senza arrotondamento degli spigoli

Con arrotondamento degli spigoli

80/80