



**Ordine degli Ingegneri
della Provincia di Macerata**
Commissione Strutture e Geotecnica

Macerata, 14 marzo 2025

Sponsor:

CANDUCCI

Costruzioni in legno

Marco Pio Lauriola
www.timberdesign.it



TIMBERDESIGN
Progetti in legno

Il contenuto di questa presentazione ha finalità esclusivamente didattica per gli iscritti al seminario del 14 marzo 2025 organizzato dall'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Macerata sotto licenza: Creative Commons BY-NC-ND

Attribuzione – Non commerciale – Non opere derivate

<https://creativecommons.org/licenses/>



Per l'attribuzione, l'autore del contenuto è:
Marco Pio Lauriola, Timber Design Firenze

□ Importanza del legno

Età della pietra



Età del bronzo



Età del ferro



... e l'età del legno?

Prodotti a base di legno per uso strutturale



□ Le specie legnose maggiormente utilizzate nelle strutture sono:

- *Conifere*: abete (rosso e bianco), pino, larice, duglasia.
- *Latifoglie*: quercia (farnia, rovere, cerro, roverella), castagno, pioppo.

Il pioppo, pur essendo una latifoglia, tecnologicamente è molto simile alle conifere alle quali viene associato.







Prodotti a base di legno:
Pannelli di legno massiccio a strati incrociati incollati



Xlam



Prodotti a base di legno: Pannelli OSB (oriented strand board), e compensati strutturali

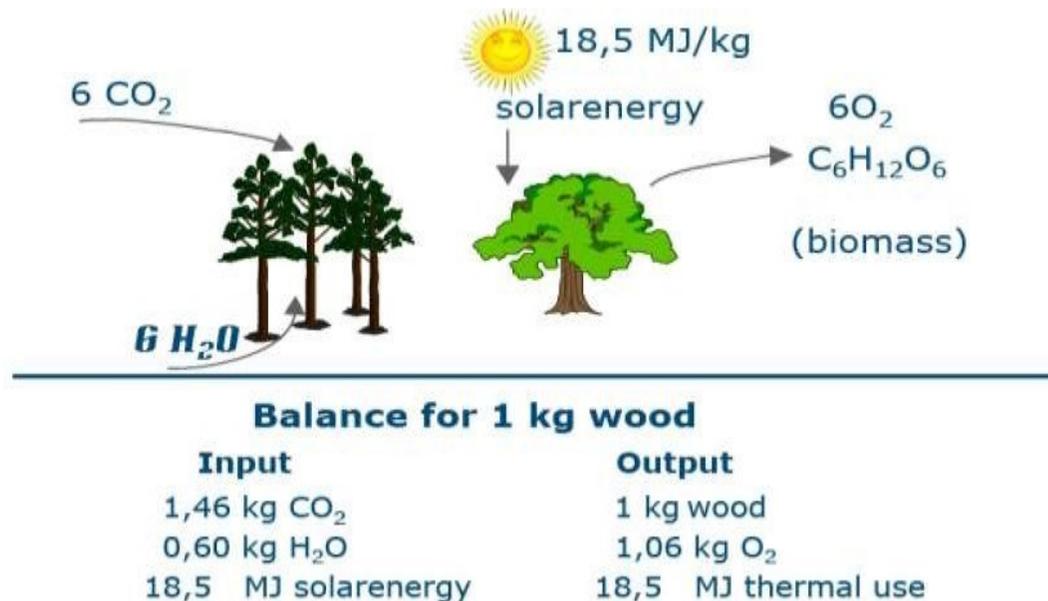


OSB in edificio platform-frame





Sostenibilità



- Attraverso la fotosintesi clorofilliana circa 1,5 kg di CO₂ si combinano con 0,6 kg d'acqua e producono 1 kg di biomassa legnosa e 1,06 kg di ossigeno

Quindi per "produrre" 1 m³ di legno ossia circa 600 kg si impiegano circa 600x1,5= 900kg (0,9 t) di CO₂

- ❑ In Europa viene tagliato solo il 65% della crescita annuale, in Toscana solo il 40%



- Forest Stewardship Council

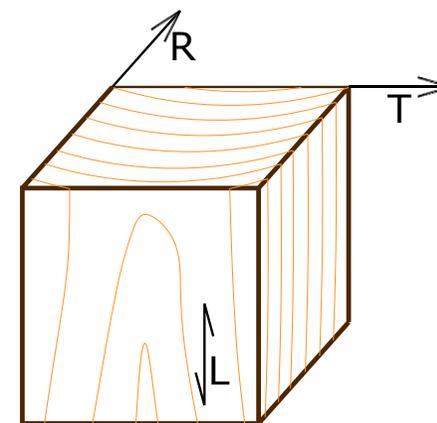
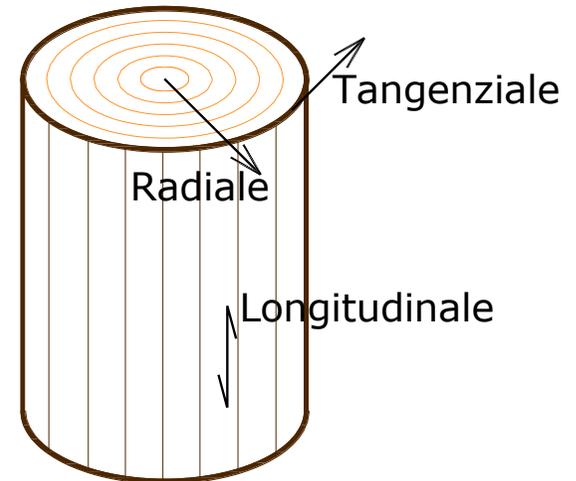


- Programme for Endorsement of Forest Certification schemes

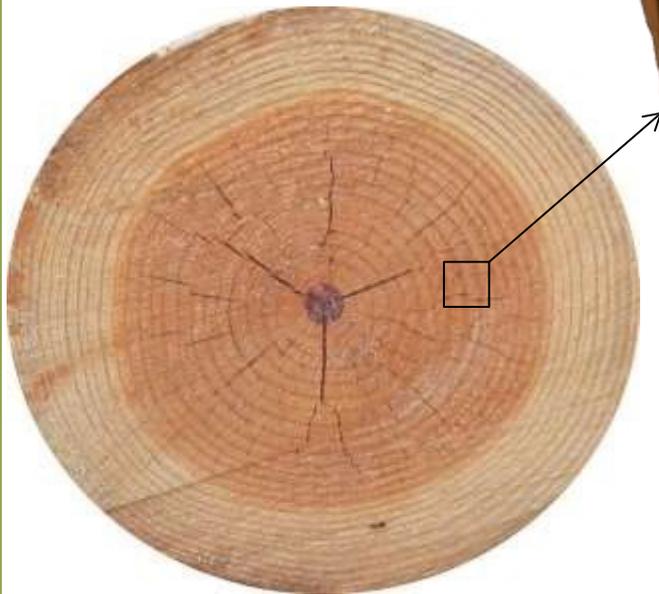


Tecnologia del legno

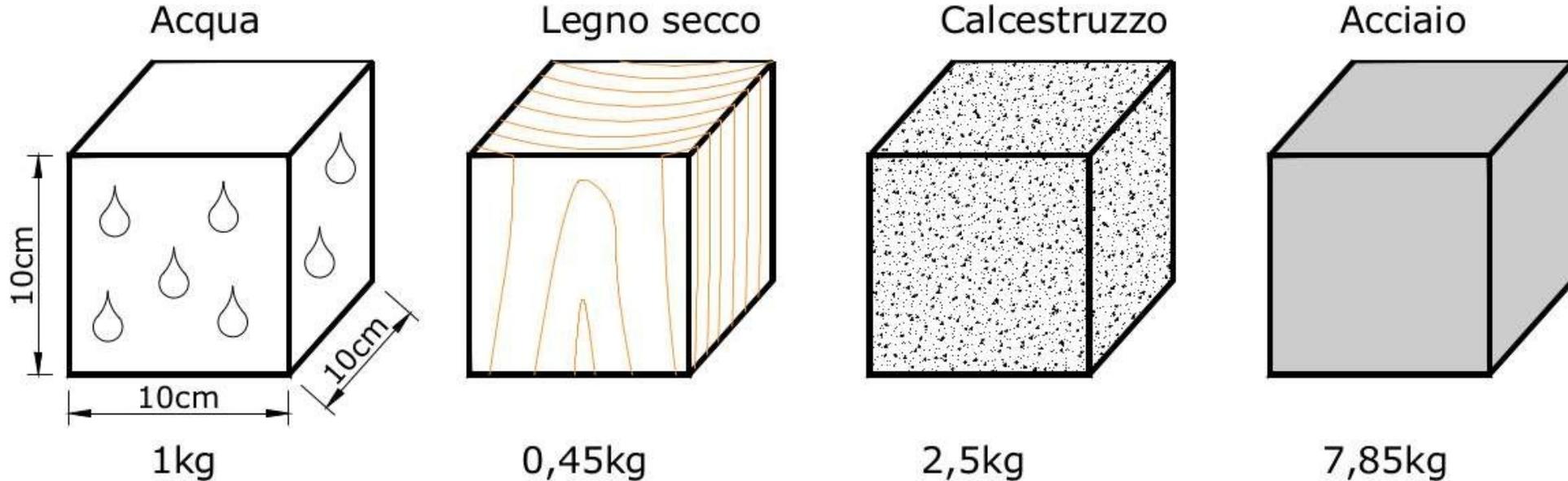
Le direzioni anatomiche del legno



□ Anatomia



□ Peso specifico del legno



Il peso specifico del legno dipende dalla specie legnosa, dalle condizioni di crescita e dal contenuto di umidità:

L'abete può pesare circa **1kg/dm³** se molto umido (appena tagliato) e circa **0,35kg/dm³** da secco

□ Umidità del legno

Legno umido



$P = 140\text{g}$

Legno assolutamente secco

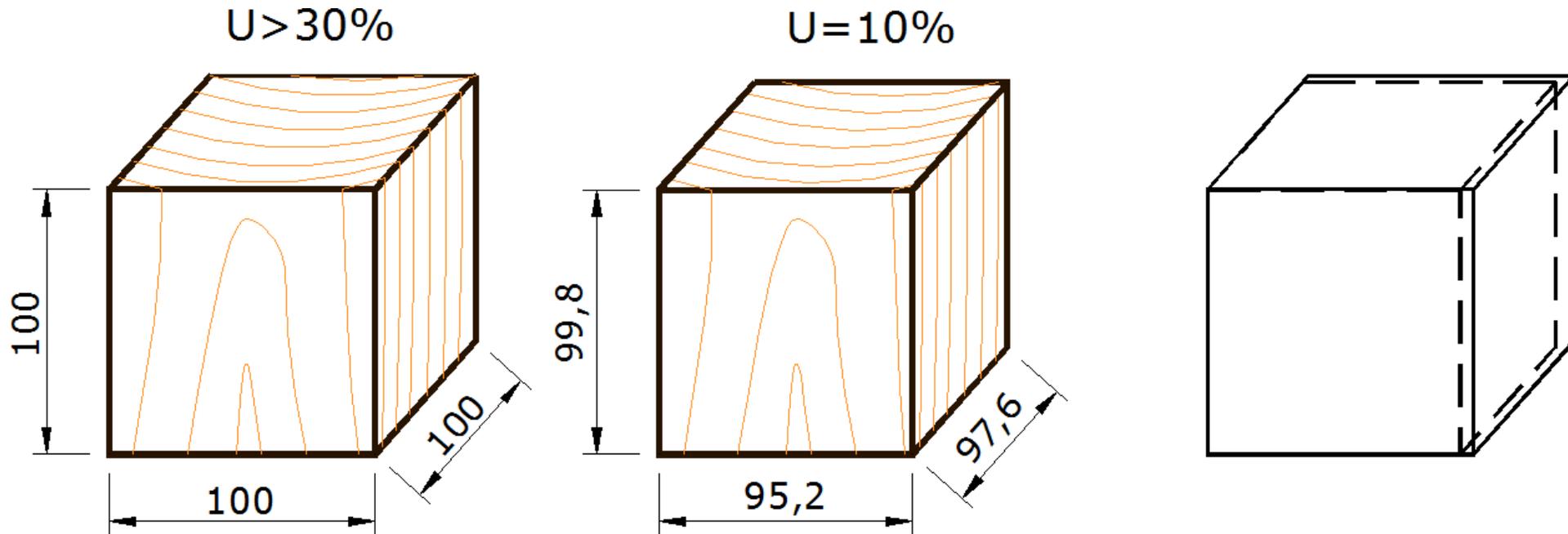


$P_0 = 90\text{g}$

$$U = \frac{P - P_0}{P_0} = \frac{140 - 90}{90} = \frac{50}{90} = 55\%$$

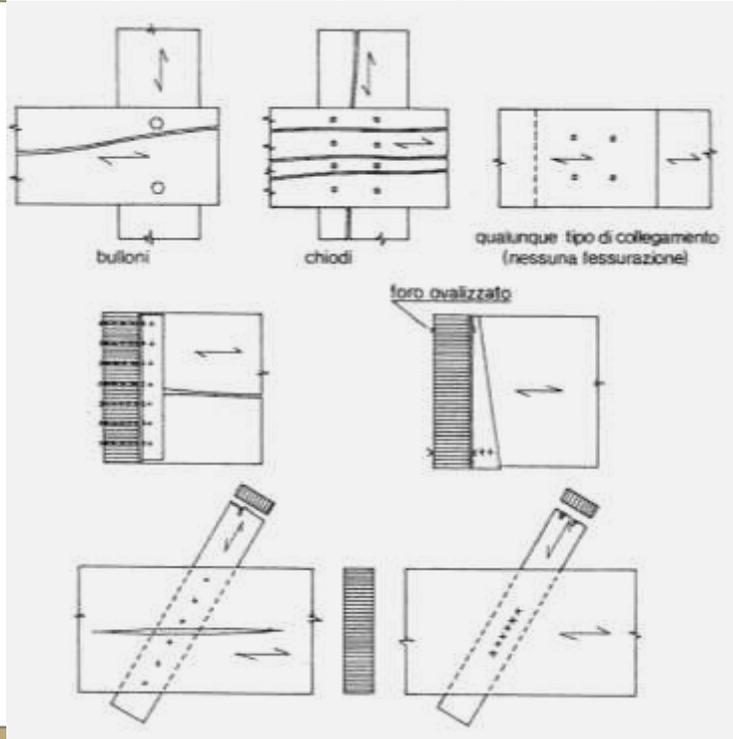
$$P = 140\text{g} = \text{legno } 90\text{g} + \text{acqua } 50\text{g}$$

❑ Ritiro e rigonfiamento: esempio legno di conifera



Il fenomeno del ritiro e rigonfiamento si ha solo per umidità comprese fra lo 0% ed il 30% (punto di saturazione delle pareti cellulari); per valori superiori al 30% il legno non si ritira e non si rigonfia.



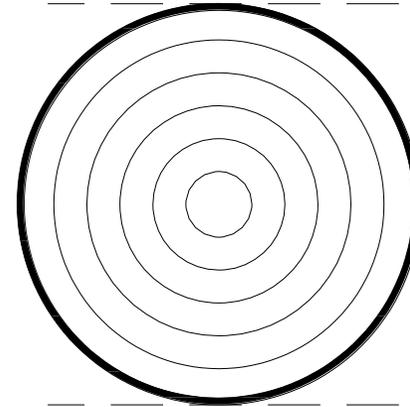
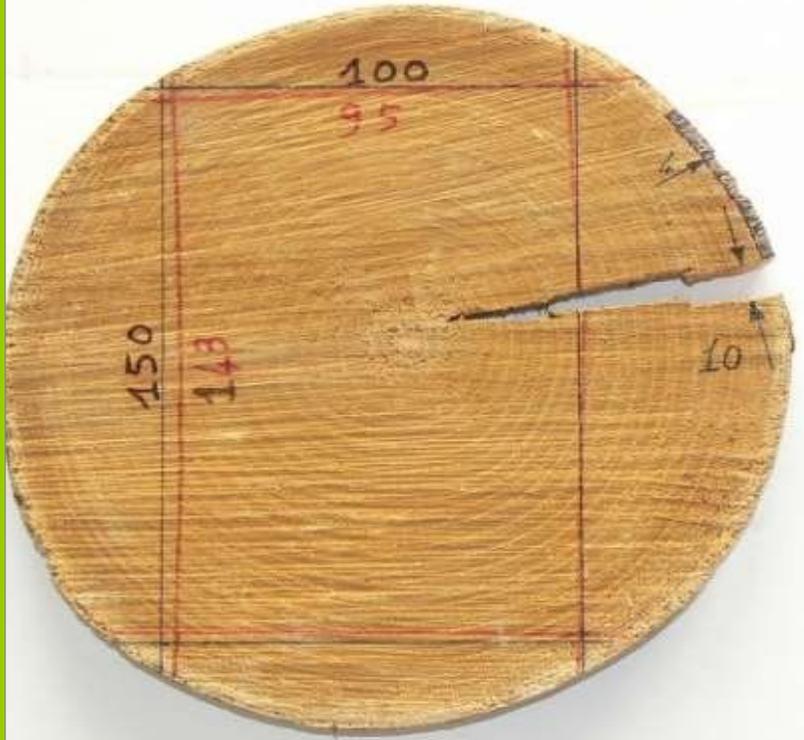


❑ Misurazione umidità del legno

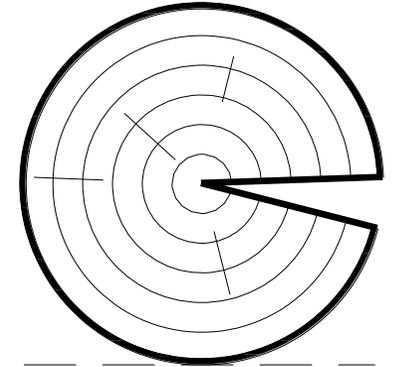


L'umidità del legno si può misurare in cantiere per mezzo degli igrometri elettrici, apparecchi che misurano la resistenza elettrica fra due elettrodi (chiodi) infissi nel legno la quale è correlata con l'umidità del legno.

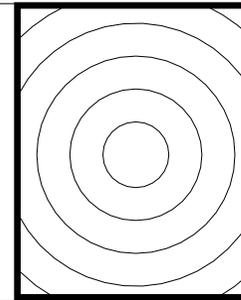
❑ Fessure da ritiro e distorsione della sezione



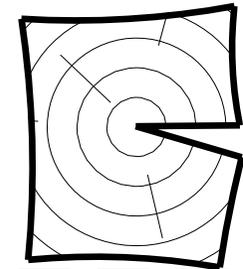
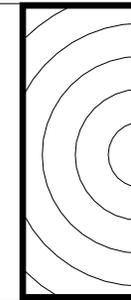
$U > 30\%$



$U < 30\%$



$U > 30\%$



$U < 30\%$

Essendo il ritiro tangenziale maggiore di quello radiale (il ritiro dell'anello è circa doppio rispetto al ritiro del raggio), alla perdita di umidità corrisponde una diminuzione del diametro del tronco ed una distorsione della sezione.

