

Con il contributo di:



Prato, 15-23-29 maggio 2025

# Strutture lignee dalla normativa alla pratica

**Tecnologia del legno**  
**Introduzione al calcolo**  
Riparazione e rinforzo

Organizzato da:



Marco Pio Lauriola

**TIMBERDESIGN**



[www.timberdesign.it](http://www.timberdesign.it)





Il presente contenuto è stato prodotto per far fronte alle esigenze di didattica a distanza rese necessarie per l'emergenza legata alla diffusione del virus COVID-19.

Il contenuto ha una finalità esclusivamente didattica, e viene rilasciato in uso agli iscritti al corso Strutture lignee organizzato dall'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Prato 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



# **Primo seminario**

**Tecnologia del legno, biodegradamento,  
comportamento meccanico,  
certificazioni e controlli di accettazione**



## □ Importanza del legno

Età della pietra



Età del bronzo



Età del ferro



**... e l'età del legno?**



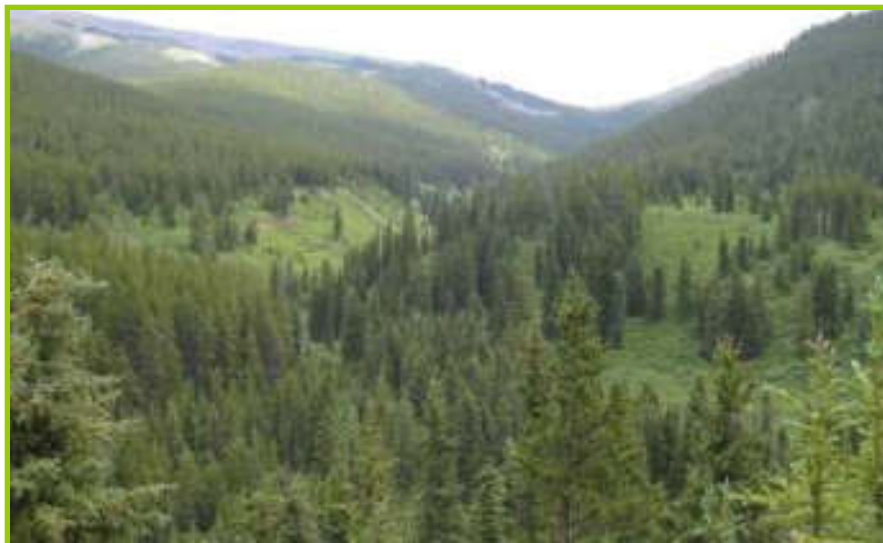
# Prodotti a base di legno per uso strutturale



## ❑ 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: Legno massiccio





Prodotti a base di legno: Legno lamellare incollato







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

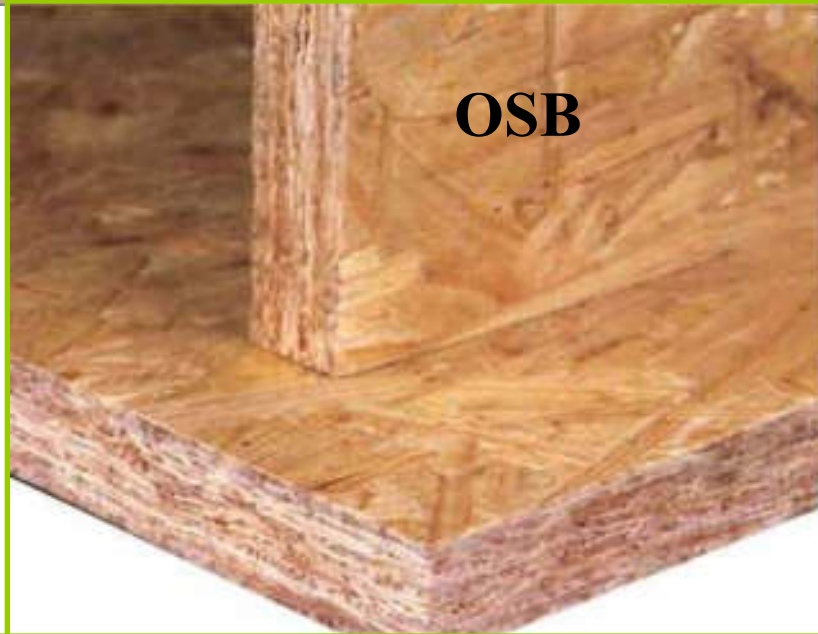


**Xlam**





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



**OSB**



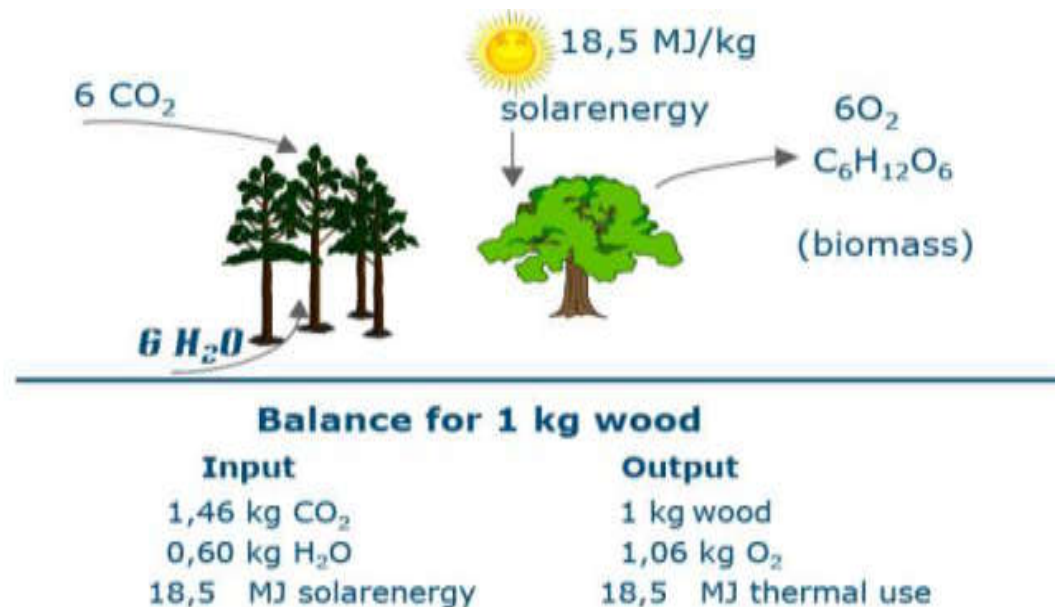
**Compensato**

**OSB in edificio platform-frame**





# Sostenibilità



- Attraverso la fotosintesi clorofilliana circa 1,5 kg di CO<sub>2</sub> 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 m<sup>3</sup> di legno ossia circa 600 kg si impiegano circa 600x1,5= 900kg (0,9 t) di CO<sub>2</sub>

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



•Forest  
Stewardship  
Council

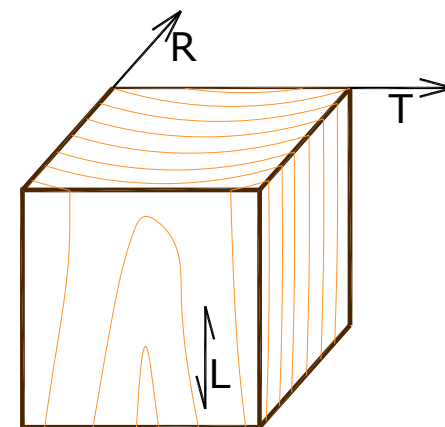
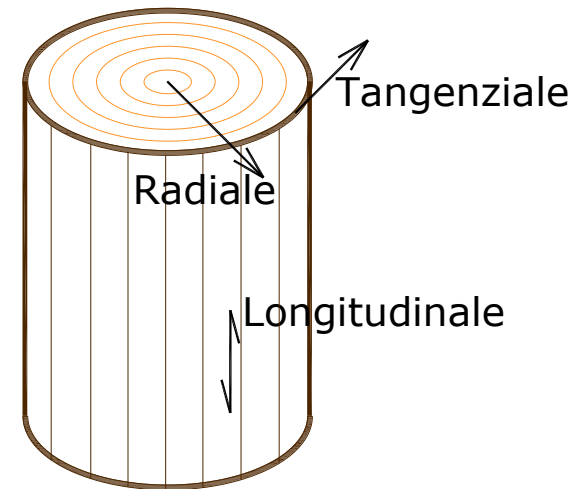