Nel 1844 l'Ingegnere russo Dmitrij Ivanovič Žuravskij (tradotto **Jourawsky**) **elaborò la sua teoria osservando che le travi di legno**, che lui utilizzava per realizzare ponti ferroviari, erano deboli per taglio lungo la fibratura e che tale tensione non poteva essere trascurata. Utilizzò la sua teoria anche per la progettazione dei mezzi di unione (biette) delle travi di legno composte e poi di acciaio (chiodi).



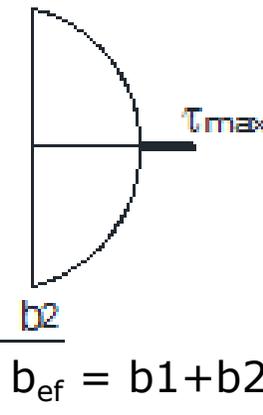
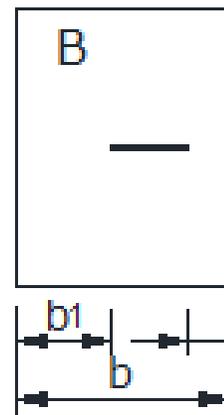
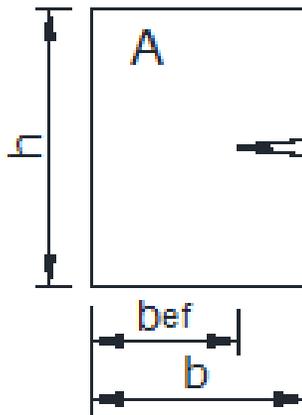
4.4.8.1.9 Taglio **NTC18 = EC5**

Deve essere soddisfatta la condizione:

$$\tau_d \leq f_{v,d} \quad [4.4.8]$$

dove:

τ_d è la massima tensione tangenziale di progetto, valutata secondo la teoria di Jourawski, considerando una larghezza di trave opportunamente ridotta per la presenza di eventuali fessurazioni;



$$\tau_{max} = \frac{T \cdot S_x}{b_{ef} \cdot J_x} = 1,5 \cdot \frac{T}{b_{ef} \cdot h}$$

$$b_{ef} = k_{cr} \cdot b$$

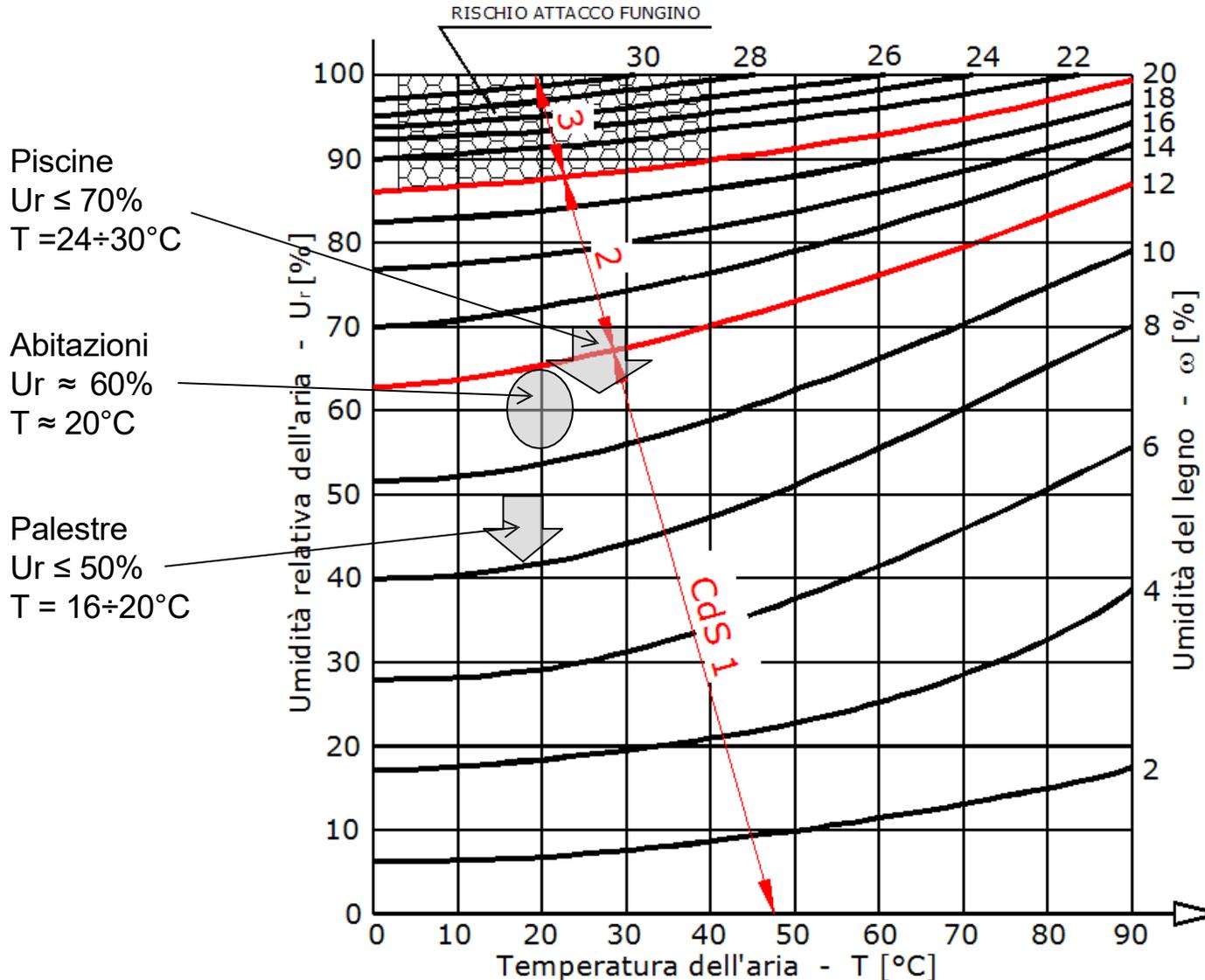
Circolare 7/19

- $K_{cr} = 2.0 / f_{v,k}$ (=0.67÷0.4) per legno massiccio;
- $K_{cr} = 2.5 / f_{v,k}$ (=2.5/3.5=0.714) per legno lamellare;
- $K_{cr} = 1.0$ per pannelli ed LVL.

EC5

$$K_{cr} = 0,67$$

Relazioni legno acqua – Curve di equilibrio isgroscopico



Classi di servizio:

- 3:** All'aperto, senza protezione dalle intemperie
- 2:** In ambienti chiusi non riscaldati d'inverno; in ambienti aperti ma al coperto
- 1:** In ambienti chiusi e riscaldati d'inverno

Tabella 7-2 - Classi di servizio

<i>Classe di servizio</i>	<i>Descrizione dell'ambiente</i>
1	Ambiente al chiuso, riscaldato d'inverno. Temperatura media di 20°C e umidità relativa dell'aria maggiore del 65% solo per poche settimane all'anno. L'umidità media di equilibrio del legno, nella maggior parte delle conifere, non è maggiore del 12%.
2	Ambiente al chiuso, anche non riscaldato d'inverno; ambiente all'aperto ma non direttamente esposto alle intemperie. Temperatura media di 20°C e umidità relativa dell'aria maggiore dell'85% solo per poche settimane all'anno. L'umidità media di equilibrio del legno, nella maggior parte delle conifere, non è maggiore del 20%.
3 (*)	Ambiente in cui le strutture sono direttamente esposte alle intemperie o frequentemente sottoposte ad inumidimento o immerse. L'umidità media di equilibrio del legno è generalmente maggiore del 20% o comunque tale umidità viene superata per lunghi periodi.
Qualora il legno si trovi in un ambiente o in condizioni diverse da quelli descritti, l'attribuzione alla classe di servizio dovrà essere fatta con riferimento al valore di umidità di equilibrio del legno consultando le curve di equilibrio igroscopico riportate nella figura 7-1.	
* La maggior parte delle specie legnose in classe di servizio 3 non ha una durabilità naturale sufficiente nei confronti del degrado da funghi della carie. Pertanto, in questi casi, occorre prestare particolare attenzione ai fenomeni di degrado.	



Durabilità

Degrado da insetti

Alburno e durame

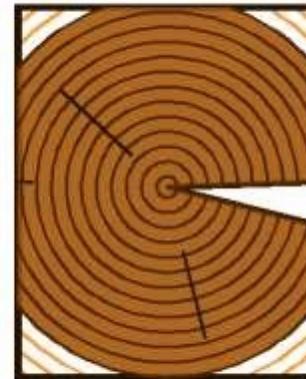
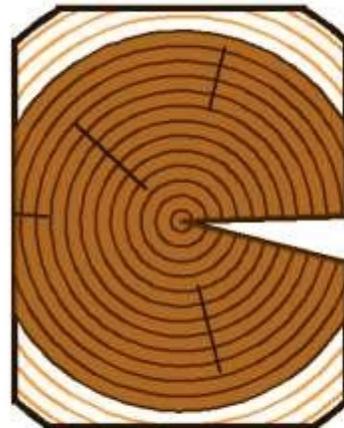
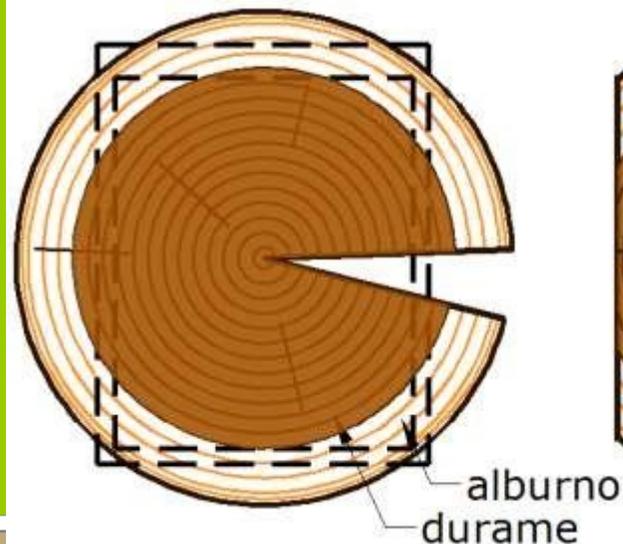
Alburno: anelli
periferici.
Conduce la linfa.
Contiene amidi e
zuccheri.



Durame: parte centrale del tronco.
Ha la sola funzione di sostegno della pianta.
Nelle specie a durame differenziato contiene i
tannini che conferiscono colore scuro e durabilità.

Le proprietà meccaniche dell'alburno e del durame sono simili fra loro, le caratteristiche di durabilità invece sono spesso nettamente diverse.

Degrado da insetti



❑ Attacco da insetti (coleotteri)

Generalmente gli insetti mangiano l'alburno in quanto contiene sostanze a loro gradite come gli amidi e gli zuccheri. Queste sostanze col tempo tendono a trasformarsi e a non essere più gradite agli insetti, per questo le strutture antiche non hanno attacchi di insetti in corso.



❑ Attacco da insetti (coleotteri)

Il ciclo di vita di un insetto parte dalla deposizione delle uova da parte di un insetto adulto (farfalla) su piccole cavità o fessure del legno. L'uovo si schiude e dà vita alla larva che penetra nella massa legnosa mangiandola e scavando gallerie. Alla fine del suo ciclo di vita, divenuta insetto perfetto (con le ali), abbandona il legno creando i "fori di sfarfallamento".



Questi, essendo fori di uscita e non di ingresso, non ci forniscono indicazioni sull'entità dell'attacco in corso.

Requisiti nei confronti degli insetti xilofagi

Abete (durame **non** differenziato)



Quercia (durame differenziato)







Durabilità Degrado da funghi (attacco fungino – Carie – Marcescenza)

□ Attacco da funghi: carie

I funghi della carie si diffondono nell'aria attraverso le spore, che giunte sul legno germinano **se il legno ha un'umidità superiore al 20%**, tuttavia non necessariamente danno origine al corpo fruttifero visibile.

I funghi provocano un progressivo degrado chimico del legno, determinando una forte diminuzione di resistenza; con il tempo dà luogo a marcescenza.



□ Capriata Palladiana



1300 – Santa Croce - Firenze



1100 – Santo Stefano al Ponte - Firenze

❑ Le pagode giapponesi (oltre mille anni)



Strutture parzialmente esposte



- ❑ Palasport Torrita di Siena
Durata in servizio:
18 anni !!!