•Programme for  
Endorsement of  
Forest  
Certification  
schemes



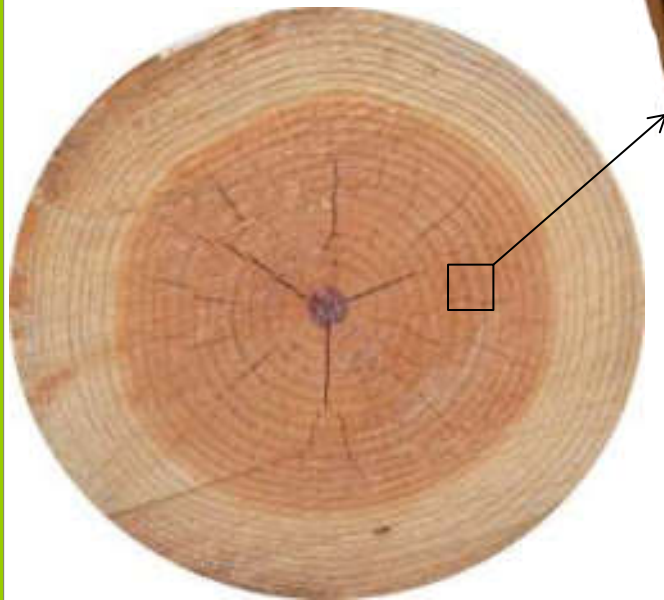
# Tecnologia del legno

## Le direzioni anatomiche del legno



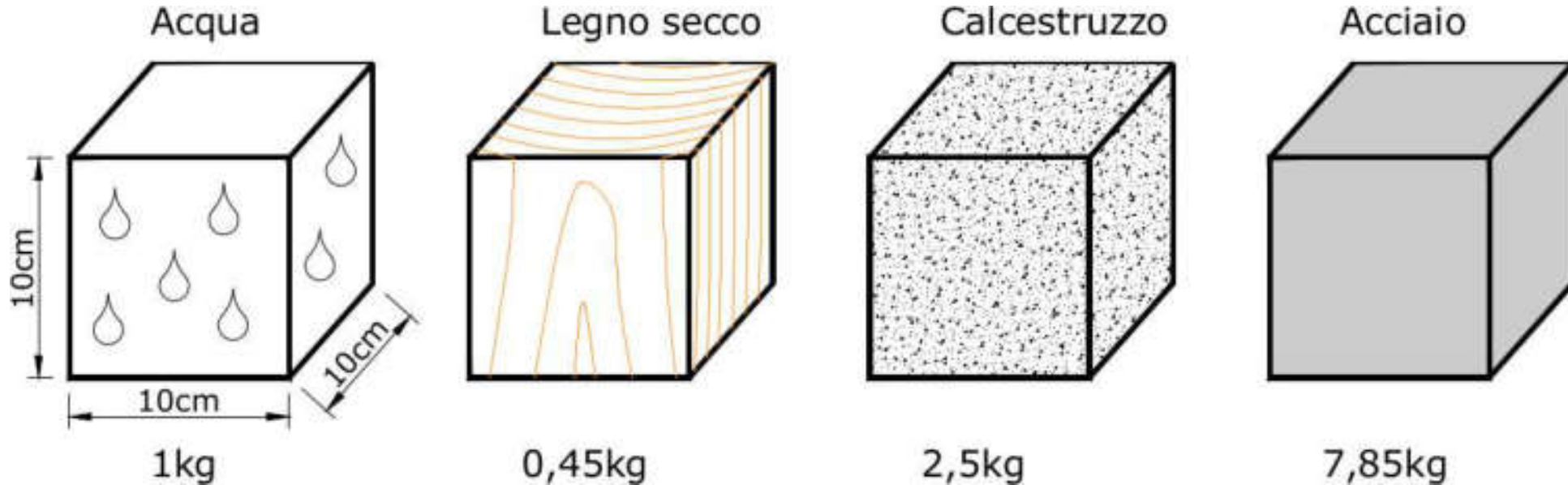


## □ Anatomia





## □ 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/dm<sup>3</sup>** se molto umido (appena tagliato) e circa **0,35kg/dm<sup>3</sup>** da secco

## Umidità del legno

**Legno umido**



$P = 140\text{g}$

**Legno assolutamente secco**



$P_0 = 90\text{g}$

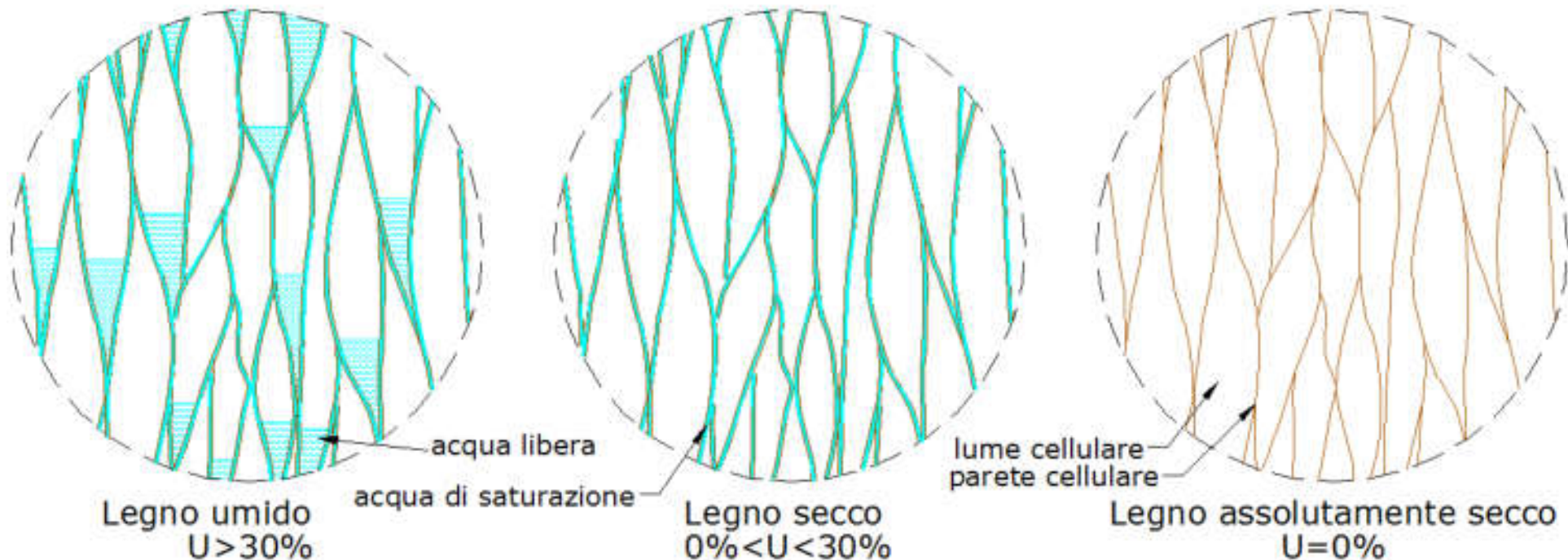
$$U = \frac{P - P_0}{P_0} = \frac{140 - 90}{90} = \frac{50}{90} = 55\%$$

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

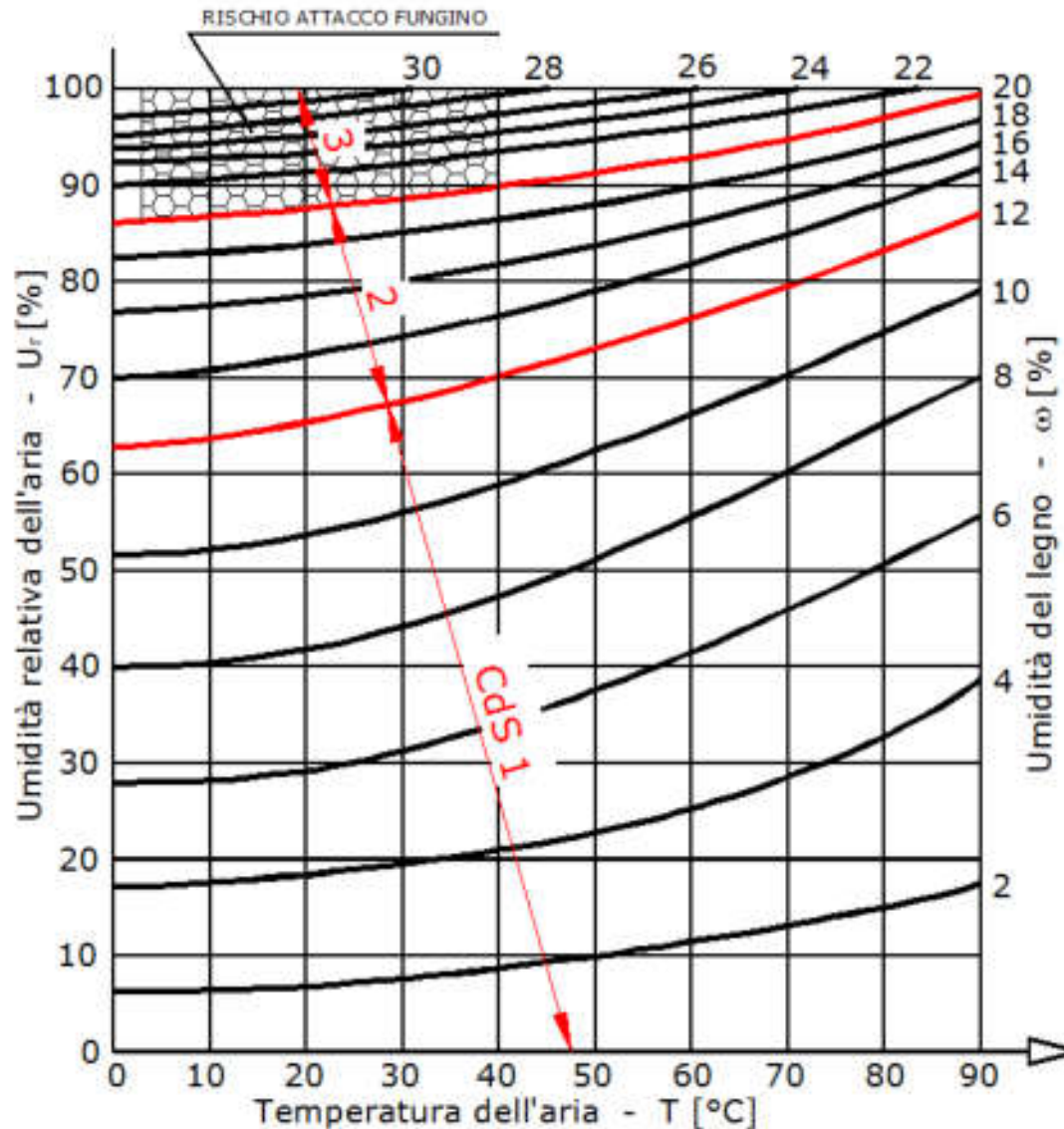
## Relazioni legno acqua

Il legno è un materiale igroscopico, scambia umidità con l'ambiente. L'acqua all'interno del legno può essere presente in due forme:

- *acqua di saturazione*: contenuta nelle pareti cellulari  $0% < U < 30%$
- *acqua libera*: contenuta nel lume cellulare  $U > 30%$

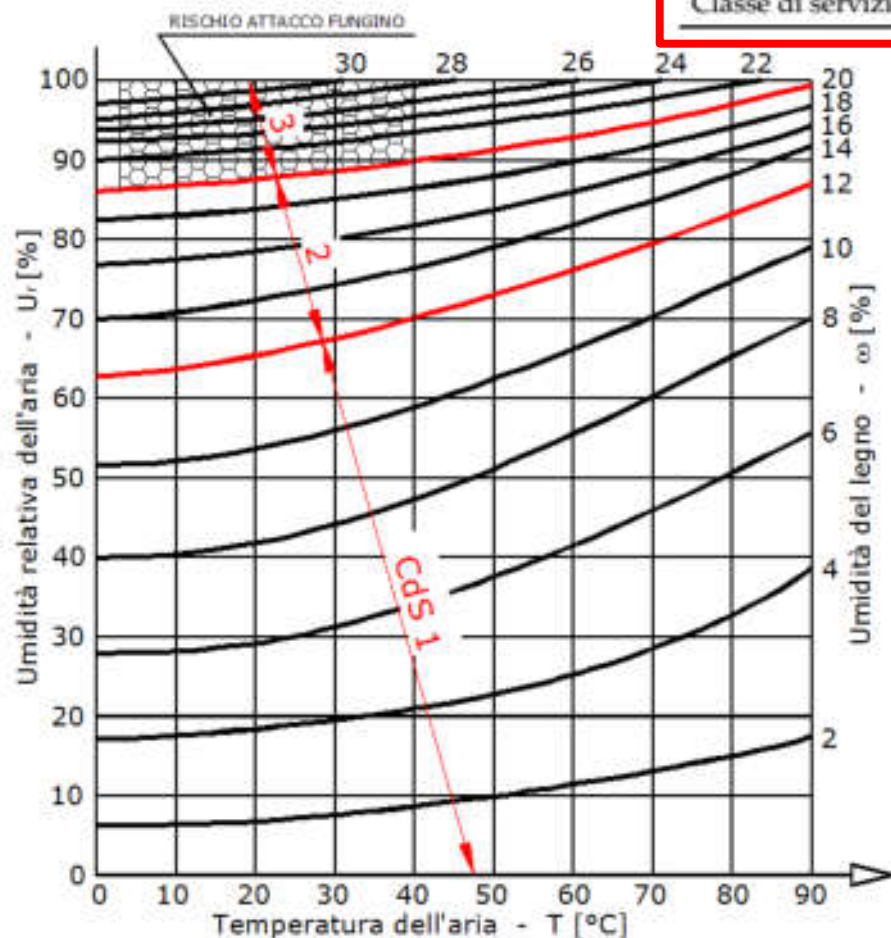


## Relazioni legno acqua – Curve di equilibrio isgroscopico



Tab. 4.4.II - Classi di servizio

Classe di servizio 1	È caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20 °C e un'umidità relativa dell'aria circostante che non superi il 65%, se non per poche settimane all'anno.
Classe di servizio 2	È caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20 °C e un'umidità relativa dell'aria circostante che superi l'85% solo per poche settimane all'anno.
Classe di servizio 3	È caratterizzata da umidità più elevata di quella della classe di servizio 2.



**NTC18 Circolare**

Classe di servizio 1: elementi in ambiente chiuso e riscaldato;

Classe di servizio 2: elementi in ambiente interno non riscaldato, elementi in ambiente esterno protetti dall'esposizione diretta agli agenti atmosferici;

Classe di servizio 3: elementi in ambiente esterno esposti direttamente agli agenti atmosferici.

**Classe di servizio 3 =**

**Umidità di equilibrio del legno >20% =**

**Rischio di attacco fungino (marcescenza)  
in un tempo più o meno rapido in funzione  
della classe di durabilità**



## □ Ritiro e rigonfiamento

Il legno tende a equilibrare la propria umidità interna con quella presente nell'ambiente circostante.