Durabilità – Degrado da funghi

❑ Ponte pedonale a Marzabotto

Durabilità – Degrado da funghi



❑ Ponte pedonale a Benevento



Durabilità – Degrado da funghi

□ Appoggi



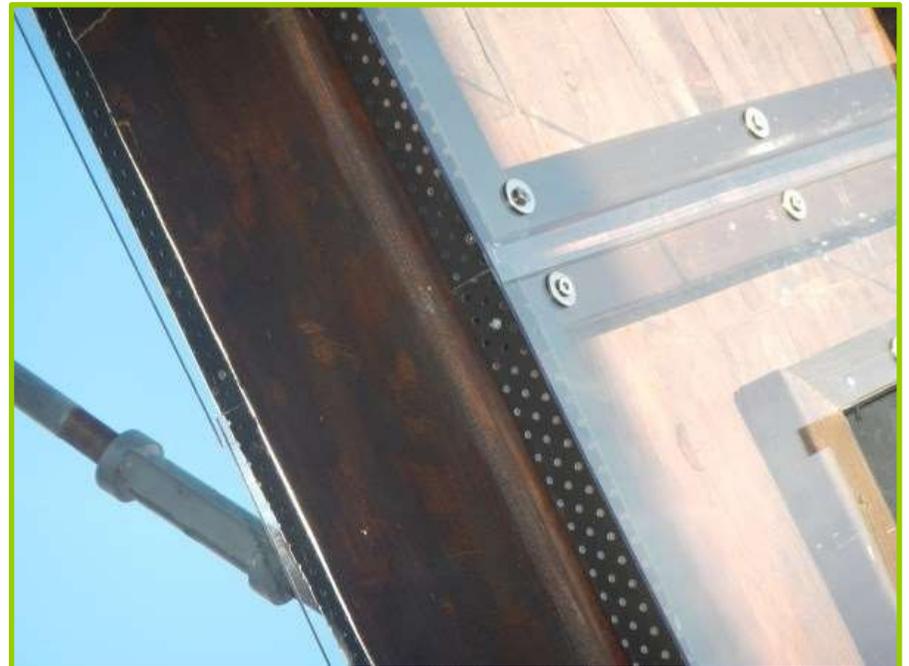
Durabilità – Degradato da funghi

❑ Dettagli

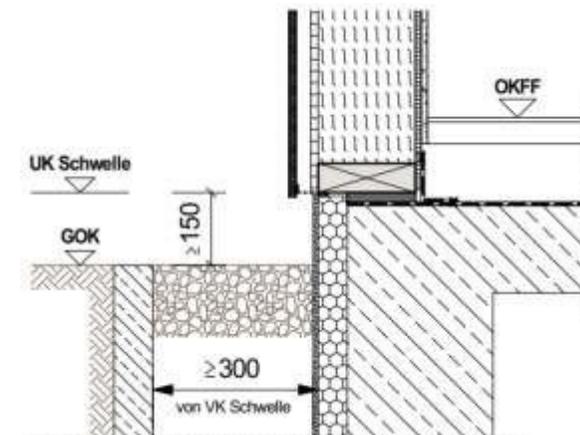


□ Dettagli

Durabilità – Degrado da funghi



Attacco a terra - pareti

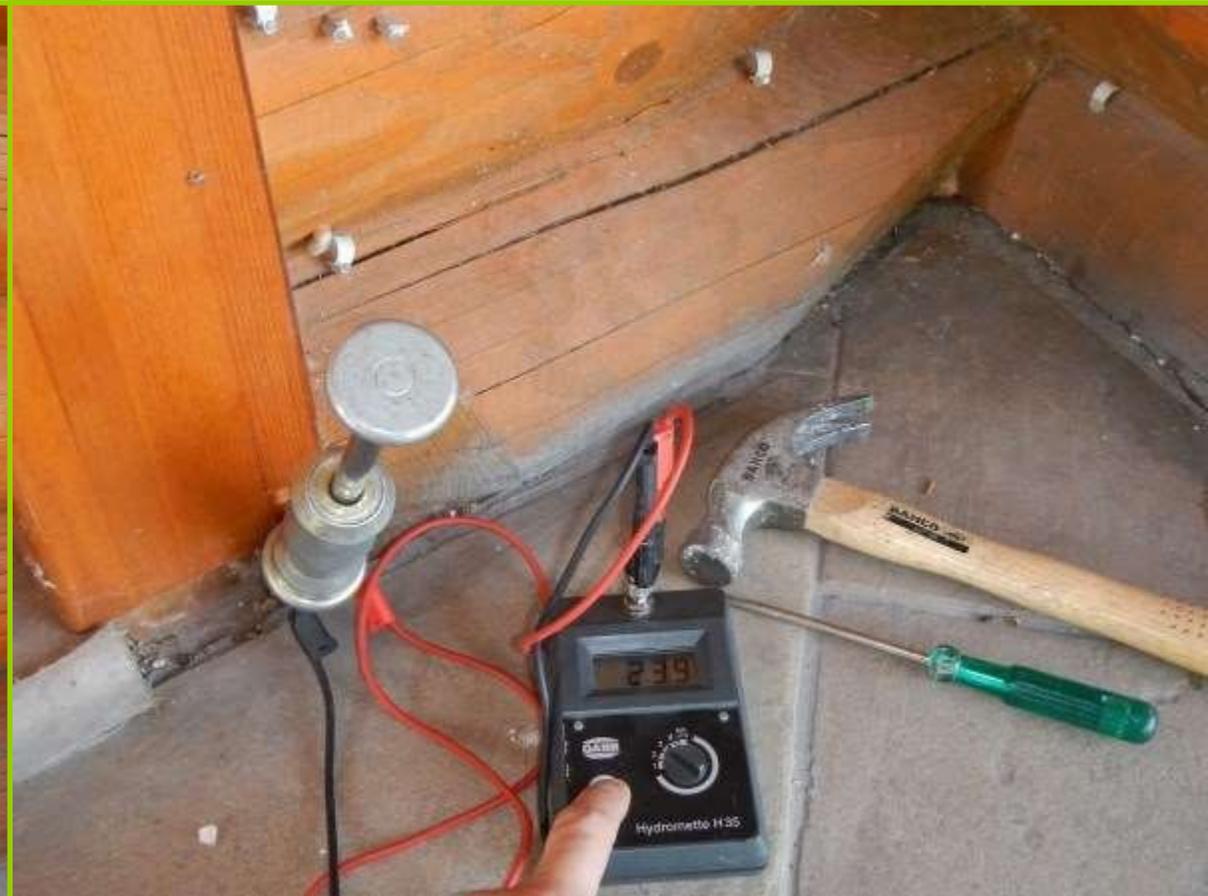


❑ Parete blockhaus non esposta



□ Parete blockhaus – durata in servizio 8 anni

Durabilità – Degrado da funghi



❑ Parete blockhaus – durata in servizio 8 anni



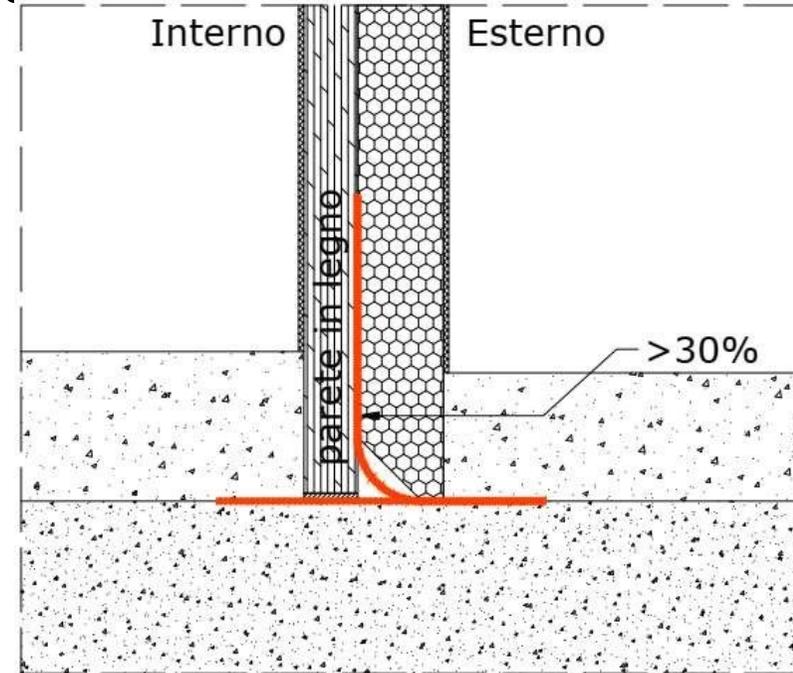
Durabilità – Degradato da funghi

❑ Pareti



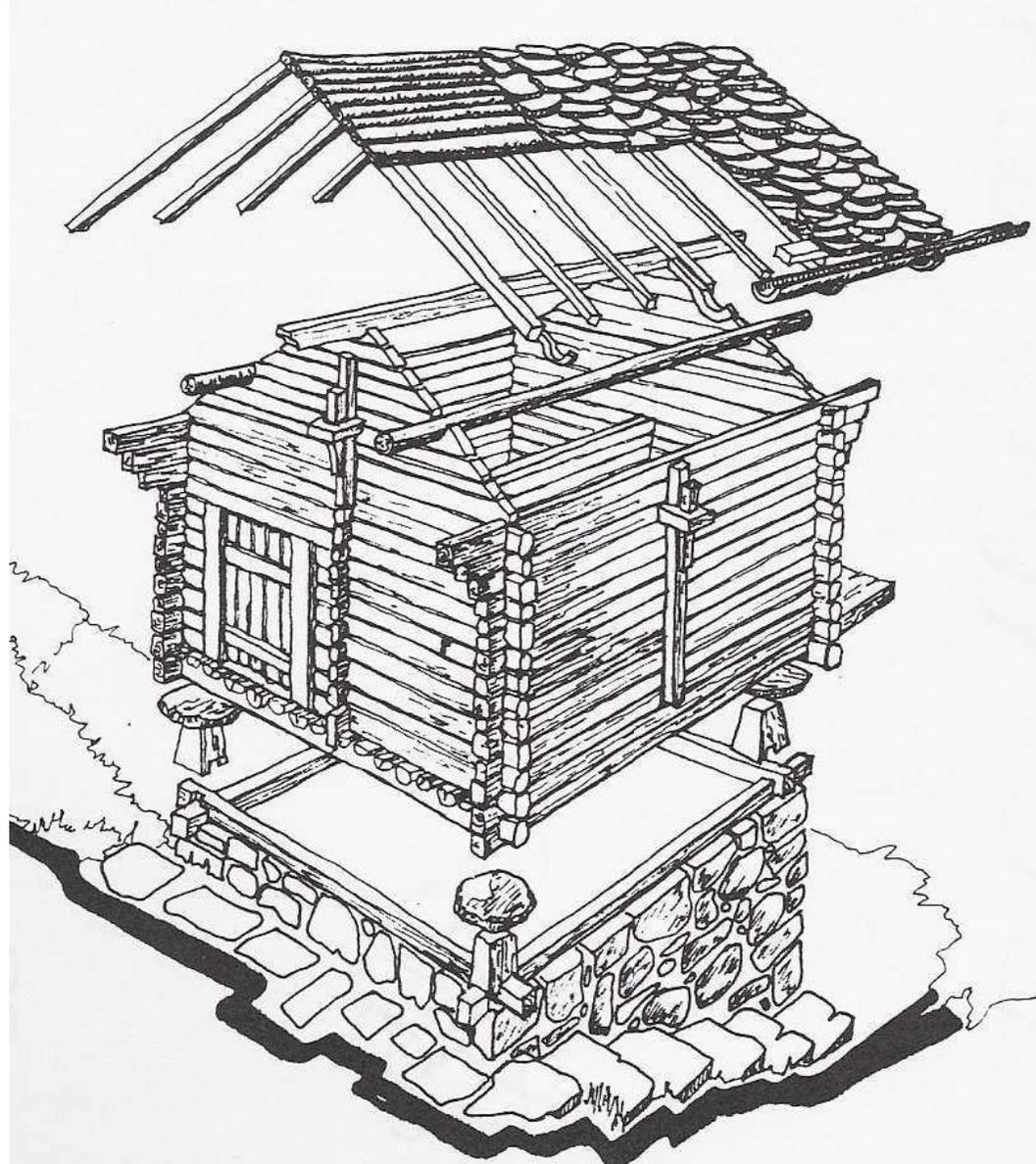
Durabilità – Degrado da funghi

❑ Parete xlam durata in servizio: 2 anni !!!





Durabilità – Degradato da funghi



Attacco a terra - pilastri



□ Cento (FE)



❑ 1272 - Pieve di Cento (BO)

Durabilità – Degrado da funghi



2015 – Autostrada A4 Torino Trieste



Durabilità – Degrado da funghi

2019 – Autostrada A4 Torino Trieste



❑ 2022 – Autostrada A4 Torino Trieste



Durabilità – Degrado da funghi

❑ Pilastri



❑ Pilastri

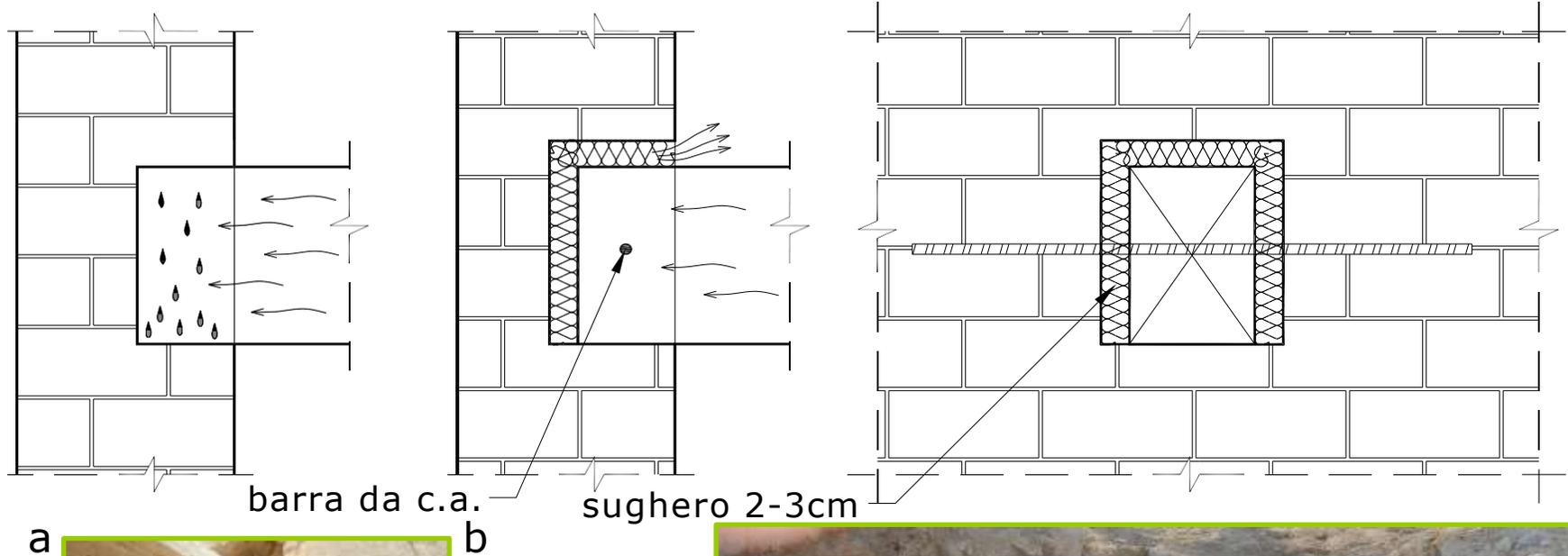
Durabilità – Degradato da funghi



Condensa



Condensa ai ponti termici



❑ Condensa



Balconi



❑ Aggetti

Durabilità – Degrado da funghi



❑ Aggetti



Attacco dei parapetti



Durabilità – Degradato da funghi

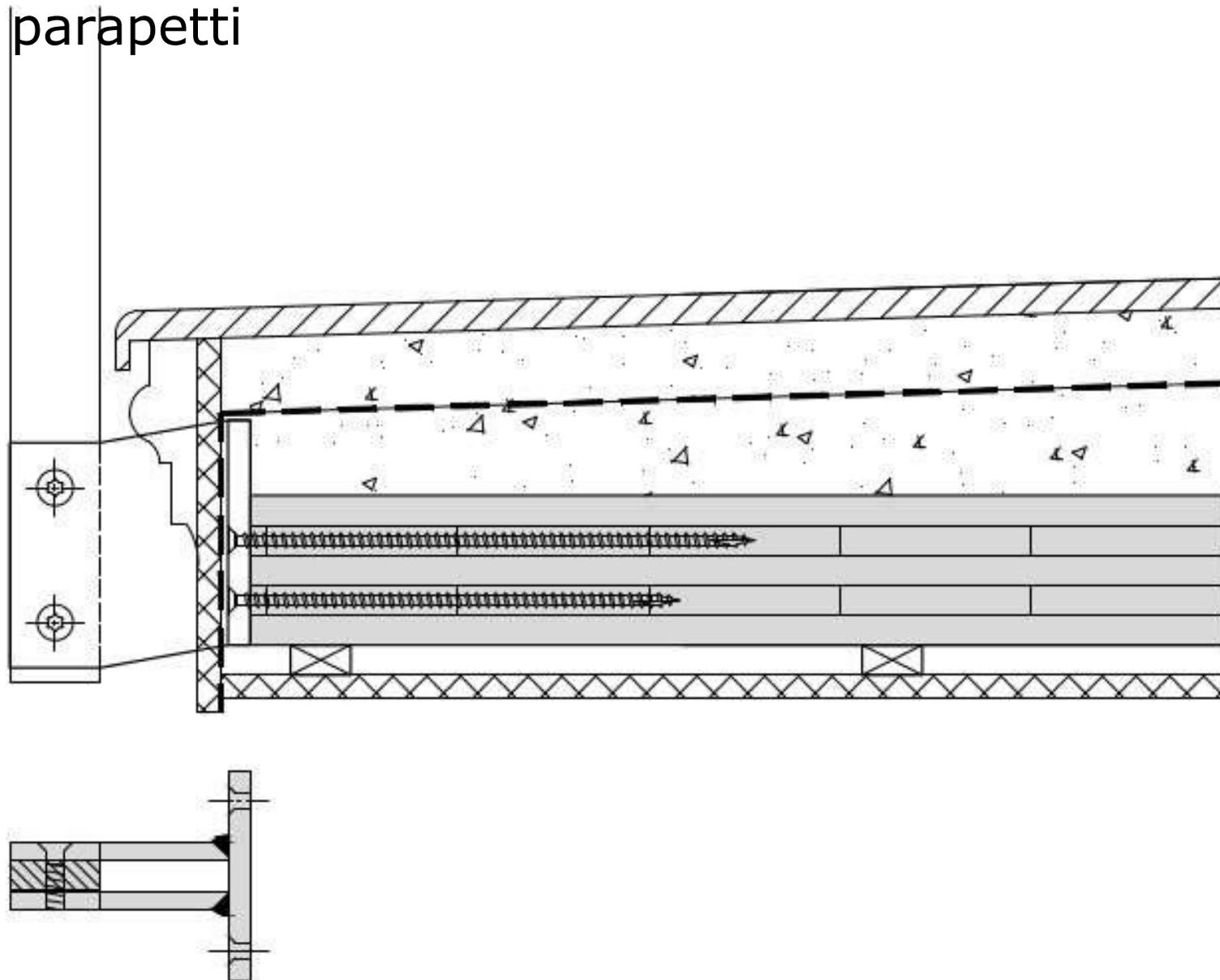
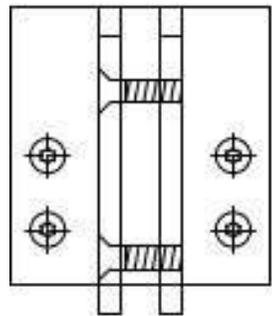


Attacco dei parapetti



Durabilità – Degradato da funghi

Attacco dei parapetti





Terrazzi piani

❑ Aggetti

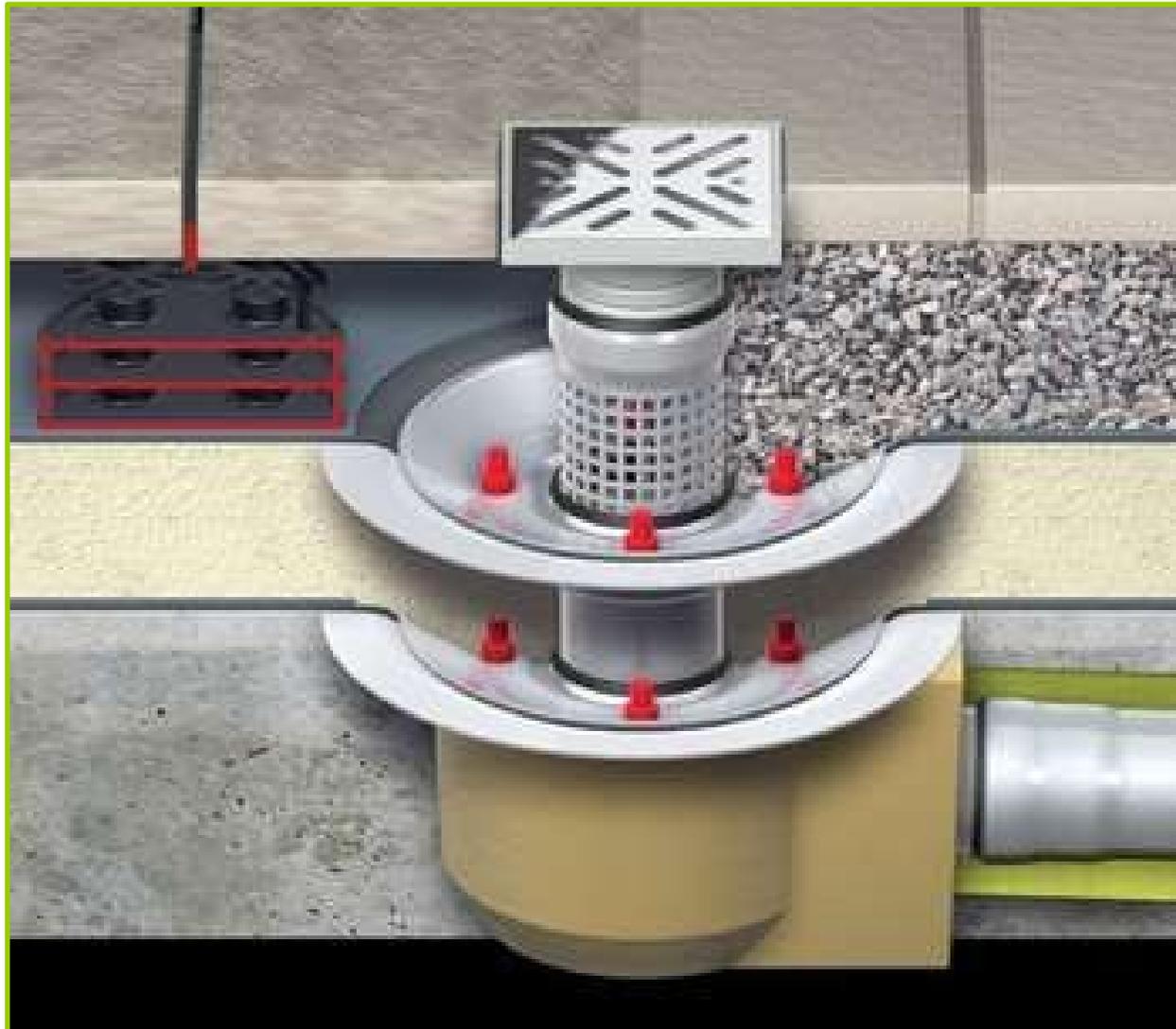


❑ Aggetti



Durabilità – Degrado da funghi

❑ Aggetti



www.aco.it

❑ Guaina bituminosa



Durabilità – Degradamento da funghi



Davanzali



❑ Davanzali



□ Davanzali



❑ Davanzali



Durabilità – Degrado da funghi

❑ Davanzali



Bagni



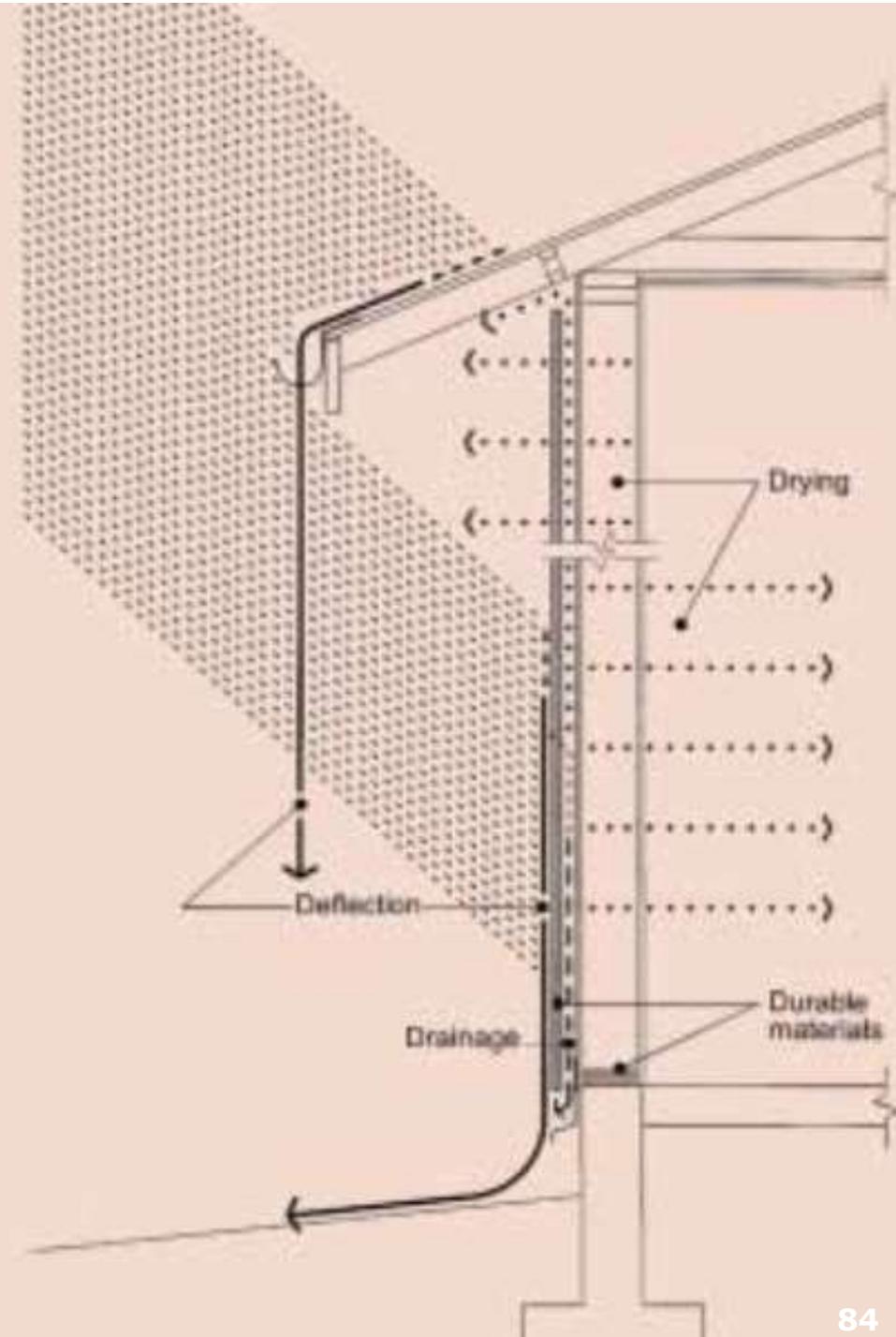
Durabilità – Degradato da funghi



Durabilità – Degrado da funghi



- La regola delle 4D:
 - Deflection **Deviazione**
 - Drainage **Drenaggio**
 - Drying **Essiccazione**
 - Durable materials **Materiali durabili**