**In seguito a variazioni di umidità si verificano variazioni dimensionali dell'elemento di importanza molto diversa nelle tre direzioni longitudinale, radiale e tangenziale.**

$$l_f = l_i(1 + k(u_f - u_i)) \quad (4.3)$$

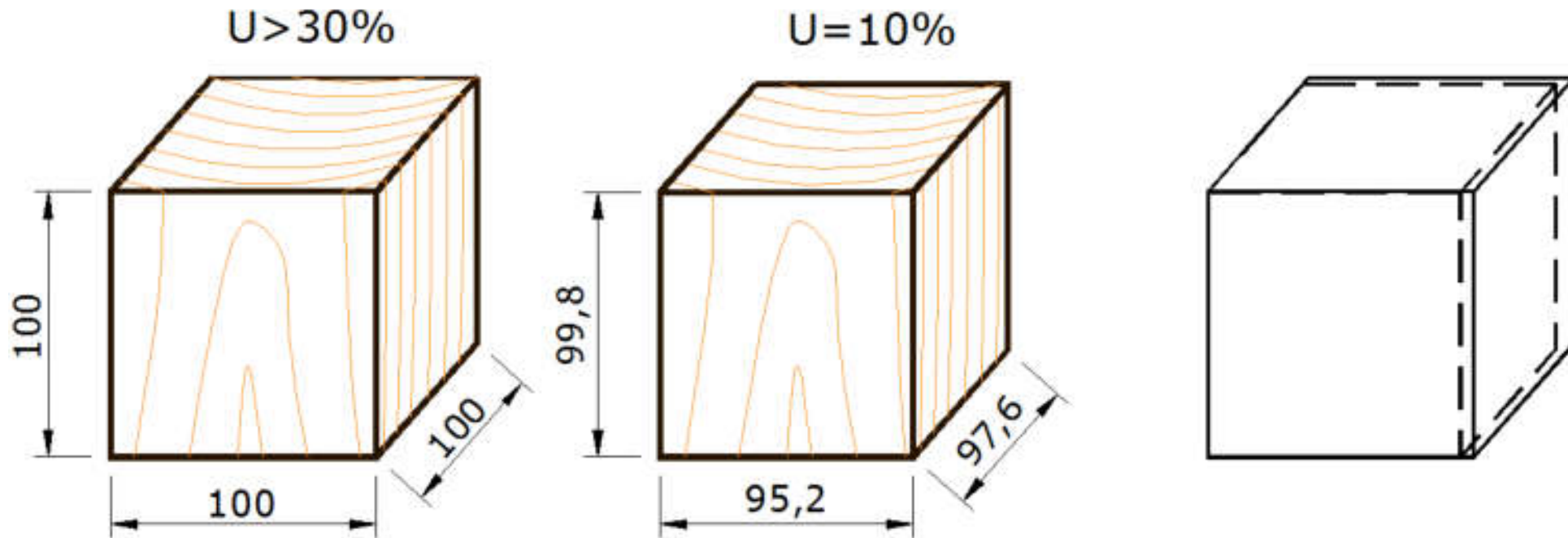
dove:

- $l_f$  è la dimensione relativa al contenuto di umidità finale
- $l_i$  è la dimensione relativa al contenuto di umidità iniziale
- $k$  è il coefficiente di ritiro e rigonfiamento nella direzione anatomica considerata (Tabella)
- $u_i$  è il contenuto di umidità iniziale del legno (%)
- $u_f$  è il contenuto di umidità finale del legno (%)

Tabella 4-2 - Valori del coefficiente  $k$  di ritiro e rigonfiamento lineare (i valori indicati per il legno lamellare sono quelli riportati nella EN14080).

	Coefficienti di ritiro e rigonfiamento in direzione:		
	longitudinale	radiale	tangenziale
Conifere, quercia rovere, castagno, pioppo	0.0001	0.0012	0.0024
Quercia cerro	0.0001	0.0020	0.0040
Legno lamellare incollato	0.0001	0.0025	

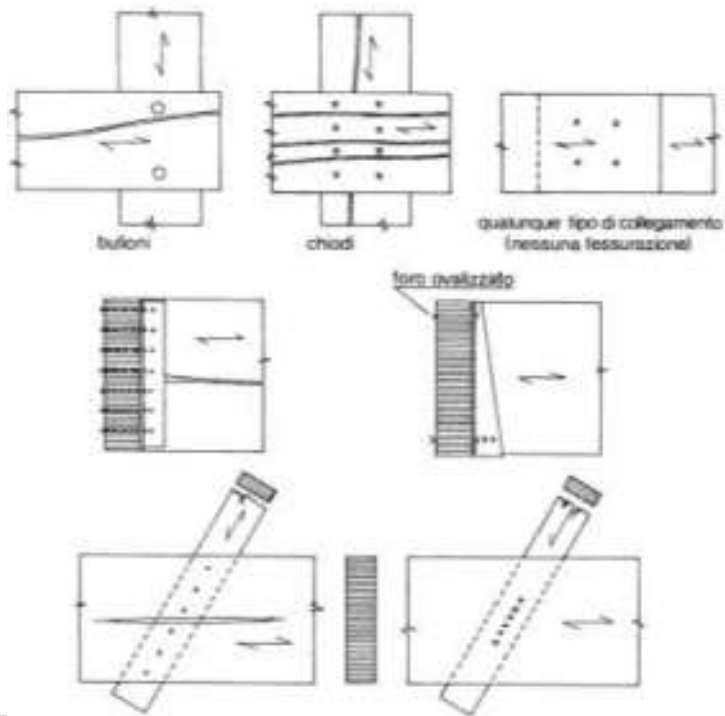
## ❑ Ritiro e rigonfiamento: esempio legno di conifera



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.

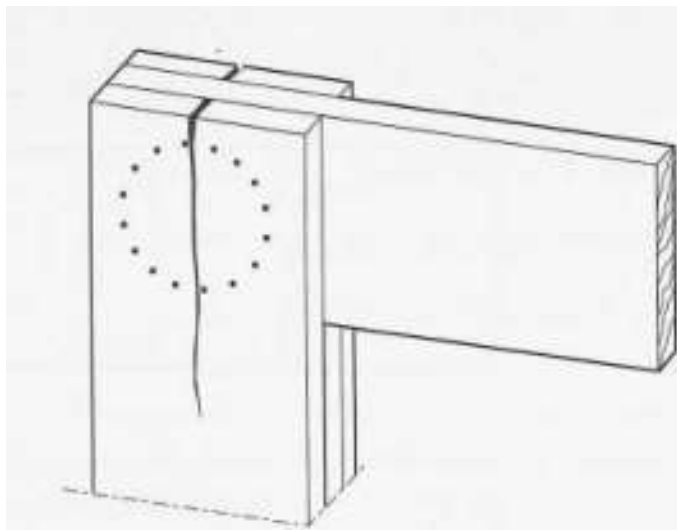








Tecnologia del legno



*Splitting failure due to differential shrinkage and different moisture variation in beam and column. (STEP Lecture D5)*