Il degrado superficiale (weathering)



❑ Aggetti

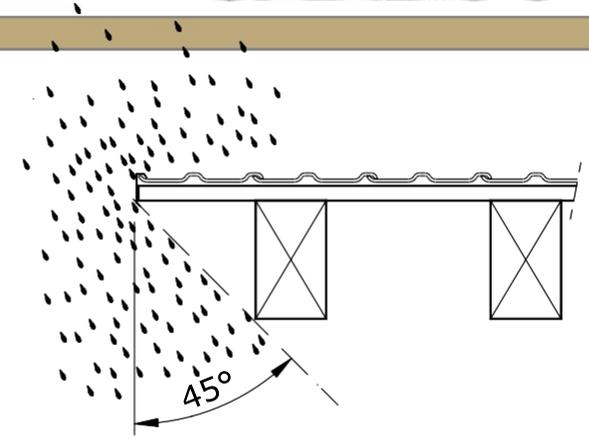
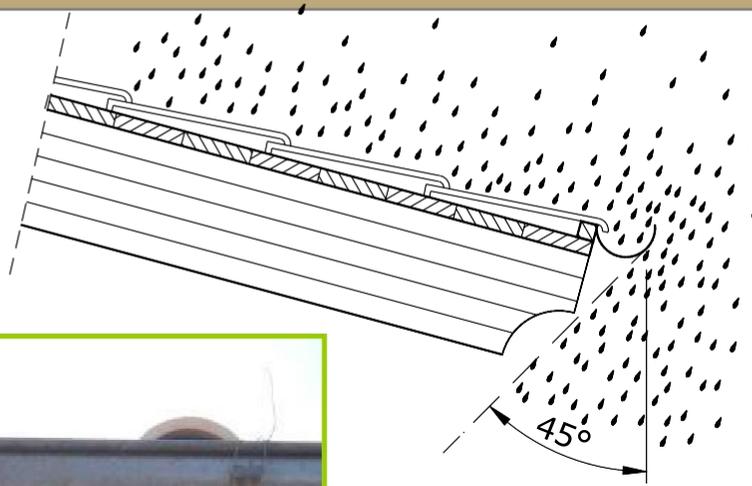


Durabilità – Degrado superficiale

❑ Aggetti



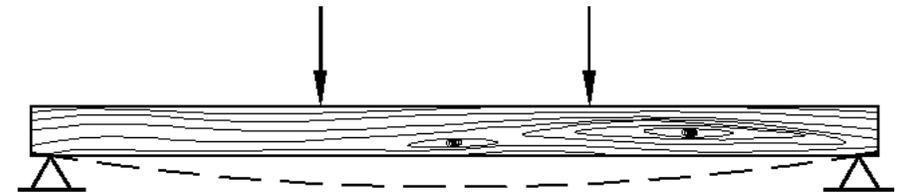
Aggetti



Ricordate: il legno è un materiale durabile se
correttamente progettato !!!



Comportamento meccanico del legno

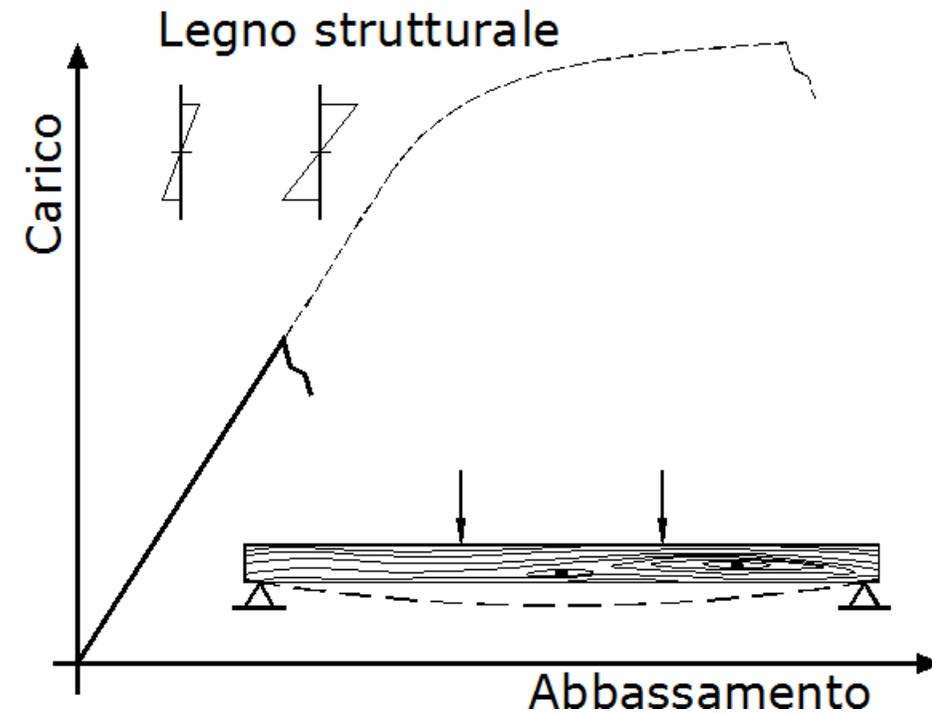
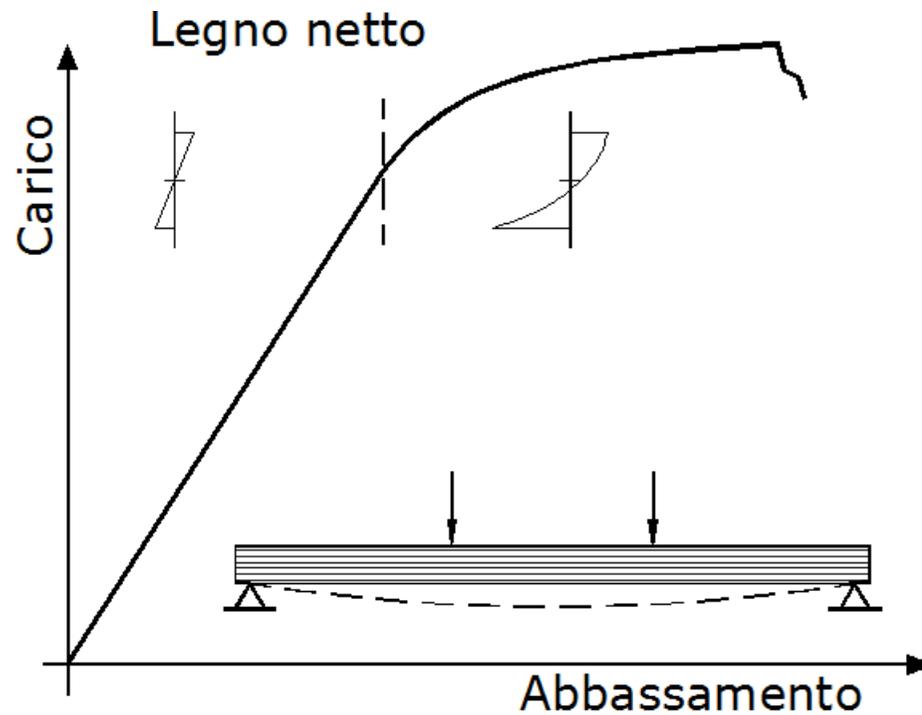


- La resistenza (caratteristiche meccaniche) del legno non dipende dal materiale base ma da i difetti contenuti nell'elemento costruttivo



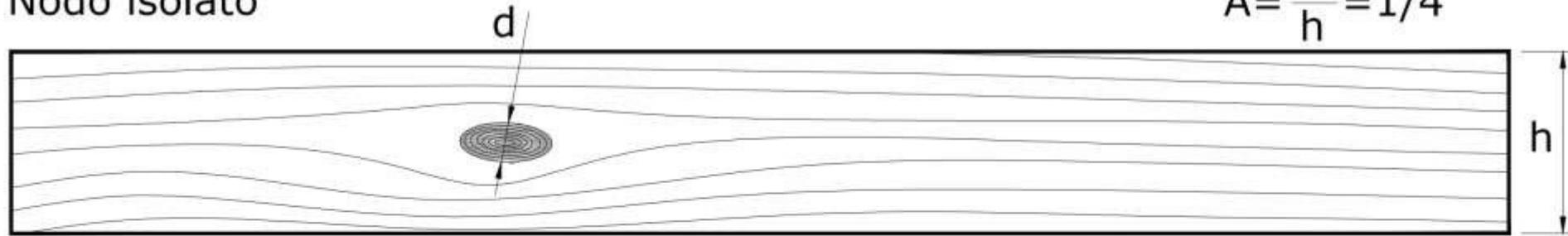
Legno netto e legno strutturale

Comportamento meccanico del legno



□ Nodi

Nodo isolato



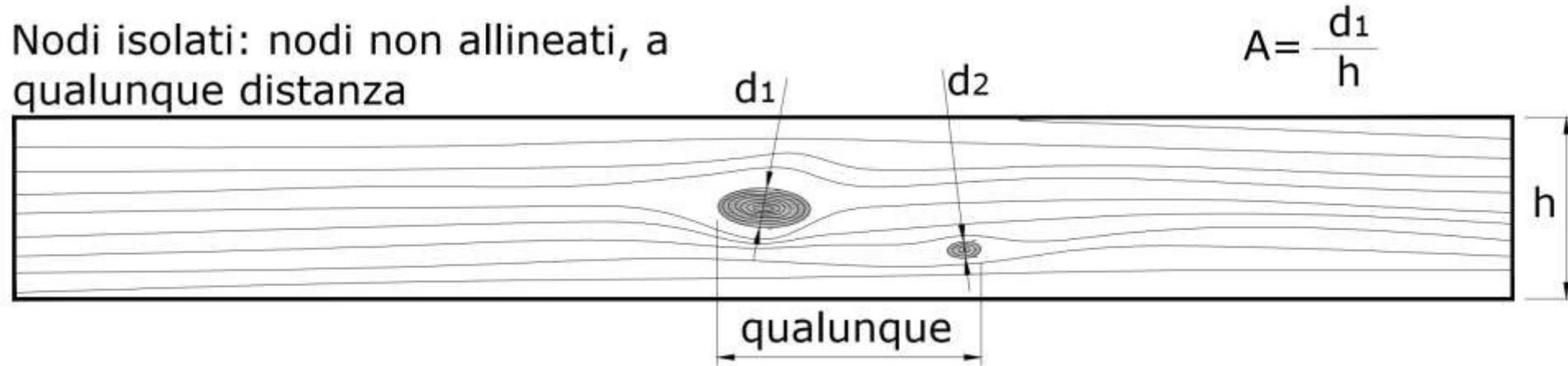
$$A = \frac{d}{h} = 1/4$$



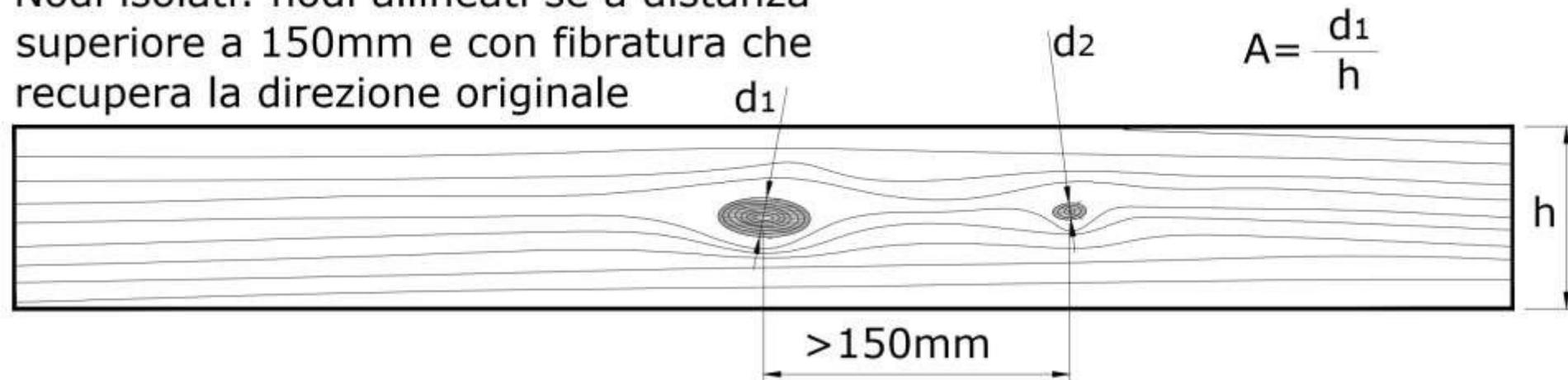
$$A = \frac{d}{h} = 1/2$$

□ Nodi (regola della UNI 11035)

Nodi isolati: nodi non allineati, a
qualunque distanza

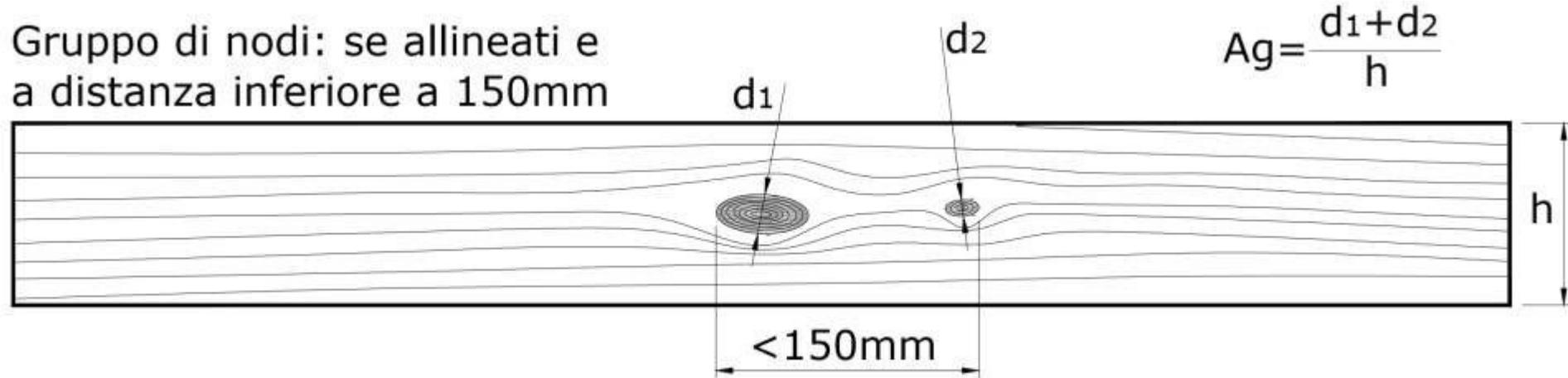


Nodi isolati: nodi allineati se a distanza
superiore a 150mm e con fibratura che
recupera la direzione originale

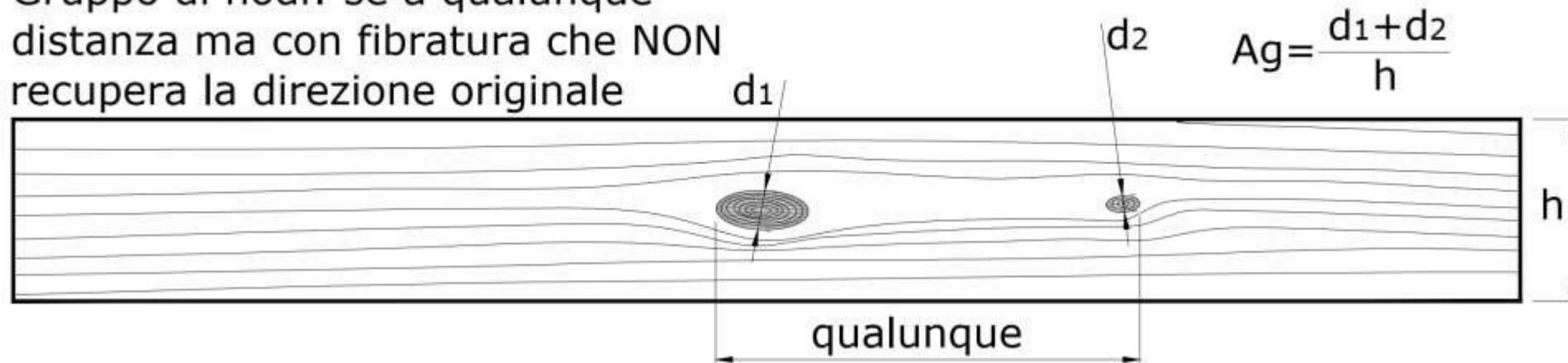


□ Nodi (regola della UNI 11035)

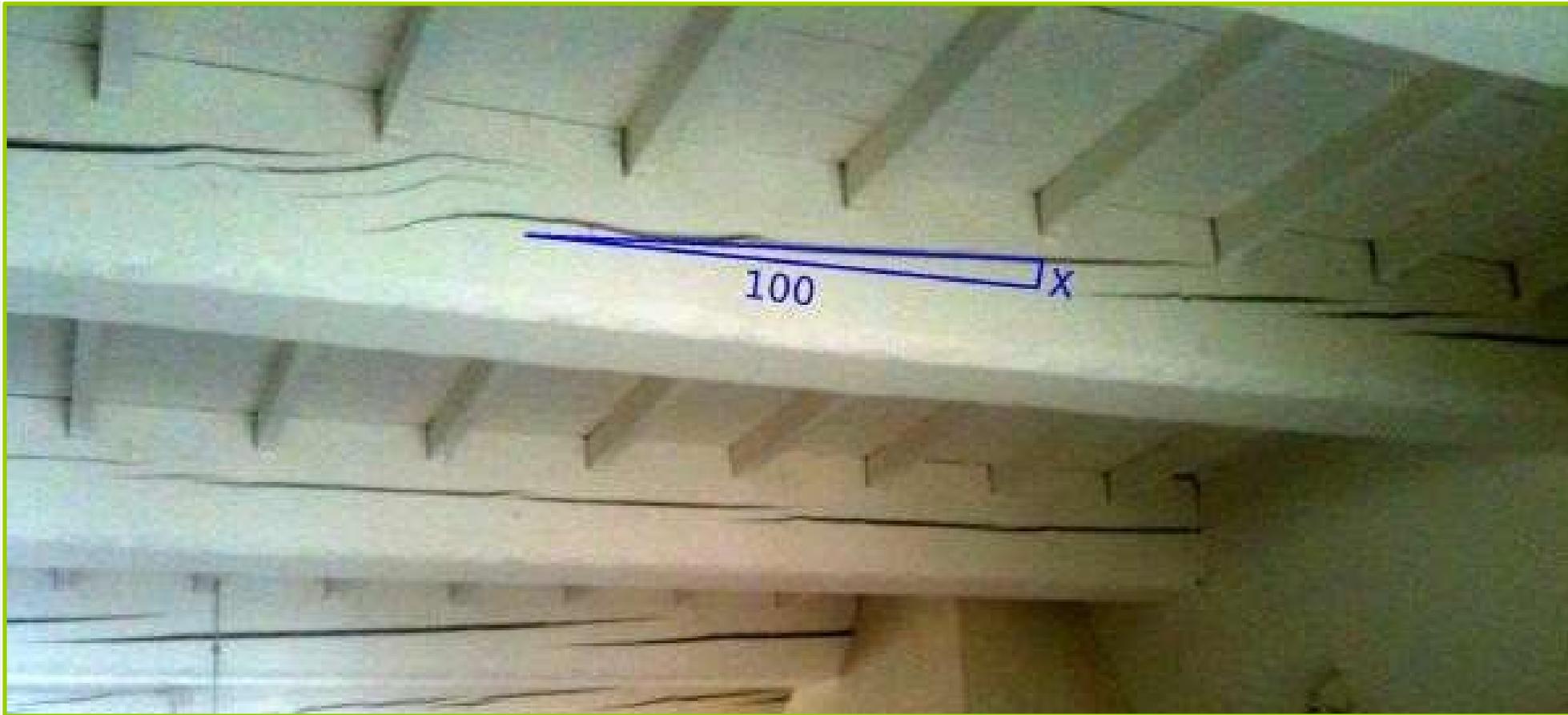
Gruppo di nodi: se allineati e
a distanza inferiore a 150mm



Gruppo di nodi: se a qualunque
distanza ma con fibratura che NON
recupera la direzione originale



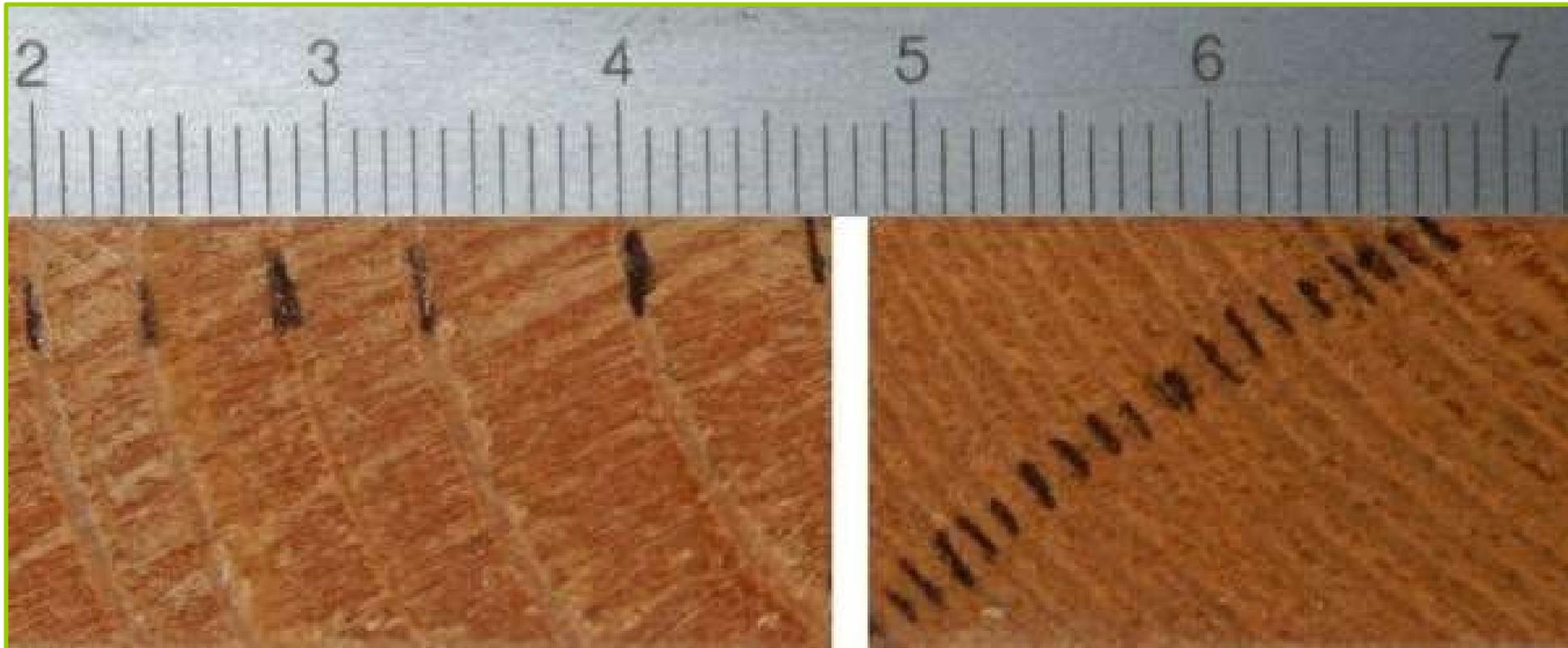
❑ Deviazione della fibratura



□ Cipollatura



□ Spessore anelli (massa volumica)



Regole di classificazione

UNI 11035
 per legnami
 italiani

"Conifere 1"

Criteri per la classificazione	Categorie		
	S1	S2	S3
Smussi ¹⁾	$s \leq 1/4$	$s \leq 1/3$	$s \leq 1/3$
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 ³⁾	$A_g \leq 2/5$	$A_g \leq 2/3$	$A_g \leq 3/4$
Ampiezza anelli	≤ 6 mm	≤ 15 mm	
Inclinazione fibratura	$\leq 1:14$ (7,0%)	$\leq 1:8$ (12,5%)	$\leq 1:6$ (16,5%)
Fessurazioni: - da ritiro - cipollatura - da fulmine, gelo, lesioni	ammesse, se non passanti non ammessa non ammesse	ammesse. Se passanti con limitazioni ⁶⁾ ammessa con limitazioni ⁴⁾ non ammesse	
Degrado da funghi: - azzurramento - carie bruna e bianca	ammesso non ammesse		
Legno di compressione	fino a 1/5 del perimetro sulle facce o della sezione	fino a 2/5 del perimetro sulle facce o della sezione	fino a 3/5 del perimetro sulle facce o della sezione
Attacchi di insetti	non ammessi	ammessi con limitazioni ⁵⁾	
Vischio	non ammesso		
Deformazioni: - arcuatura	10 mm ogni 2 m di lunghezza		20 mm ogni 2 m di lunghezza

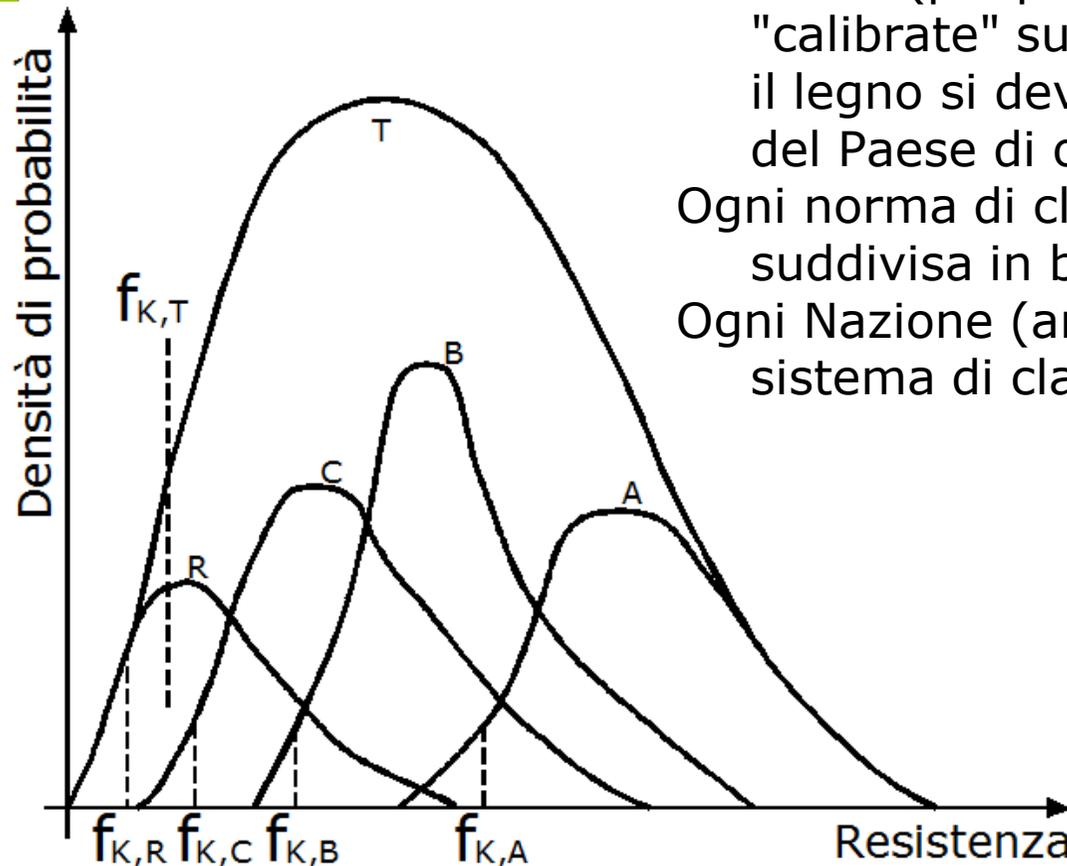
Regole di classificazione

La classificazione consente di selezionare i segati in *categorie* omogenee per caratteristiche, e di scartare gli elementi con caratteristiche meccaniche eccessivamente basse.

Le regole di classificazione sono diverse da Paese a Paese (più precisamente area geografica) perché "calibrate" sui legni di produzione locale, pertanto il legno si deve classificare utilizzando la norma del Paese di origine.

Ogni norma di classificazione è ulteriormente suddivisa in base alla specie legnosa

Ogni Nazione (area geografica) ha dunque un sistema di classificazione diverso.



Le classi di resistenza europee (UNI EN 1912)

classe di resistenza	Tipo di legno		
	categoria (norma nazionale)	specie legnosa	provenienza
C30	S13 (Germania, Austria e Repubblica Ceca)	Abete bianco e rosso, Pino silvestre, Larice	Europa centrale, del nord e dell'est
	T3 (Paesi nordici)	Abete bianco e rosso, Pino silvestre, Larice	Europa del nord e del nord-est
	J&P Sel (USA) SLF Sel (USA)	Pino pece	USA
	ME1 (Spagna)	Pino laricio	Spagna
	S0 (Slovacchia)	Abete rosso	Slovacchia
C24	ST-II (Francia)	Abete bianco e rosso, Douglasia, Pini, Pioppo, Larice	Francia
	S10 (Germania)	Abete bianco e rosso, Pino silvestre, Larice	Europa centrale, del nord e dell'est
	S10 (Germania)	Douglasia	Germania
	T2 (Paesi nordici)	Abete bianco e rosso, Pino silvestre, Larice	Europa del nord e del nord-est
	ME1 (Spagna)	Pino radiato, Pino marittimo	Spagna
	SS (Regno Unito)	Pino del Paranà	Brasile
	SS (Regno Unito)	Abete bianco e rosso, Pino silvestre	Europa centrale, del nord e dell'est
	SS (Regno Unito)	Douglasia, Larice	USA e Canada
	SS (Regno Unito)	Pino pece	Caraibi
	J&P Sel (USA) SLF Sel (USA)	Douglasia, Larice, Abete bianco e rosso	USA e Canada
S2 (Italia)	Abete bianco e rosso, Pino nero	Italia	

□ Esempio: resistenze legno massiccio secondo EN 338

Classi di resistenza per legno strutturale secondo UNI EN 338 (2016)

		pioppo e conifere		
		C24	C27	C30
Proprietà di resistenza in N/mm²				
Flessione	$f_{m,k}$	24	27	30
Trazione parallela	$f_{t,0,k}$	14,5	16,5	19
Trazione perpendicolare	$f_{t,90,k}$	0,40	0,40	0,40
Compressione parallela	$f_{c,0,k}$	21	22	24
Compressione perpendicolare	$f_{c,90,k}$	2,5	2,5	2,7
Taglio	$f_{v,k}$	4,0	4,0	4,0
Proprietà di rigidezza in N/mm²				
Modulo di elasticità medio parallelo	$E_{0,mean}$	11000	11500	12000
Modulo di elasticità caratteristico	$E_{0,k}$	7400	7700	8000
Modulo di elasticità medio perp.	$E_{90,mean}$	370	380	400
Modulo di taglio medio	G_{mean}	690	720	750
Massa volumica in kg/m³				
Massa volumica	ρ_k	350	360	380
Massa volumica media	ρ_{mean}	420	430	460

Proprietà meccaniche - Euroclassi

□ Classi di resistenza del legno strutturale

- Legno massiccio, bilam, trilam:
 - EN 14081 (criteri di classificazione)
 - EN 338 (proprietà meccaniche)
 - EN 1912 (classi di resistenza europee)
- Legno lamellare incollato: EN 14080
 - Omogeneo:
 - GL20h, GL22h, GL24h, GL26h, GL28h, GL30h, GL32h.
 - Combinato:
 - GL20c, GL22c, GL24c, GL26c, GL28c, GL30c, GL32c.
- Pannelli di legno massiccio a strati incrociati: ETA - EN 338
- OSB (Oriented Strand Board) e compensati strutturali: EN 300, EN 636

Nei documenti citati sono riportate, in funzione della classe di resistenza, le proprietà fisiche (massa volumica) e meccaniche (proprietà di resistenza e di rigidità) dell'elemento strutturale.

Classi di resistenza del legno strutturale



❑ Nuovi obblighi normativi introdotti dalle NTC 14/01/2008

Per tutti i prodotti da costruzione (incluso legno e prodotti a base di legno)
è obbligatoria dal 2012 la

CERTIFICAZIONE EUROPEA



EN 13353:2009 rende obbligatoria la
marcatatura CE per i pannelli di legno
massiccio a strati incrociati

Capitolo 11.7.

Materiali e prodotti a base di legno

in collaborazione con il Dott. For. Marco Luchetti



Oltre ad un aggiornamento dei riferimenti normativi ed un allineamento del corpo normativo alle disposizioni comunitarie, si riportano con maggior dettaglio alcune delle novità introdotte dalla revisione delle NTC:

1. FABBRICANTI E CENTRI DI LAVORAZIONE

Per i produttori / centri di lavorazione si precisa che:

- Anche per l'impiego di prodotti base marcati CE (...), la «trasformazione» deve essere effettuata presso un centro di lavorazione;
- Aggiornamento triennale per il Direttore Tecnico di Produzione;
- Gli attestati di qualificazione già rilasciati ai sensi del DM 4.01.2008 cessano comunque di validità cinque anni dopo l'entrata in vigore della presente versione delle Norme tecniche per le Costruzioni.



NTC18

11.7.10.1.2 Forniture e documentazione di accompagnamento

Tutte le forniture di legno strutturale devono essere accompagnate da:

1. una copia della documentazione di marcatura CE (certificato di conformità relativo al Produttore CE), secondo il sistema di valutazione e verifica della costanza della prestazione ... rilasciato dall'Organismo di controllo ;
2. Dichiarazione di prestazione (DoP) rilasciata dal Produttore con riferimento al documento di trasporto presso il centro di lavorazione o il cantiere;

Nel caso di prodotti provenienti da un centro di lavorazione:

3. una copia dell'attestato di denuncia attività del centro di lavorazione;
4. Dichiarazione del Direttore Tecnico della Produzione inerente la descrizione delle lavorazioni eseguite.



11.7. Materiali e prodotti a base di legno

La **Dichiarazione del Direttore Tecnico della Produzione**, detta anche Dichiarazione di conformità del Fornitore o del Centro di Trasformazione, deve contenere:

- Riferimento al cantiere, ai Tecnici ed al progetto;
- Descrizione delle lavorazioni eseguite e dei trattamenti (con riferimento al progetto);
- Elenco dei materiali utilizzati con riferimento, per ogni materiale utilizzato, al certificato di conformità CE ed alla Dichiarazione di prestazione;
- Lista dei materiali o eventuale riferimento al documento di trasporto di consegna in cantiere (allegando lo stesso).

**E' il documento più importante:
il DTP si assume la responsabilità della
provenienza dei materiali utilizzati.**

**Dich. DTP
(c. di lavorazione)**



**CE
(produttore)**



**DoP
(produttore) (c. di lavorazione)**

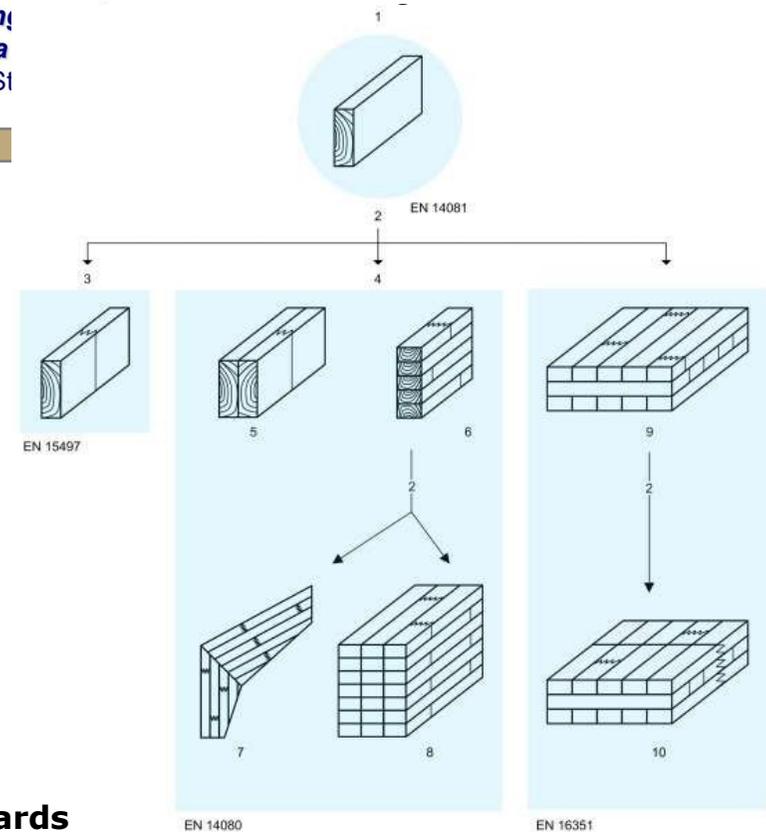


NTC18

11.7.10.2 CONTROLLI DI ACCETTAZIONE IN CANTIERE

I controlli di accettazione in cantiere sono obbligatori per tutte le tipologie di materiali e prodotti a base di legno e sono demandati al Direttore dei Lavori il quale, prima della messa in opera, è tenuto ad accertare e a verificare quanto sopra indicato e a rifiutare le eventuali forniture non conformi.