## ❑ Solaio lamellare "sdraiato"





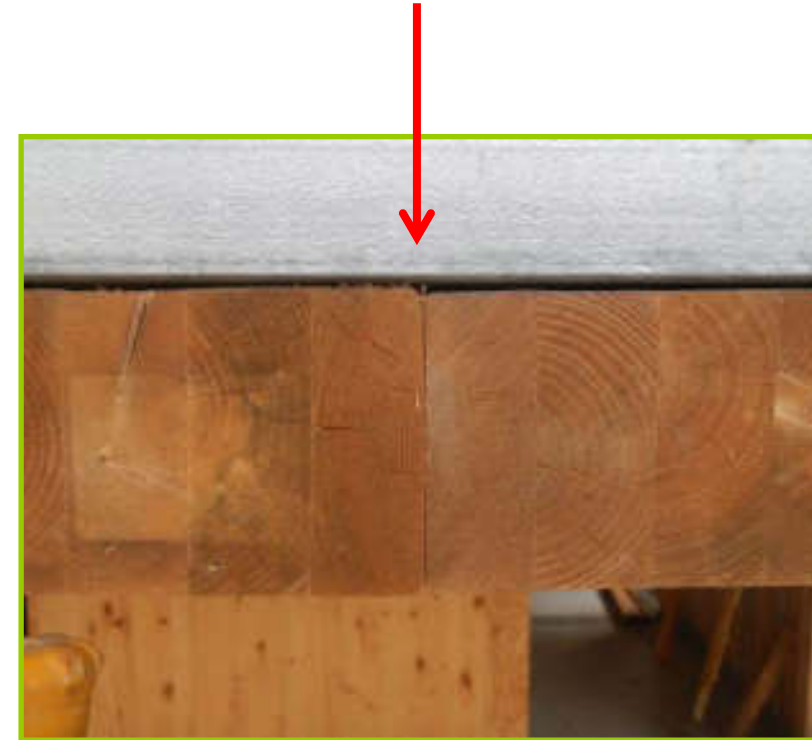
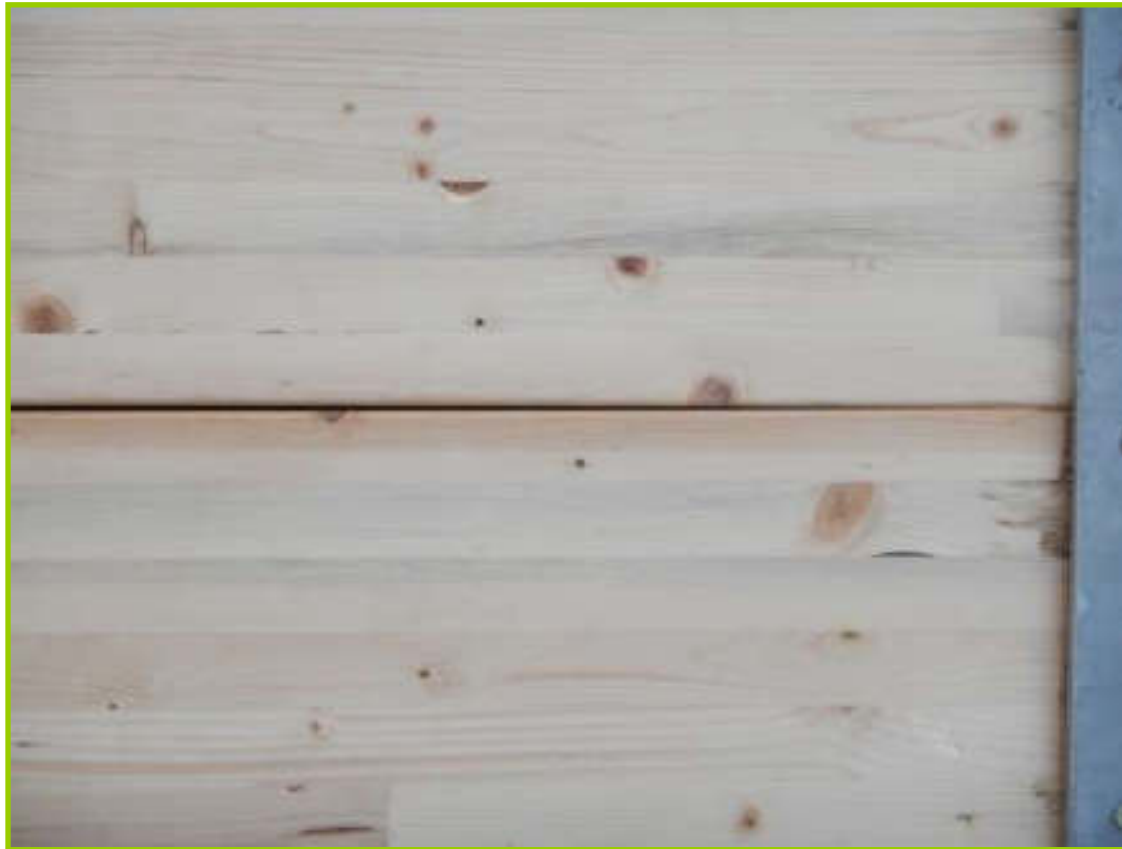
## □ Rigonfiamento trasversale

Per ogni punto percentuale di aumento di umidità del legno si ha un rigonfiamento trasversale dello 0,25%.

Ipotesi: legno messo in opera al 10%; l'edificio non viene utilizzato per qualche anno, si formano le condizioni della classe di servizio 2, l'umidità del legno cresce al 16%; il legno ortogonalmente alla fibratura si rigonfia di  $(16-10) \times 0,25\% = \mathbf{1,5\%}$  ovvero **un solaio di larghezza 10m si allarga di ulteriori 15cm.**

Necessario lasciare una congrua fuga fra i pannelli per consentire il libero rigonfiamento trasversale.

## ❑ Rigonfiamento trasversale

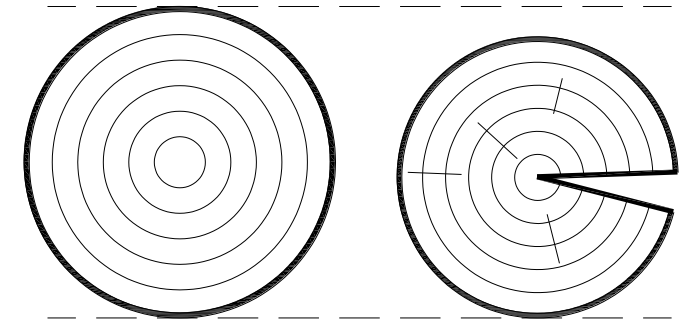
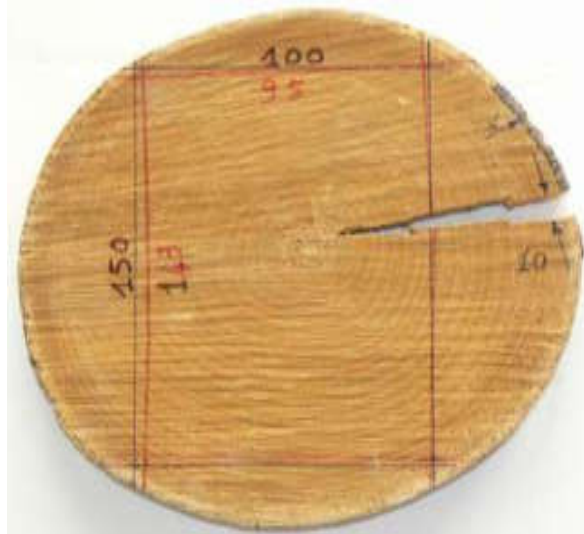


## □ Misurazione umidità del legno



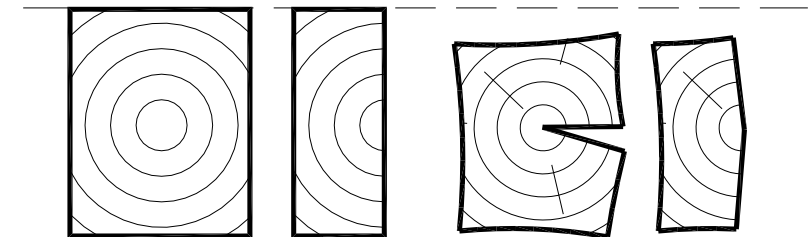
L'umidità del legno si può misurare in cantiere per mezzo degli igrometri elettrici, apparecchi che misurano la resistenza elettrica fra due elettrodi (chiodi) infissi nel legno la quale è correlata con l'umidità del legno.

## ❑ 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).





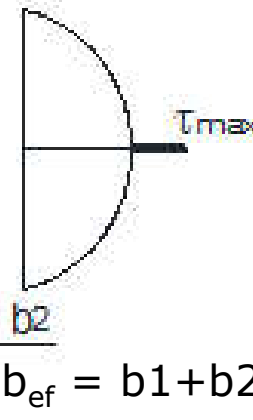
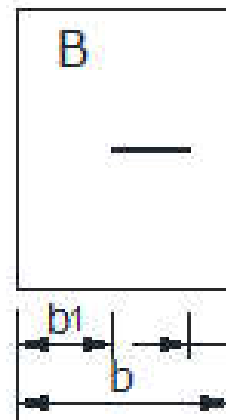
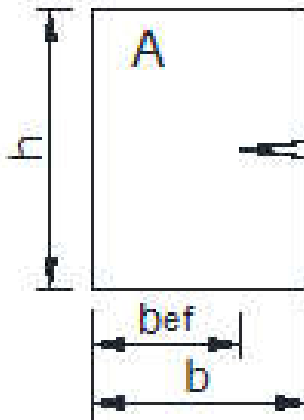
### 4.4.8.1.9 Taglio **NTC18 = EC5**

Deve essere soddisfatta la condizione:

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

dove:

$\tau_d$  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**

$K_{cr} = 2.0 / f_{v,k}$  ( $= 0.67 \div 0.4$ ) 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.