Il Direttore dei Lavori **esegue i controlli di accettazione**, così come disciplinato di seguito. Il Direttore dei Lavori **potrà far eseguire ulteriori prove di accettazione** sul materiale pervenuto in cantiere e sui collegamenti, secondo le metodologie di prova indicate nella presente norma.



Key

1. Boards
2. is a component for
3. structural finger jointed timber
4. glued laminated products
5. glued solid timber
6. glued laminated timber (glulam)
7. glulam with large finger joints
8. block glued glulam
9. cross laminated timber (X-Lam)
10. cross laminated timber (X-Lam) with large finger joints

NTC18

11.7.10.2 CONTROLLI DI ACCETTAZIONE IN CANTIERE

... Per gli elementi di **legno massiccio**, su ogni fornitura, dovrà essere eseguita obbligatoriamente una **classificazione visuale in cantiere su almeno il cinque per cento** degli elementi costituenti il lotto di fornitura, da confrontare con la classificazione effettuata nello stabilimento. ...

Legno massiccio classificato a vista:

Ripetizione a cura della DL della selezione secondo la resistenza con la stessa regola di classificazione utilizzata dal produttore sul 5% fornitura

Legno massiccio classificato a macchina:

Ripetizione a cura della DL della selezione secondo il Visual Override (tab. 1 – EN 14081-1) sul 5% fornitura



NTC18

11.7.10.2 CONTROLLI DI ACCETTAZIONE IN CANTIERE

... Per gli elementi di **legno lamellare** dovrà essere acquisita la **documentazione relativa alla classificazione delle tavole e alle prove meccaniche distruttive svolte obbligatoriamente nello stabilimento di produzione** relativamente allo specifico lotto della fornitura in cantiere (prove a rottura sul giunto a pettine e prove di taglio e/o delaminazione sui piani di incollaggio). ...

Documentazione classificazione delle tavole:

- Initial Type Testing Report (ITT) della macchina classificatrice, *oppure*
- Rapporto di prova conforme EN 384

Documentazione prove meccaniche distruttive:

- Estratto dai registri di controllo interno

Festigkeitsprüfung von Keilzinkenverbindungen nach EN 408

Nr.	Auftragsnummer	Verleimdatum	Protokollnr.	Höhe mm	Breite mm	SKL-Sort.	SKL-Prüf.	F _{max} kN	L _c N/mm ²	Holzfeuchte	S %	G %	A %	Bemerkung	Prüfer
131	4757	25.02.18	26.02.18	44,6	187	S 10	S 10	31,78	51,25	11,9	30	70	0		ib
132	4797	25.02.18	26.02.18	44,7	250	S 10	S 10	31,77	38,11	10,6	60	40	0		ib
133	4802	25.02.18	26.02.18	44,6	250	S 10	S 10	48,41	56,00	11,6	80	20	0		ib
134	4802	25.02.18	26.02.18	44,3	250	S 13	S 13	39,61	48,44	10,4	80	20	0		ib
135	4896	25.02.18	26.02.18	44,5	190	S 10	S 10	21,28	32,94	10,9	0	100	0		ib
136	4803	25.02.18	26.02.18	44,4	170	S 10	S 10	19,67	35,03	11,1	0	100	0		ib
137	4796	25.02.18	26.02.18	44,5	210	S 10	S 10	24,30	35,06	9,5	0	100	0		ib
138	4803	25.02.18	26.02.18	44,2	250	S 10	S 10	33,21	40,79	10,1	50	50	0		ib
139	4815	26.02.18	29.02.18	44,5	190	S 10	S 10	28,74	47,43	11,9	50	50	0		ib
140	4815	26.02.18	29.02.18	44,6	190	S 10	S 10	25,22	40,04	10,2	0	100	0		ib
141	4803	26.02.18	29.02.18	44,3	160	S 10	S 10	18,70	38,11	10,7	0	100	0		ib
142	4784	26.02.18	29.02.18	44,5	130	S 10	S 10	18,73	43,85	9,8	20	80	0		ib
143	4818	26.02.18	29.02.18	44,6	100	S 10	S 10	36,91	58,59	11,8	90	10	0		ib
144	4818	26.02.18	29.02.18	44,7	100	S 13	S 13	29,96	47,35	11,3	80	20	0		ib
145	4858	29.02.18	01.03.18	44,3	150	S 10	S 10	23,91	48,72	9,9	50	50	0		ib
146	4859	29.02.18	01.03.18	44,1	150	S 10	S 10	20,76	42,68	10,2	0	100	0		ib
147	4840	29.02.18	01.03.18	44,3	230	S 13	S 13	28,03	37,27	11,7	0	100	0		ib
148	4840	29.02.18	01.03.18	44,2	230	S 13	S 13	37,80	50,21	10,8	20	80	0		ib
149	4840	29.02.18	01.03.18	44,4	230	S 13	S 13	38,18	50,53	11,2	90	10	0		ib
150	4819	29.02.18	01.03.18	43,3	110	S 10	S 10	12,29	35,76	10,5	0	100	0		ib
151	4874	29.02.18	01.03.18	43,8	130	S 10	S 10	16,07	38,57	12,1	0	100	0		ib

Statistik:

Serie	Höhe mm	Breite mm	F _{max} kN	L _c N/mm ²	S %	G %	A %
n = 151							
x	44,42	172,9	27,16	47,64	96	63	1
s	1,05	36,27	8,26	8,49	30	31	7
v	2,38	22,72	30,40	17,81	-	40,97	-

NTC18

11.7.10.2 CONTROLLI DI ACCETTAZIONE IN CANTIERE

... Per gli elementi di **legno lamellare** dovrà essere acquisita la **documentazione relativa alla classificazione delle tavole e alle prove meccaniche distruttive svolte** obbligatoriamente **nello stabilimento di produzione** relativamente allo specifico lotto della fornitura in cantiere (prove a rottura sul giunto a pettine e prove di taglio e/o delaminazione sui piani di incollaggio). ...

CNR DT 206-R1/2018

15.2.1.1 CONTROLLI SUL LEGNO E SUI MATERIALI A BASE DI LEGNO

... per elementi in legno lamellare e compensato di tavole ... :

- i controlli distruttivi effettuati in stabilimento sono di carattere obbligatorio secondo le periodicità definita dalle specifiche tecniche di riferimento. La permanenza della validità del certificato CE indica implicitamente la corretta applicazione delle procedure e delle prove sopramenzionate (sul giunto e sulla linea di colla); pertanto **in presenza di certificato CE non è necessario da parte della Direzione Lavori l'acquisizione di ulteriori documenti relativi al controllo di produzione** (quali ad es. il registro delle prove interne o la documentazione inerente la classificazione delle tavole).

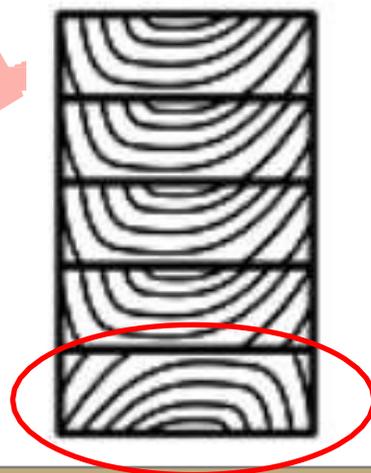
NTC18

11.7.10.2 CONTROLLI DI ACCETTAZIONE IN CANTIERE

... Per gli elementi di **legno lamellare** ...

... **su almeno il 5% del materiale** pervenuto in cantiere, **deve essere eseguito il controllo della disposizione delle lamelle** nella sezione trasversale ... secondo le disposizioni della UNI EN 14080. ...

Classe di servizio 1, 2 e 3



solo classi 1 e 2

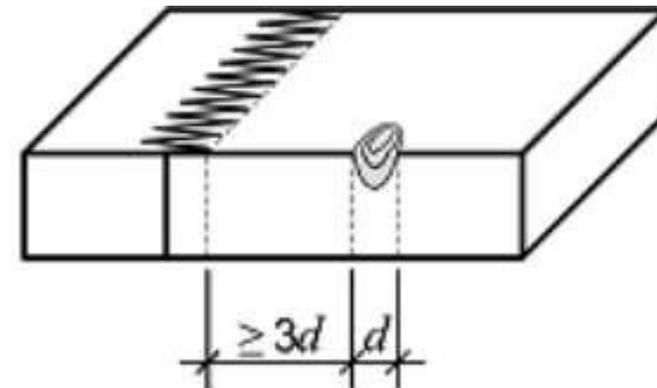
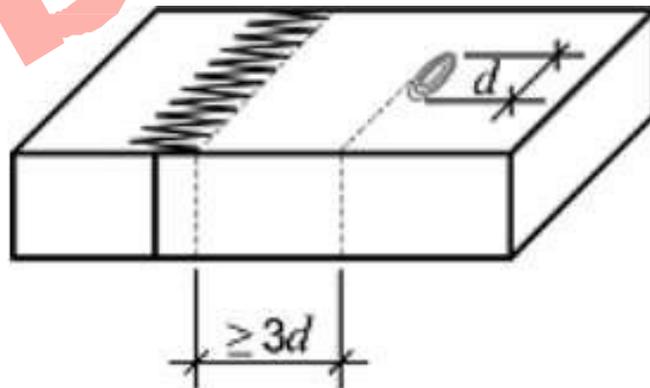


NTC18

11.7.10.2 CONTROLLI DI ACCETTAZIONE IN CANTIERE

... Per gli elementi di **legno lamellare** (ma anche *Xlam* e altri prodotti con giunti a dita) ...

... su almeno il 5% del materiale pervenuto in cantiere, deve essere eseguito ... la verifica della distanza minima tra giunto e nodo, secondo le disposizioni della UNI EN 14080. ...



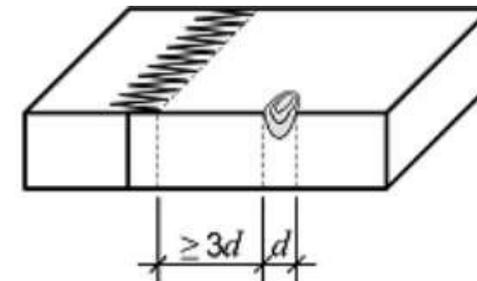
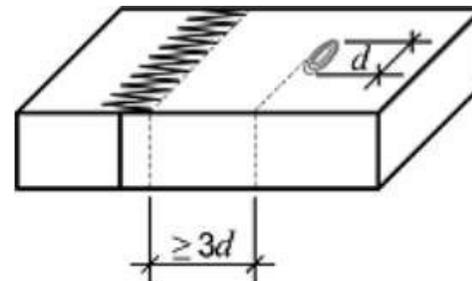
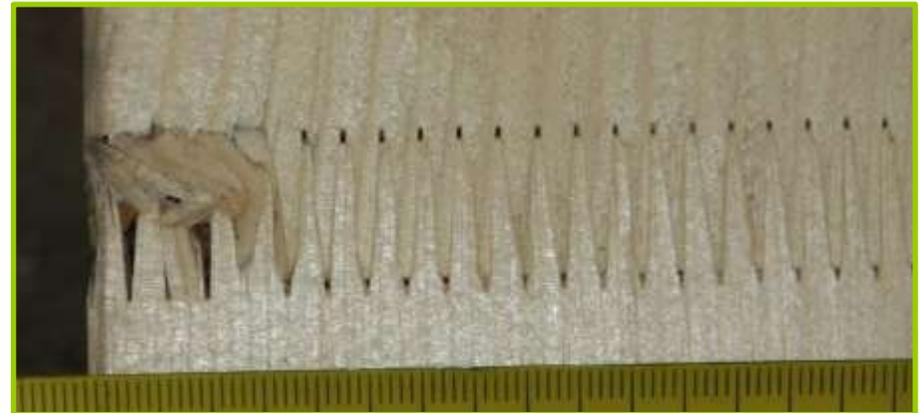
EN14080

I.4.3 Knots and local grain deviation

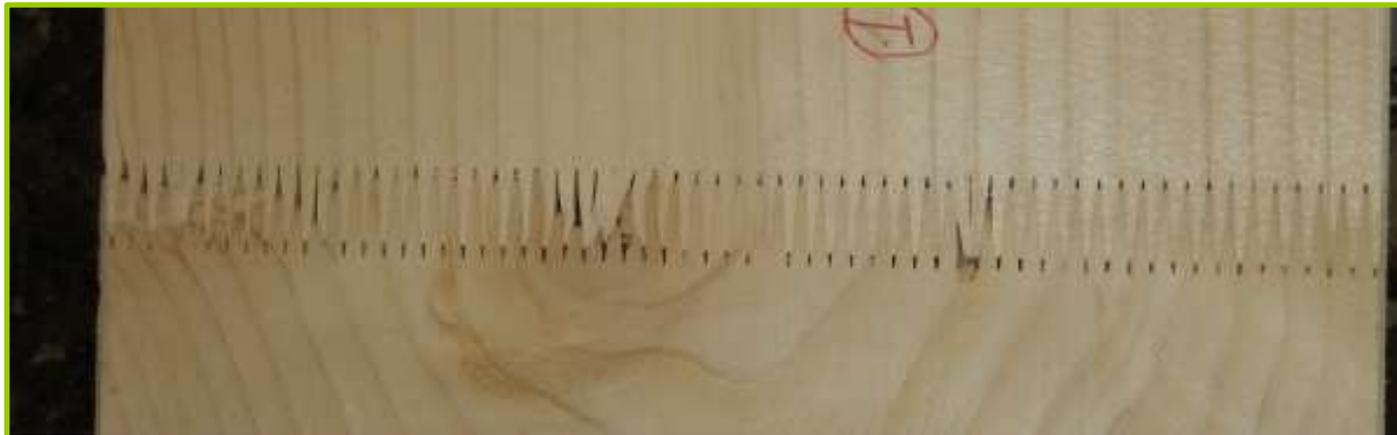
Knots with a diameter smaller than 6 mm may be disregarded.

There shall be no knots or pronounced grain disturbance within the joint itself.

Outside the joint the distance between the edge of a knot and the base of a finger joint shall be not less than three times the knot diameter d (see Figure I.1), unless an approved grading procedure is used and it is documented by testing that an adequate strength of the finger joints is achieved with a smaller minimum distance.



11.7. Materiali e prodotti a base di legno



CNR DT 206-R1/2018

15.2.1.1 CONTROLLI SUL LEGNO E SUI MATERIALI A BASE DI LEGNO

... **per elementi in legno lamellare e compensato di tavole** ... :

-in relazione al controllo della distanza minima nodo – giunto e in analogia a quanto definito nell'allegato I della UNI EN 14080: 2013, il Direttore Lavori procede a controllare che tale distanza sia uguale o maggiore di $3d$, dove d è il diametro del nodo stesso; **possono essere ammesse distanze minori qualora la fibratura in prossimità del giunto a dita della faccia a vista ritorni ad avere un andamento pressoché parallelo all'asse longitudinale della tavola.**

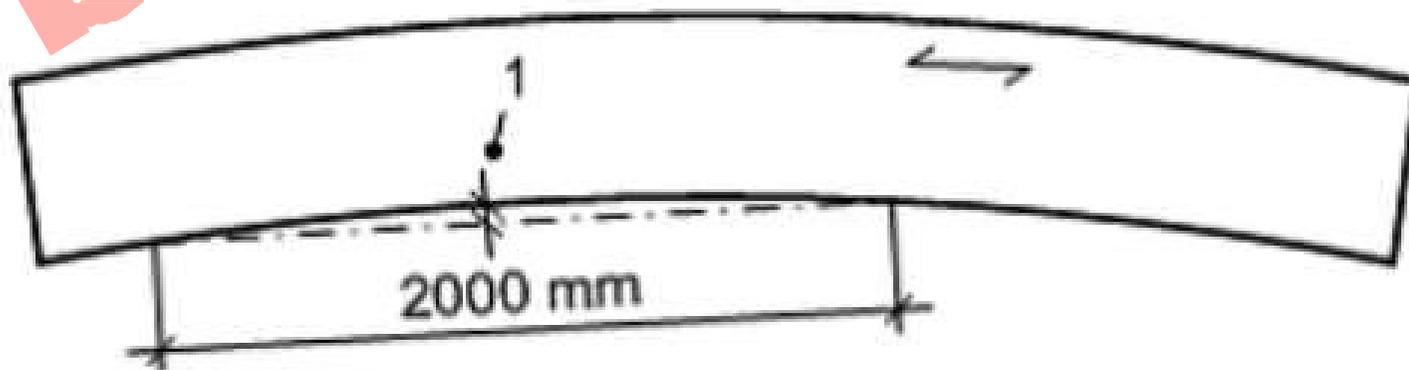
Nodi più piccoli di 6 mm possono non essere considerati. **Sono da evitare giunti aventi dita rotte o parzialmente compromesse; tali difetti possono essere tollerati se limitati anche in considerazione della larghezza dell'elemento.**

NTC18

11.7.10.2 CONTROLLI DI ACCETTAZIONE IN CANTIERE

... su almeno il 5% degli elementi di **legno lamellare** e degli elementi giuntati di cui ai paragrafi 11.7.3, 11.7.5 ed 11.7.6 forniti in cantiere, deve essere eseguito il **controllo dello scostamento dalla configurazione geometrica** teorica secondo le tolleranze di cui al § 4.4. ($L/500$) ...

4mm su di un tratto di 2m (EN14080) spesso non è sufficiente, non corrisponde a $L/500$ se L è maggiore di 2m!



CNR DT 206-R1/2018

15.2.1.1 CONTROLLI SUL LEGNO E SUI MATERIALI A BASE DI LEGNO

... **per elementi in legno lamellare e compensato di tavole** ... :

- in relazione al controllo dedicato a definire **lo scostamento dalla configurazione geometrica teorica** degli elementi a base di legno, **questo interessa solo le membrature per le quali sia significativo il problema dell'instabilità (ad es. travi snelle in cui l'altezza supera di 4 volte la base o pilastri)**; lo scostamento dalla configurazione geometrica teorica non dovrà superare $1/500$ della distanza tra due vincoli successivi, nel caso di elementi lamellari incollati, e $1/300$ della medesima distanza, nel caso di elementi di legno massiccio.