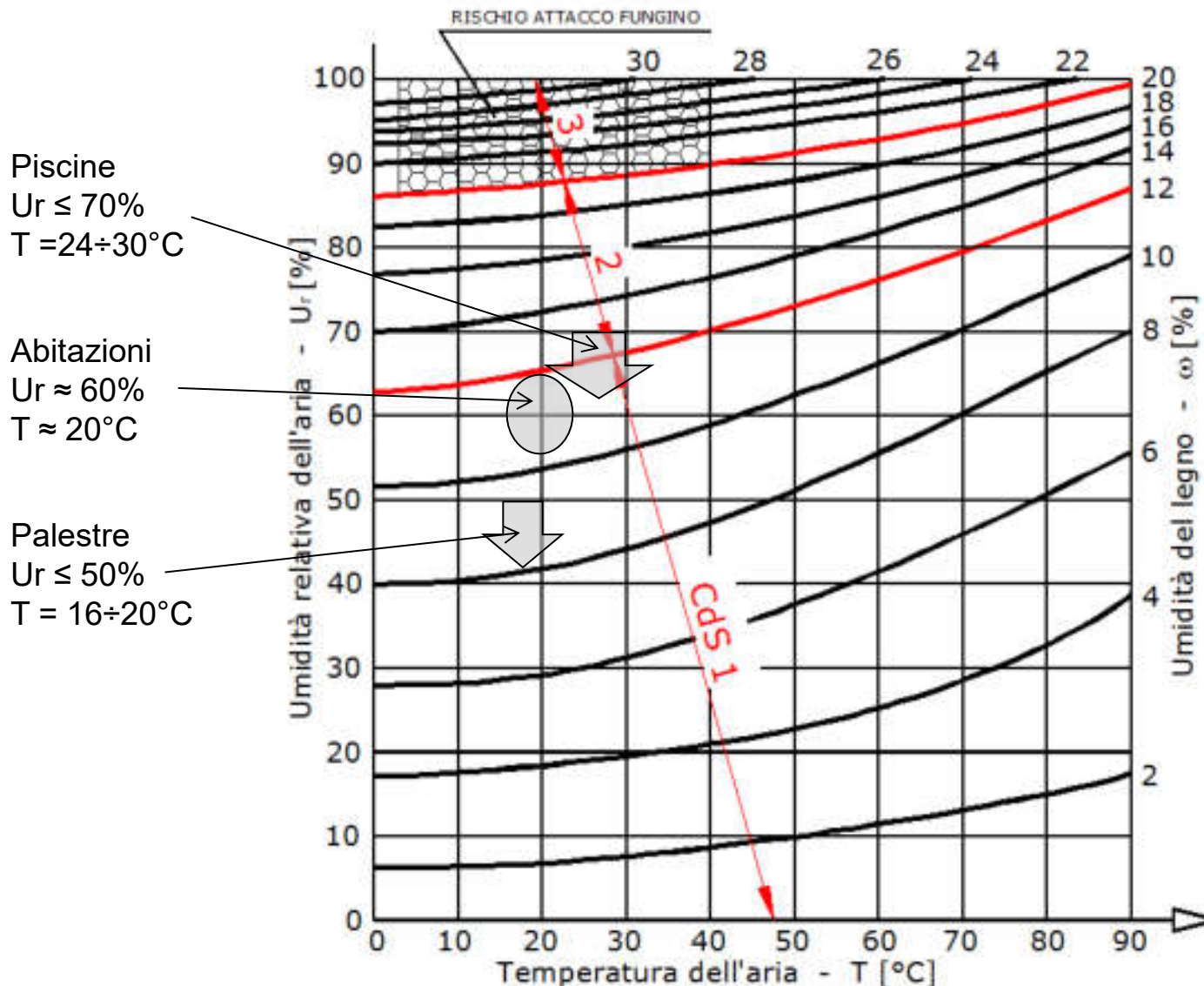
**EC5**

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

## 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



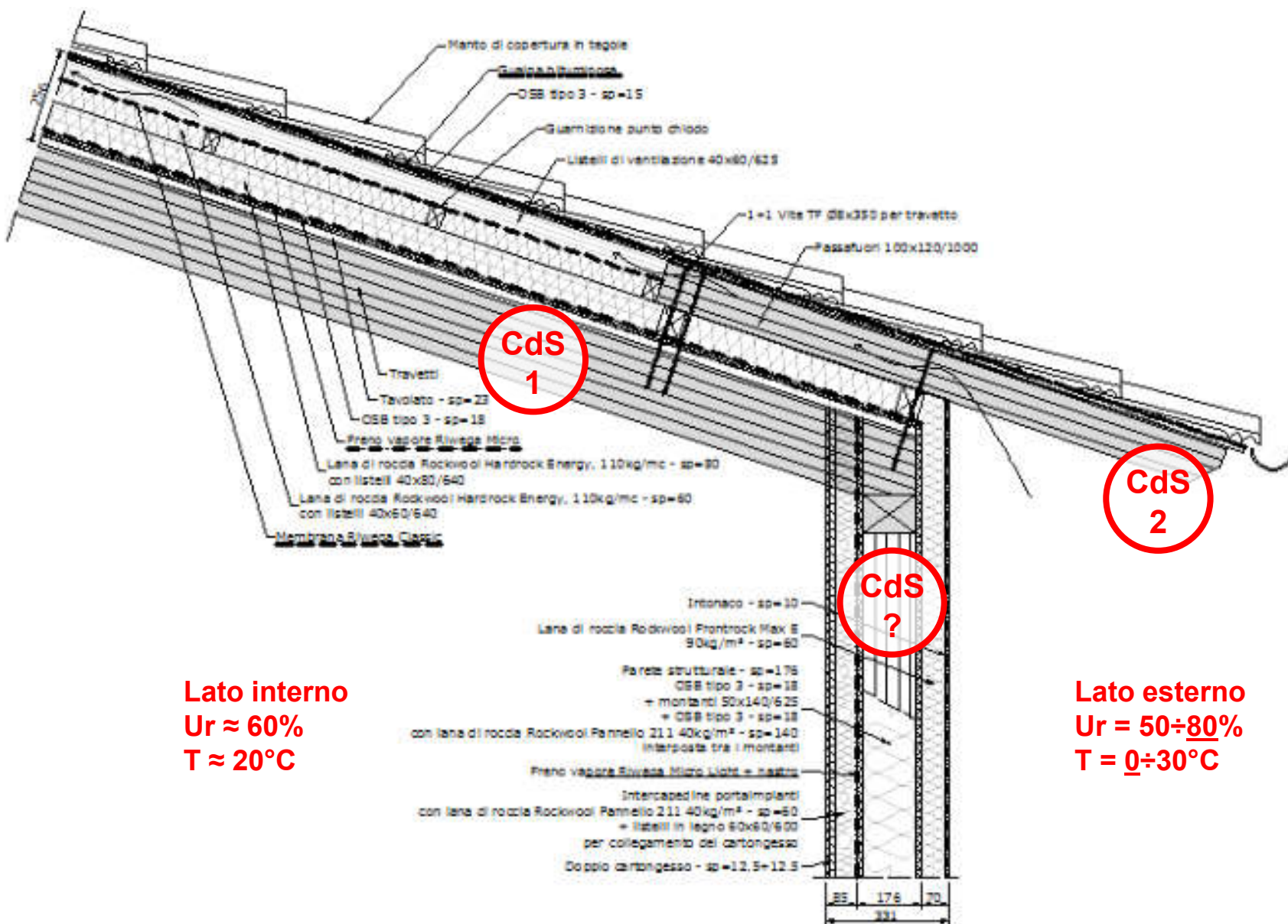




Tabella 7-2 - Classi di servizio

<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**



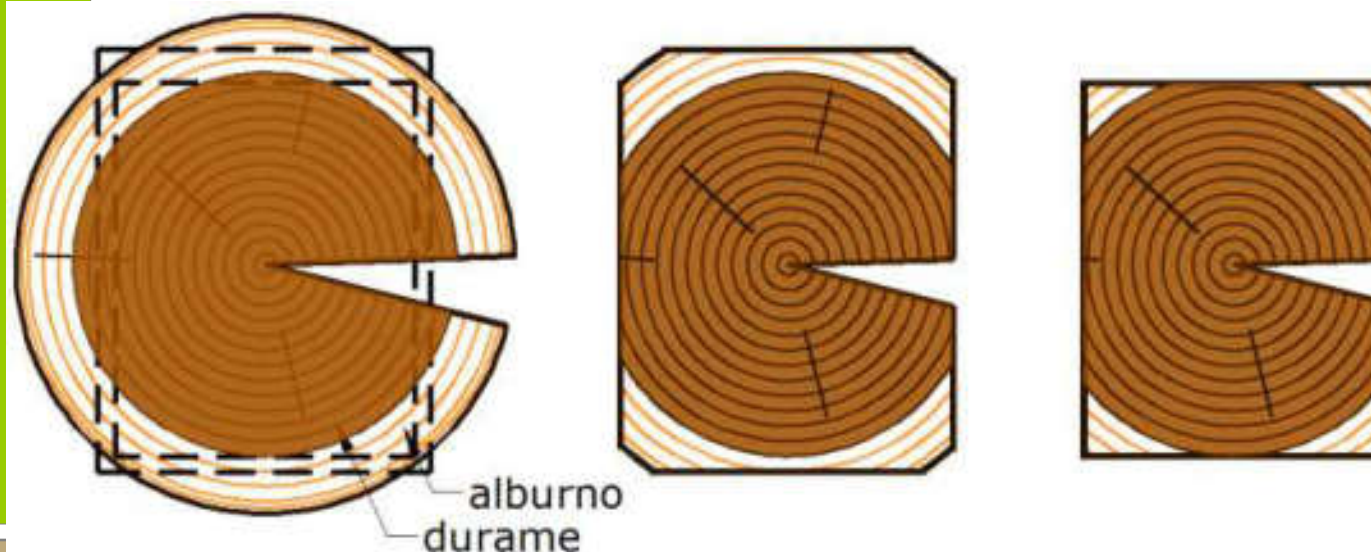
## Alburno e durame

*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.



## ❑ 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.



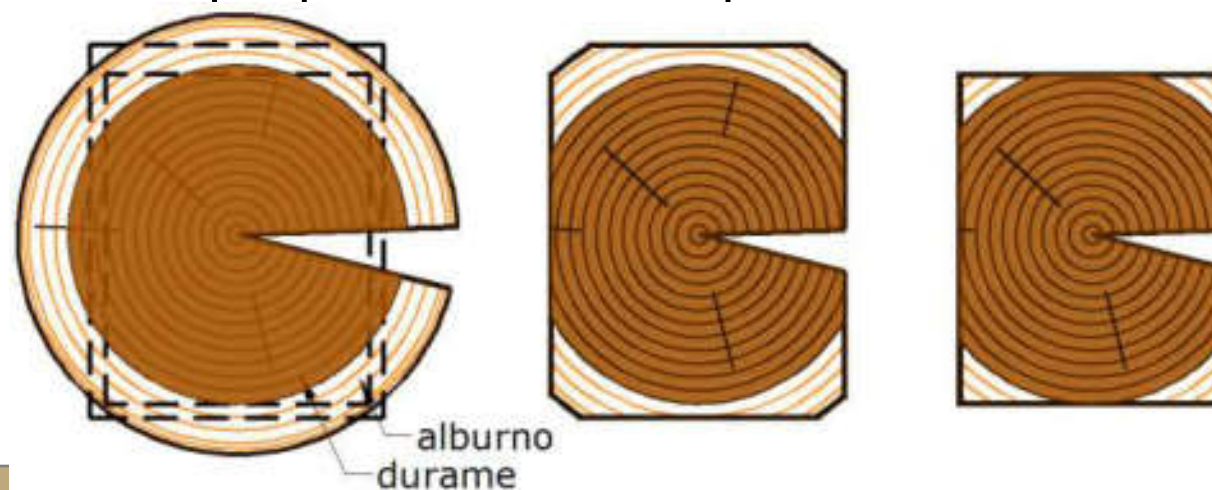
## ❑ Requisiti nei confronti degli insetti xilofagi

Riferimento: EN350

Il rischio di attacco da insetti c'è in tutte le classi di utilizzo, pertanto le specie legnose classificate NR (non resistente) devono essere trattate con preservante.

Generalmente l'alburno è sempre NR, pertanto andrebbero usati materiali disalburnati o con alburno sottoposto a trattamento preservante.

Si può utilizzare materiale non trattato con preservante qualora sia tollerata la possibilità di attacco, ad esempio per elementi non portanti e non rilevanti ai fini estetici.



## □ Requisiti nei confronti degli insetti xilofagi

Abete (durame **non** differenziato)

Quercia (durame differenziato)





## ❑ Attacco da insetti – Isotteri (termiti)

Sono insetti sociali che vivono nel terreno.  
Riescono a passare attraverso fessure di 1mm.  
Sono fotosensibili.



- ❑ **Attacco da insetti – Isotteri (termiti)**  
Gradiscono alcune specie legnose, disdegnano altre