EN 14080

Tolleranze dimensionali per il legno lamellare

Le tolleranze dimensionali sono espresse nella EN 14080; non possono superare i seguenti limiti (all'umidità di riferimento del 12%):

- Larghezza: $\pm 2\text{mm}$
- Altezza:
 - per $h \leq 400\text{mm}$: $+ 4\text{mm} / - 2\text{mm}$
 - per $h > 400\text{mm}$: $+ 1\% / - 0,5\%$
- Massima deviazione degli angoli della sezione trasversale rispetto all'angolo retto: 1:50
- Lunghezza:
 - per lunghezze fino a 2m: $\pm 2\text{mm}$
 - per lunghezze da 2m a 20m: $\pm 0,1\%$
 - per lunghezze superiori a 20m: $\pm 20\text{mm}$

I limiti in sezione trasversale sono riferiti all'umidità di riferimento del 12%, pertanto vanno corretti in funzione dell'umidità $x\%$ del legno al momento del controllo

considerando il coefficiente di ritiro e rigonfiamento trasversale $k=0,0025$:

per $x\%$ minore del 30%:

$$l_{12} = l_x \cdot [1 + 0,0025 \cdot (12 - x)]$$

E se i controlli di accettazione non danno esito positivo?



NTC18

11.7.10.2 CONTROLLI DI ACCETTAZIONE IN CANTIERE

... **Nei casi in cui non siano soddisfatti i controlli di accettazione**, oppure sorgano dubbi sulla qualità e rispondenza dei materiali o dei prodotti a quanto dichiarato, oppure qualora si tratti di elementi lavorati in situ, oppure non si abbiano a disposizione le prove condotte in stabilimento relative al singolo lotto di produzione, **si deve procedere ad una valutazione delle caratteristiche prestazionali degli elementi attraverso una serie di prove distruttive e non distruttive** con le modalità specificate di seguito. ...

Se i controlli di accettazione non danno esito positivo:

NTC18

11.7.10.2 CONTROLLI DI ACCETTAZIONE IN CANTIERE

... Per quanto riguarda il **legno massiccio** potrà fatto farsi utile riferimento ai criteri di accettazione riportati nella norma UNI EN 384:2016.

Tale sperimentazione consiste nella rottura di numerosi elementi in dimensioni d'uso.

In termini pratici **si consiglia di rifiutare i lotti non conformi.**



Se i controlli di accettazione non danno esito positivo:

NTC18

11.7.10.2 CONTROLLI DI ACCETTAZIONE IN CANTIERE

... Per il **legno lamellare** e gli altri elementi giuntati di cui ai § 11.7.3, 11.7.4, 11.7.5 ed 11.7.6, in considerazione dell'importanza dell'opera, potranno essere effettuate ... prove di carico in campo elastico anche per la determinazione del **modulo elastico parallelo alla fibratura** secondo le modalità riportate nella UNI EN 408:2012 o nella UNI EN 380:1994, ciascuna in quanto pertinente.

EN 408: prove in laboratorio

EN 380: prove di carico - su elementi di grandi dimensioni il cui trasporto può risultare difficoltoso

NTC18

11.7.10.2 CONTROLLI DI ACCETTAZIONE IN CANTIERE

... Per gli **elementi meccanici di collegamento** di cui al § 11.7.8, in fase di accettazione in cantiere, **il Direttore dei lavori verifica la prevista documentazione di qualificazione, la corrispondenza dimensionale, geometrica e prestazionale a quanto previsto in progetto, ed acquisisce i risultati delle prove meccaniche previste nelle procedure di controllo di produzione in fabbrica.**

Documentazione di qualificazione:

- Il Certificato di conformità CE
- La Dichiarazione di prestazione (DoP)



Documentazione prove meccaniche distruttive:

- Estratto dai registri di controllo interno

NTC18

11.7.10.2 CONTROLLI DI ACCETTAZIONE IN CANTIERE

... Per gli **elementi meccanici di collegamento** ...

... Il Direttore dei lavori **effettua, altresì, prove meccaniche di accettazione in ragione della criticità**, della differenziazione e numerosità degli elementi di collegamento

Può definirsi “**critico**” un **collegamento all’interno delle zone dichiarate come dissipative**.

Per tali collegamenti **e solo qualora non ne sia definito il comportamento a carichi ciclici secondo le specifiche tecniche applicabili** (ovvero se non sono rispettati i criteri di cui al § 7.7.3.1 “**Precisazioni**” e non sono neanche disponibili prove cicliche), il Direttore Lavori esegue prove meccaniche di accettazione in ragione della criticità, della differenziazione e numerosità.



NTC18

C11.7.10.2 CONTROLLI DI ACCETTAZIONE IN CANTIERE

... In relazione ai collegamenti il Direttore Lavori dovrà assicurarsi che le distanze degli elementi di collegamento (dai bordi o dalle estremità degli elementi lignei, e gli interassi tra i medesimi elementi), siano quelle indicate nel progetto. Può essere prevista una tolleranza sulle distanze indicate in sede di progetto al massimo pari al 5%

NTC18

C11.7.10.2 CONTROLLI DI ACCETTAZIONE IN CANTIERE

... In relazione ad **elementi** lineari o planari **che devono essere incorporati in pacchetti costruttivi** atti a definire la stratigrafia di strutture opache orizzontali, verticali e coperture assemblate in situ, **non ventilati**, il Direttore Lavori è opportuno che **provveda ad assicurarsi che l'umidità degli elementi portanti al momento della chiusura della stratigrafia interessata sia inferiore o uguale al 18%.**

Tale controllo dovrà interessare almeno il 10% del materiale strutturale fornito ed essere uniformemente distribuito su tutta la fornitura messa in opera. ...



Riferimenti normativi e principi di calcolo

□ La situazione normativa attuale in Italia

DM 14/01/2008 e **CM II.TT. 2/02/2009**. Per la prima volta in Italia compaiono regole nelle Norme Tecniche.

DM 17/01/2018. Le nuove norme tecniche contengono tre capitoli relativi alla progettazione di strutture di legno:

- paragrafo 4.4 "Costruzioni di legno" all'interno del Capitolo 4 "Costruzioni civili e industriali";
- paragrafo 7.7 "Costruzioni di legno" all'interno del Capitolo 7 "Progettazioni per azioni sismiche";
- paragrafo 11.7 "Materiali e prodotti a base di legno" all'interno del Capitolo 11 "Materiali e prodotti ad uso strutturale".

CNR-DT 206-R1/2018 disponibili sul sito:

www.cnr.it/sitocnr/IICNR/Attivita/NormazioneeCertificazione/NormazioneeCertificazione.html

Eurocodice 5 (UNI EN 1995:2014)

4.4.6. RESISTENZA DI PROGETTO

$$X_d = \frac{k_{mod} X_k}{\gamma_M}$$

NTC18

Stati limite ultimi	Colonna A γ_M	Colonna B γ_M
combinazioni fondamentali		
legno massiccio	1,50	1,45
legno lamellare incollato	1,45	1,35
pannelli di tavole incollate a strati incrociati	1,45	1,35
pannelli di particelle o di fibre	1,50	1,40
LVL, compensato, pannelli di scaglie orientate	1,40	1,30
unioni	1,50	1,40
combinazioni eccezionali	1,00	1,00

EC5
 1,30
 1,25

X_{lam}

Il coefficiente γ_M è valutato secondo la colonna A della tabella 4.4.III. Si possono assumere i valori riportati nella colonna B della stessa tabella, per produzioni continuative di elementi o strutture, soggette a controllo continuativo del materiale dal quale risulti un coefficiente di variazione (rapporto tra scarto quadratico medio e valor medio) della resistenza non superiore al 15%. Le suddette produzioni devono essere inserite in un sistema di qualità di cui al § 11.7.

Circolare

I valori della colonna B possono essere adottati purché i materiali utilizzati siano prodotti secondo un sistema di qualità e quindi siano certificati secondo la lettera A) o C) di cui al §11.1 delle NTC.

Quindi **per i materiali oggetto di marcatura CE** secondo una norma europea armonizzata oppure secondo un ETA.

□ Coefficiente di modificazione

Tiene conto dell'effetto sui parametri di resistenza

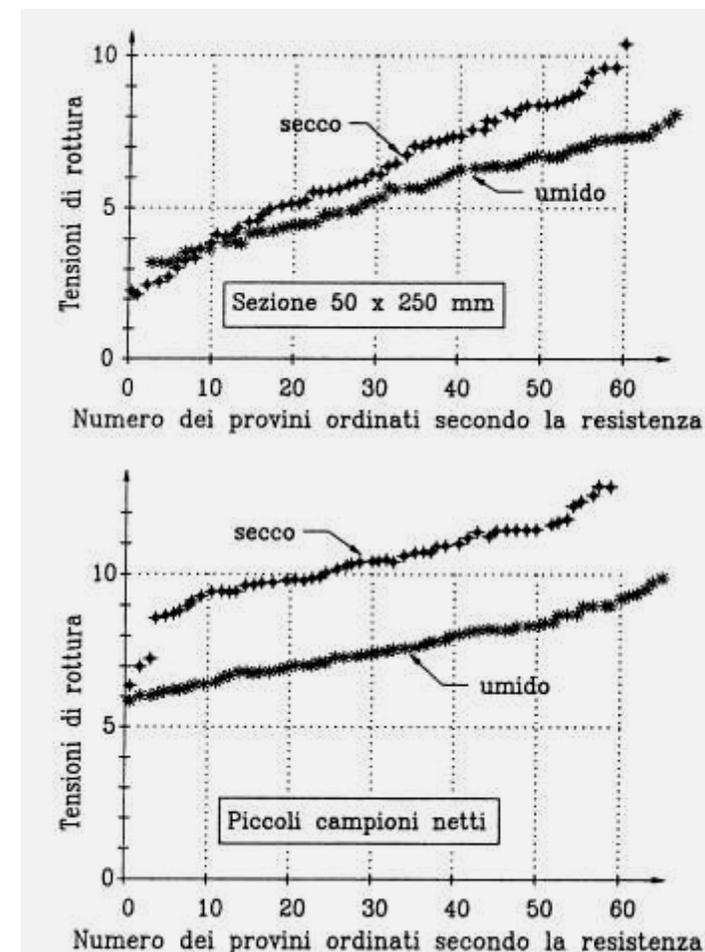
- dell'umidità della struttura;
- della durata del carico.

Riguardo all'umidità, sono individuate tre classi di servizio,

(in parentesi l'umidità mediamente riscontrabile nel legno):

- 1 - al chiuso, riscaldata di inverno ($u\% < 12$)
- 2 - al chiuso, non riscaldata di inverno; all'aperto, coperta ($12 < u\% < 20$)
- 3 - all'aperto, non protetta ($u\% > 20$).

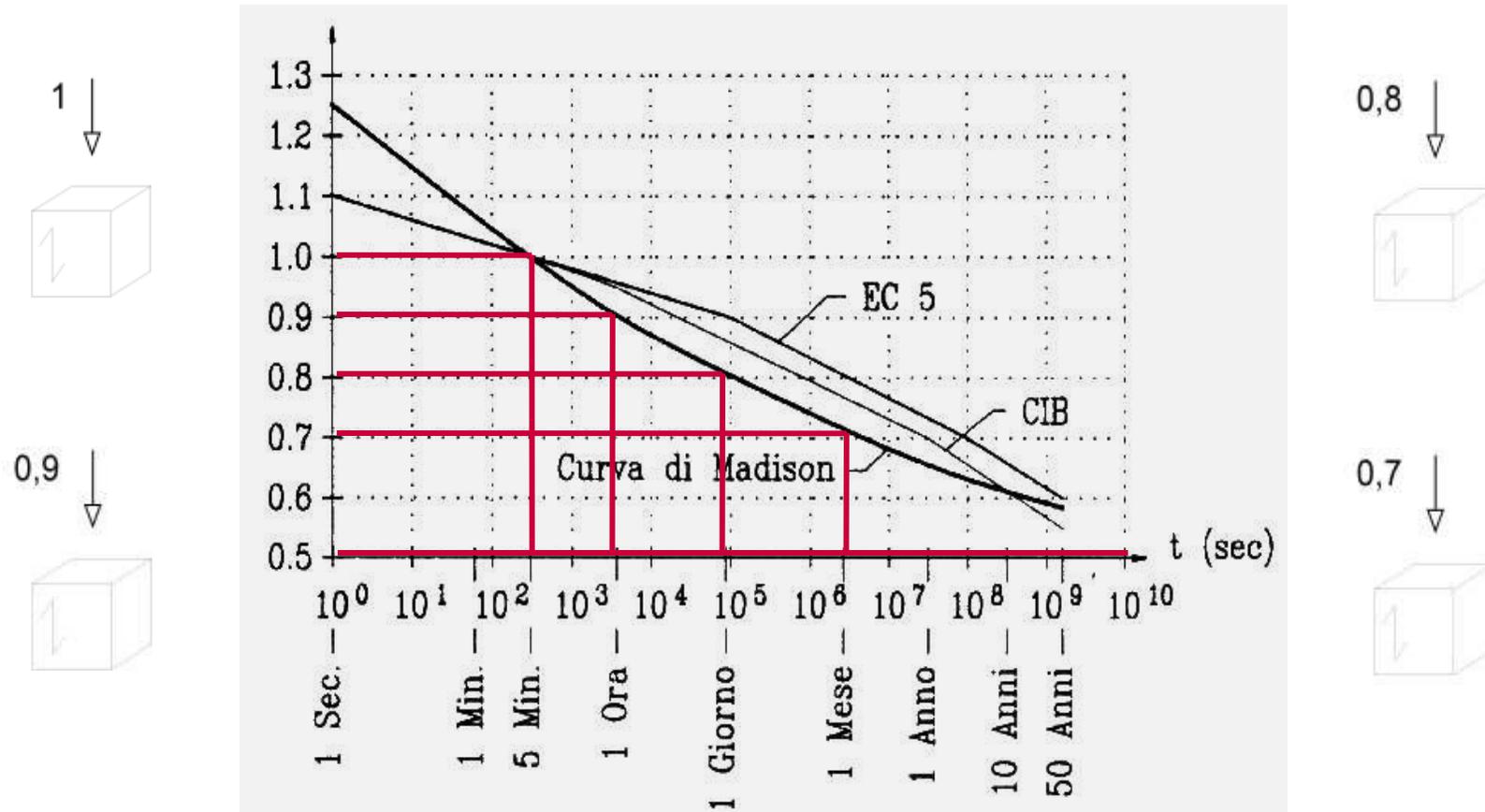
$$X_d = \frac{k_{\text{mod}} X_k}{\gamma_M}$$



□ Coefficiente di modificazione

$$X_d = \frac{k_{\text{mod}} X_k}{\gamma_M}$$

Riguardo alla durata del carico



Eurocodice 5

Progettazione delle strutture di legno

Parte 1-1: Regole generali - Regole comuni e regole per gli edifici

UNI EN 1995-1-1

LUGLIO 2014

EC5

Eurocode 5

Design of timber structures

Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings

Versione italiana
del gennaio 2015

Nota Esempi di assegnazioni della durata del carico sono forniti nel prospetto 2.2. Dal momento che i carichi climatici (neve, vento) variano nei diversi Paesi, l'assegnazione delle classi di durata del carico può essere specificata nell'appendice nazionale.

prospetto 2.2

Esempi di assegnazione della durata del carico

Classe di durata del carico	Esempi di carico
Permanente	peso proprio
Lunga durata	immagazzinaggio
Media durata	carico imposto del solaio, neve
Breve durata	neve, vento
Istantaneo	vento, carico accidentale

**Sisma e carichi
eccezionali**

Neve

4.4.4. CLASSI DI DURATA DEL CARICO

Le azioni di progetto devono essere assegnate ad una delle classi di durata del carico elencate nella Tab. 4.4.I.



Neve sopra 1000m slm

Neve sotto 1000m slm

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	--

NTC18

- il sovraccarico da neve riferito al suolo q_{sk} , calcolato in uno specifico sito ad una certa altitudine, è da attribuire ad una classe di durata del carico da considerarsi in funzione delle caratteristiche del sito per altitudini di riferimento a_s inferiori a 1000 m, mentre è da considerarsi almeno di media durata per altitudini a_s superiori o uguali a 1000 m;



Vento

4.4.4. CLASSI DI DURATA DEL CARICO

Le azioni di progetto devono essere assegnate ad una delle classi di durata del carico elencate nella Tab. 4.4.I.

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	--

Vento medio (?) →

Vento di picco (?) →

NTC18

- l'azione del **vento medio** appartiene alla classe di breve durata;
- l'azione di **picco del vento** e le azioni eccezionali in genere appartengono alla classe di durata istantanea.

= Circa la metà dell'azione del vento

= L'azione del vento classica

4.4.6. RESISTENZA DI PROGETTO

La durata del carico e l'umidità del legno influiscono sulle proprietà resistenti del legno.

NTC18 = EC5

Tab. 4.4.IV - Valori di k_{mod} per legno e prodotti strutturali a base di legno

Materiale	Riferimento	Classe di servizio	Classe di durata del carico				Istantanea	
			Permanente	Lunga	Media	Breve		
Legno massiccio	UNI EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
Legno lamellare incollato (*)	UNI EN 14080	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
LVL	UNI EN 14374, UNI EN 14279	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90	
Compensato	UNI EN 636:2015	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)	UNI EN 300:2006	OSB/2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		OSB/3	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		OSB/4	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Pannello di particelle (truciolare)	UNI EN 312 :2010	Parti 4, 5	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		Parte 5	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
		Parti 6, 7	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		Parte 7	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Pannello di fibre, pannelli duri	UNI EN 622-2:2005	HB.LA, HB.HLA 1 o 2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		HB.HLA 1 o 2	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
		MBH.LA1 o 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
Pannello di fibre, pannelli semiduri	UNI EN 622-3:2005	MBH.HLS1 o 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
			2	-	-	-	0,45	0,80
Pannello di fibra di legno, ottenuto per via secca (MDF)	UNI EN 622-5:2010	MDF.LA, MDF.HLS	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		MDF.HLS	2	-	-	-	0,45	0,80

$$X_d = \frac{k_{mod} X_k}{\gamma_M}$$

Per i materiali non compresi nella Tabella si potrà fare riferimento ai pertinenti valori riportati nei riferimenti tecnici di comprovata validità indicati nel Capitolo 12, nel rispetto dei livelli di sicurezza delle presenti norme.

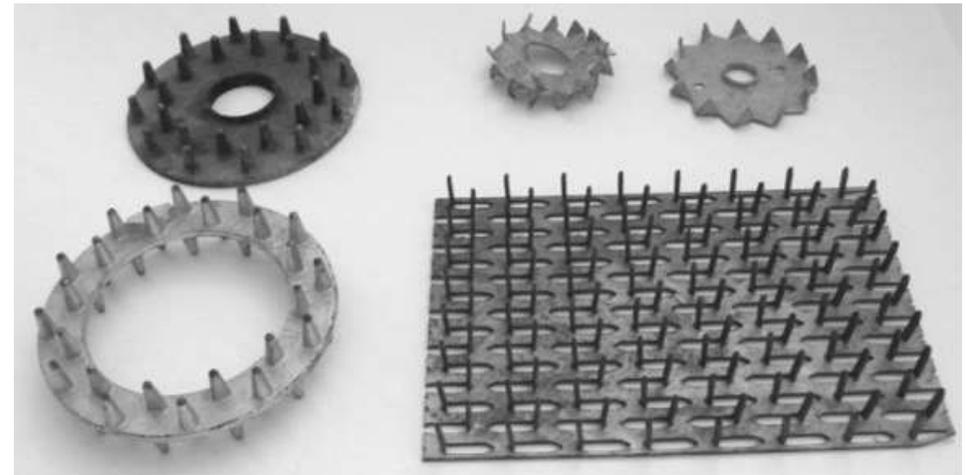
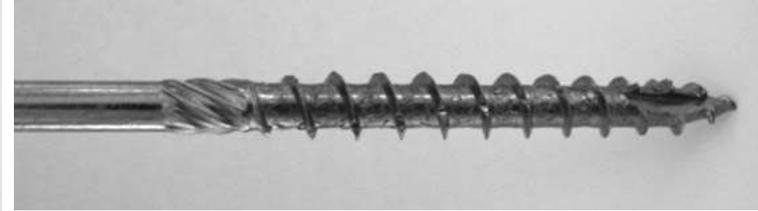
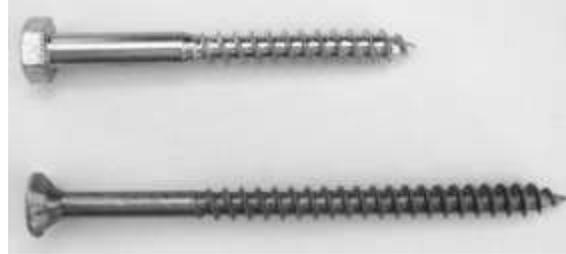
(*) I valori indicati si possono adottare anche per i pannelli di tavole incollate a strati incrociati, ma limitatamente alle classi di servizio 1 e 2.

Xlam

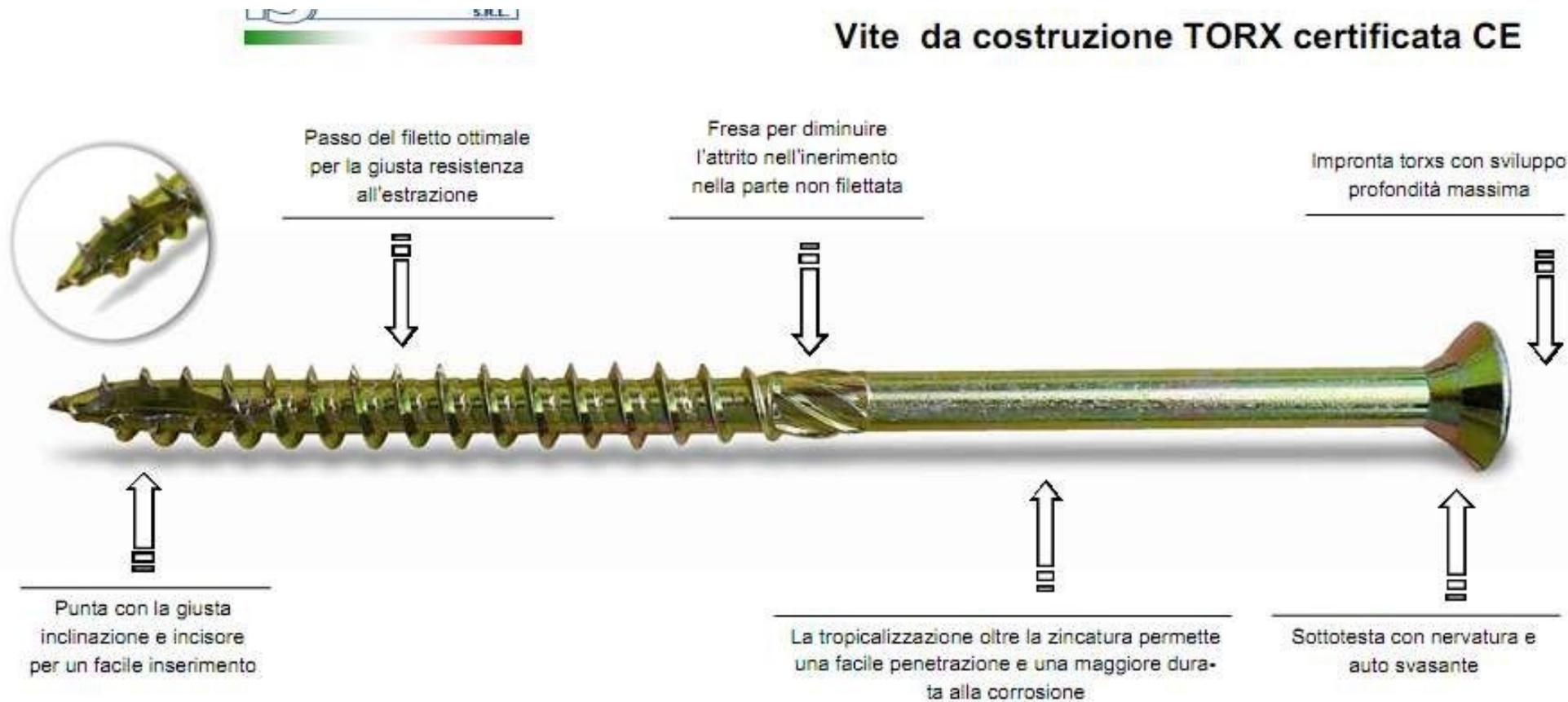


Unioni





Vite da costruzione TORX certificata CE



Unioni meccaniche: Viti a filetto parziale

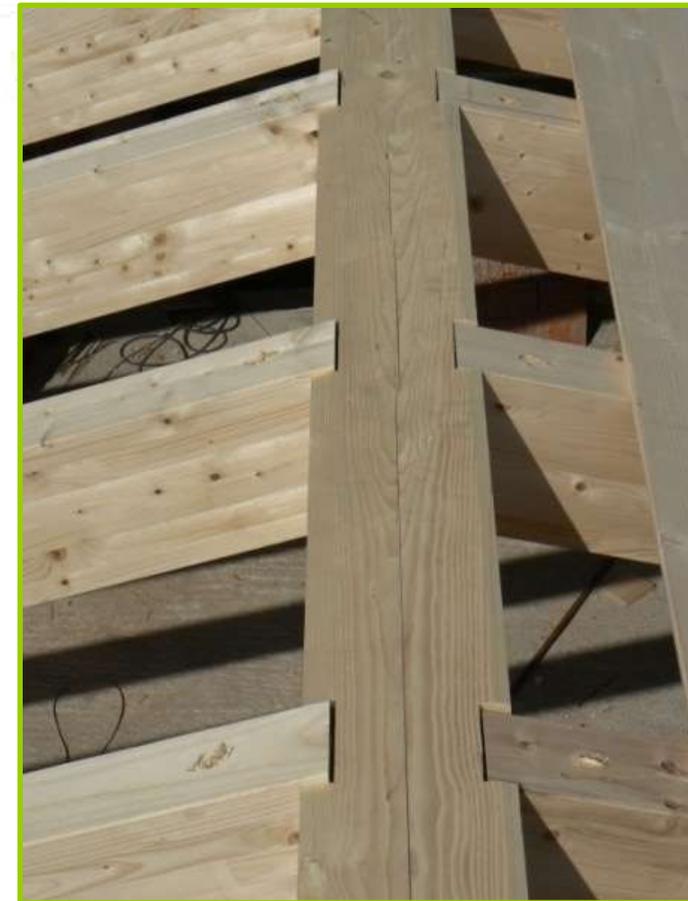
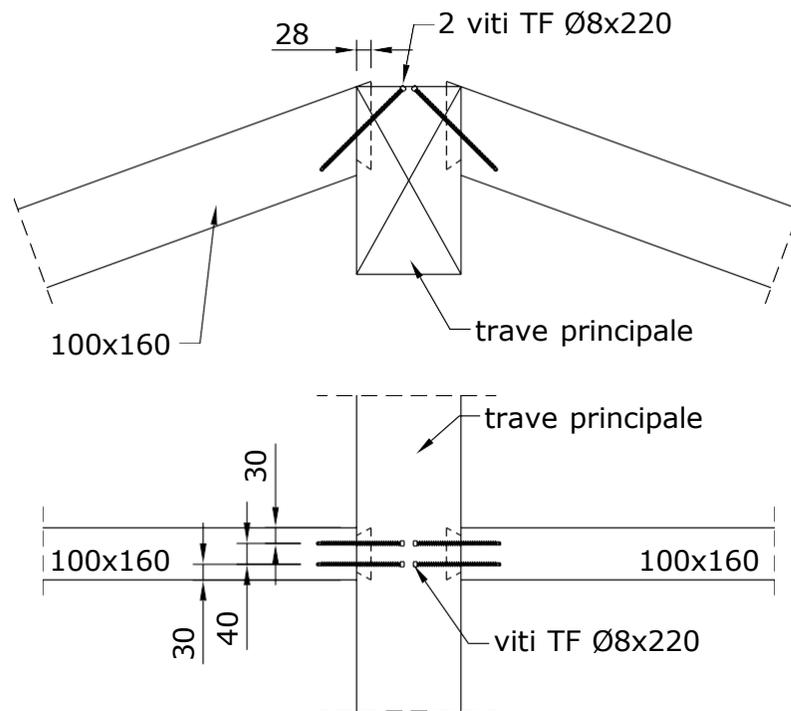


Unioni meccaniche: Viti a tutto filetto



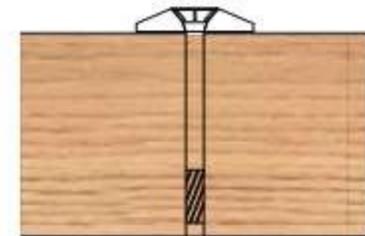
600 mm

Collegamento travicelli travi principali



Unioni meccaniche: Viti a tutto filetto



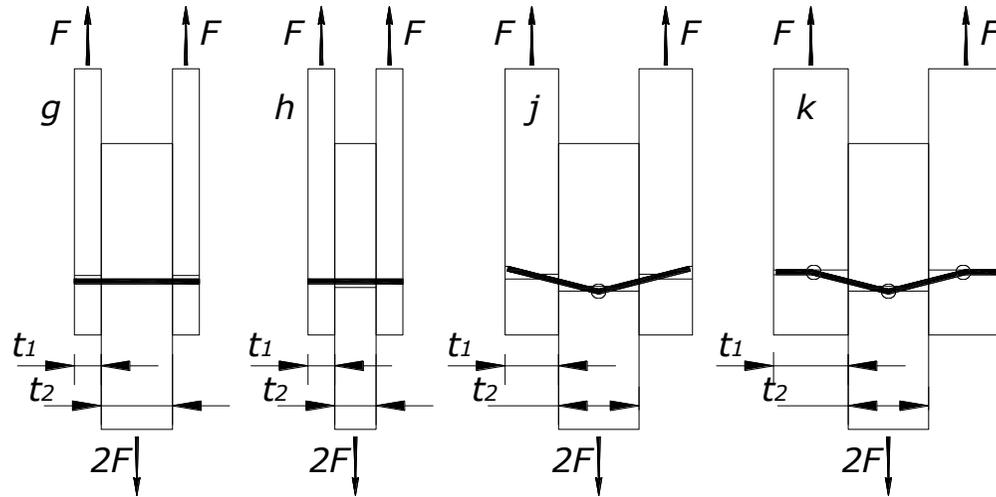
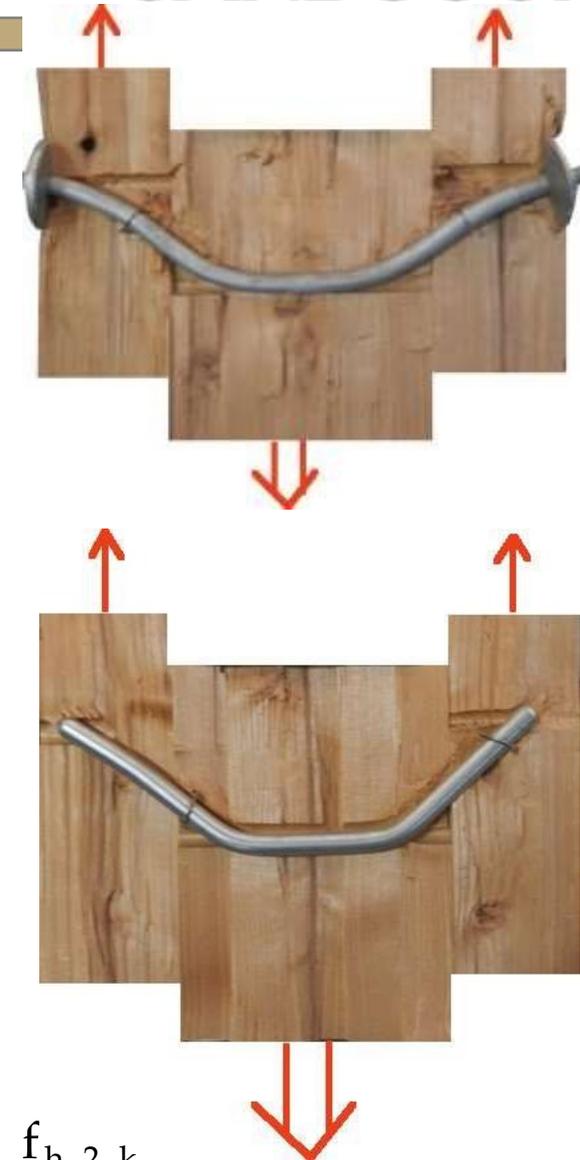


Certificazione Z-9-1-687





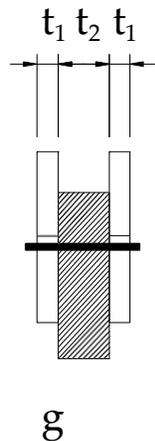
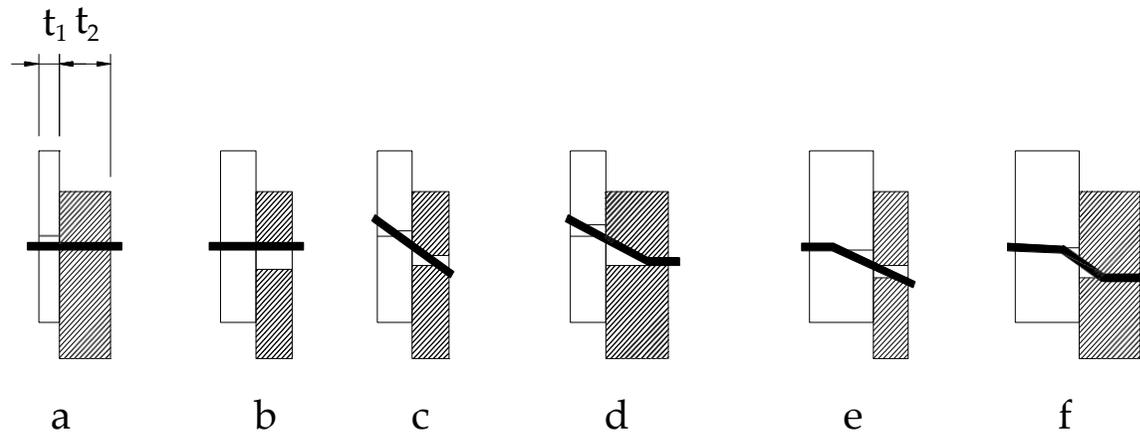




Per singolo elemento di collegamento e per singola sezione di taglio

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} t_1 d \\ 0,5 f_{h,2,k} t_2 d \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{cases} \quad \beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}}$$

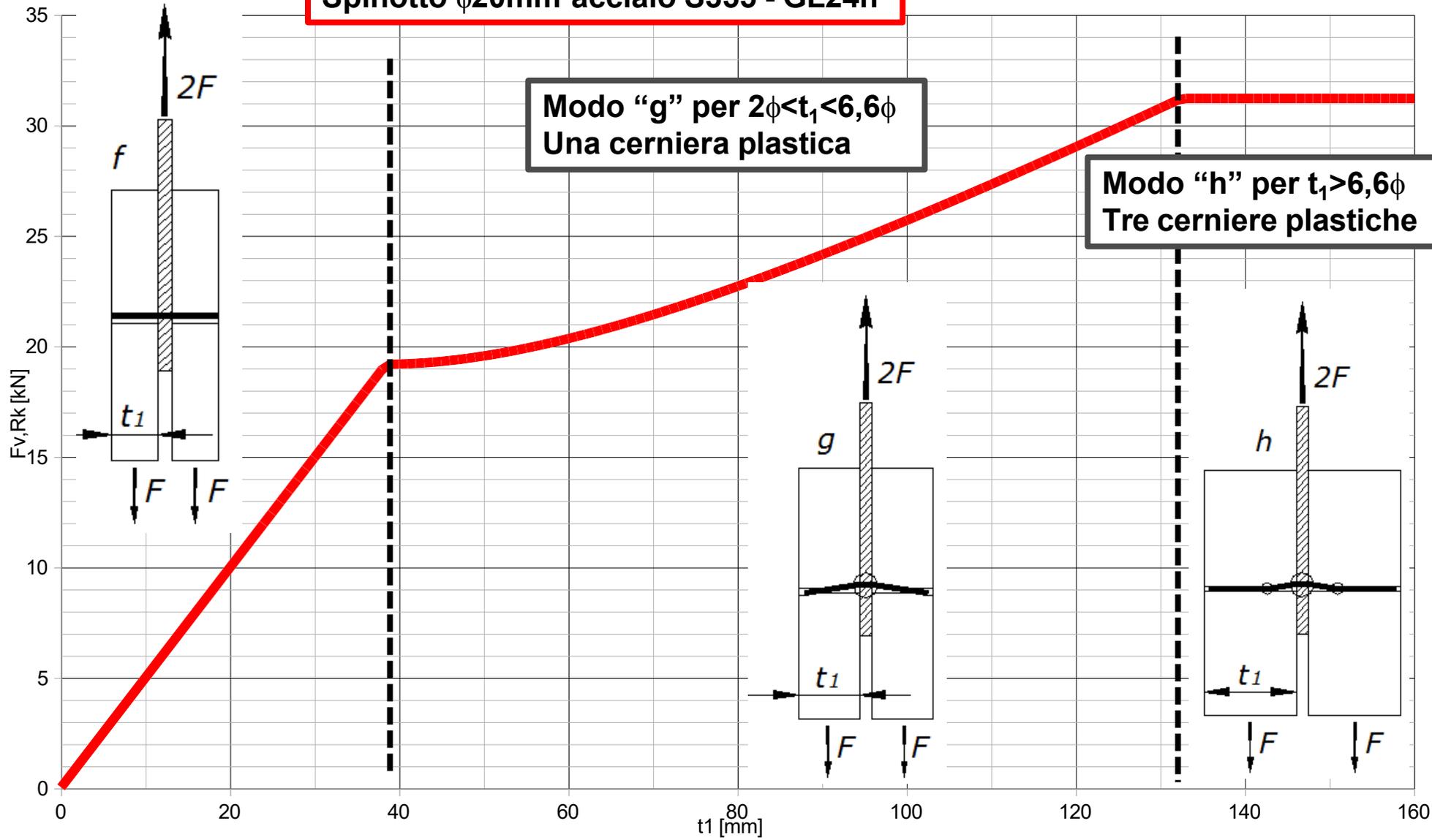
Verifiche agli SLU per i unioni meccaniche (EC5 e CNR DT/206)



ϕ connettore + piccolo (o legni + spessi) = rottura più duttile



Spinotto $\phi 20\text{mm}$ acciaio S355 - GL24h



Modo "g" per $2\phi < t_1 < 6,6\phi$
Una cerniera plastica

Modo "h" per $t_1 > 6,6\phi$
Tre cerniere plastiche



TIMBERDESIGN
Progetti in legno

www.timberdesign.it

Grazie