## ❑ Attacco da insetti – Isotteri (termiti)

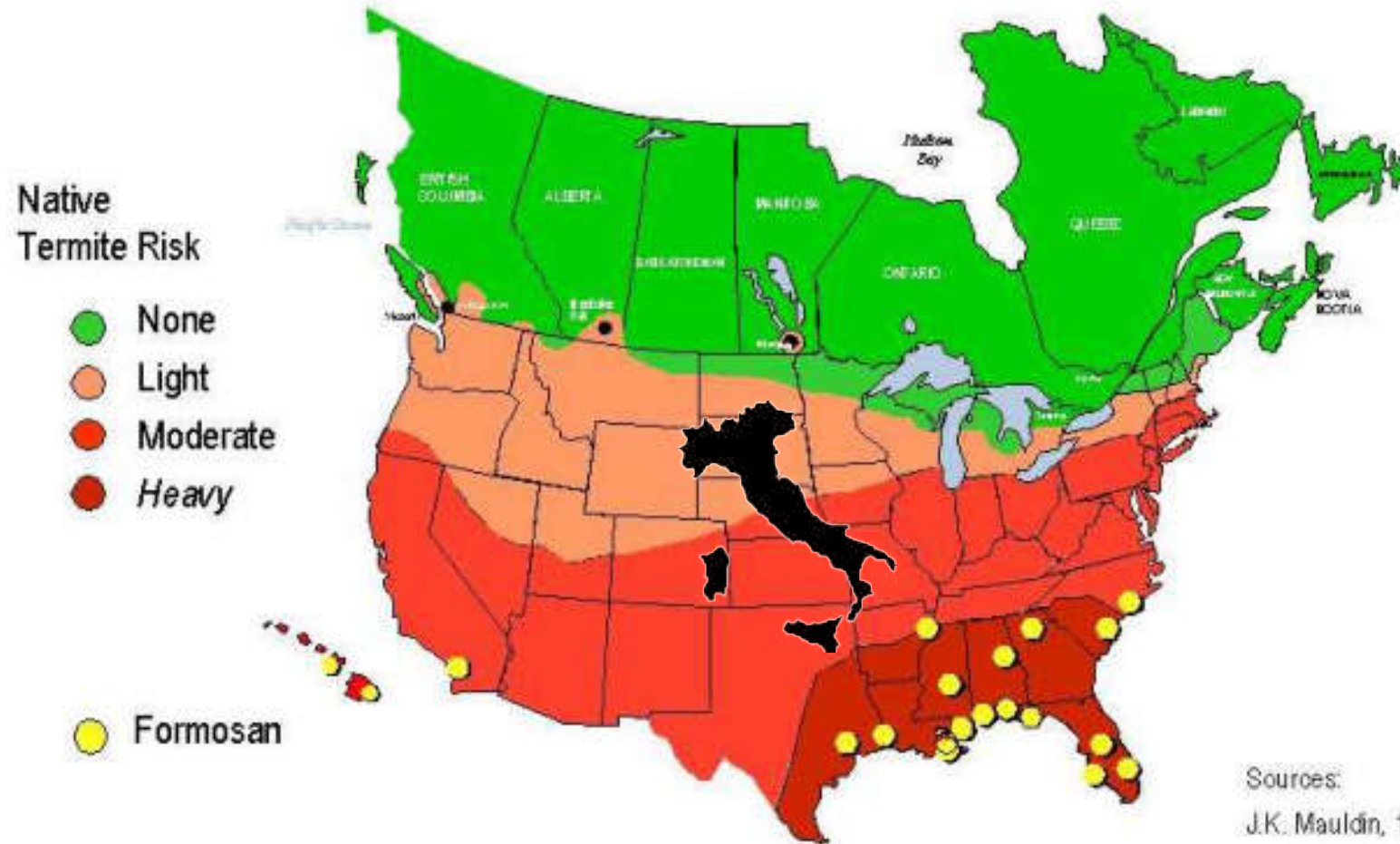


## ❑ Attacco da insetti – Isotteri (termiti)





# Subterranean Termite Zones of North America



Sources:  
J.K. Mauldin, 1982  
N.Y. Su, 1995  
T. Myles, 1997





## □ Attacco da insetti – Isotteri (termiti)

- Alla base dell'edificio in legno deve essere presente una lastra continua di calcestruzzo progettata in modo che le fessure non superino 1mm di larghezza.
- I canali di penetrazione degli impianti devono essere sigillati con malta antiritiro oppure essere facilmente ispezionabili.
- Lo zoccolo di fondazione deve essere sollevato dal terreno per almeno 15cm.



• **GARANTIRE CONDIZIONI ASCUTTE AL LEGNO**



# **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

## ❑ Stav-Kirke norvegesi (circa mille anni)



Durabilità – Degrado da funghi

## ❑ Le pagode giapponesi (oltre mille anni)





## ❑ Le "Fachwerkhäuser" dell'Europa centro-settentrionale



□ La regola delle 4D:

• Deflection **Deviazione**

• Drainage **Drenaggio**

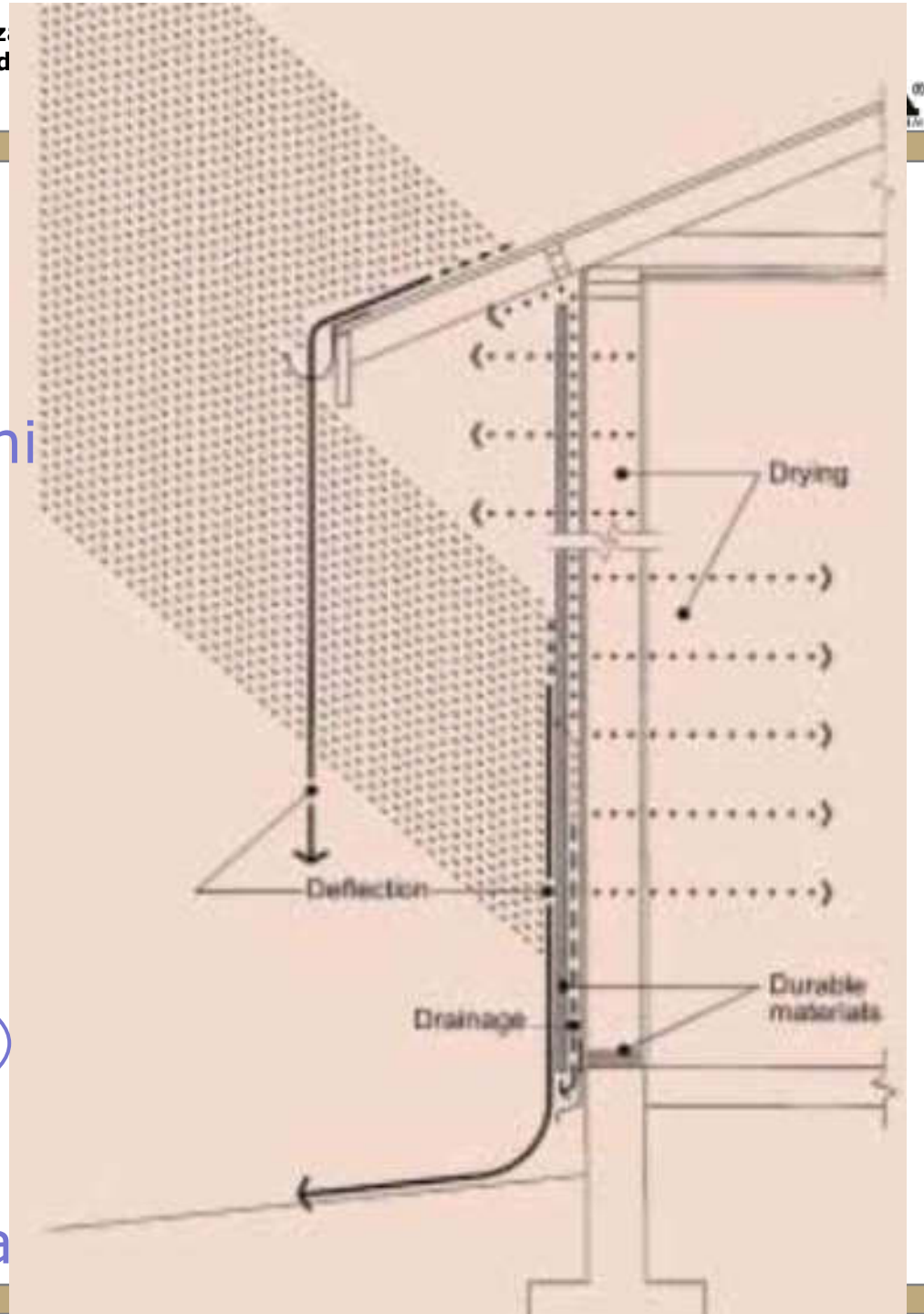
• Drying **Essiccazione**

• Durable materials

**Materiali durabili**

Aumento  
della resistenza

Riduzione  
delle azioni







# Strutture parzialmente esposte





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



Durabilità – Degrado da funghi



## ❑ Dettagli



Durabilità – Degrado da funghi



## ❑ Passerella pedonale a Cervia (RA) durata in servizio: 8 anni !!!

Durabilità – Degrado da funghi



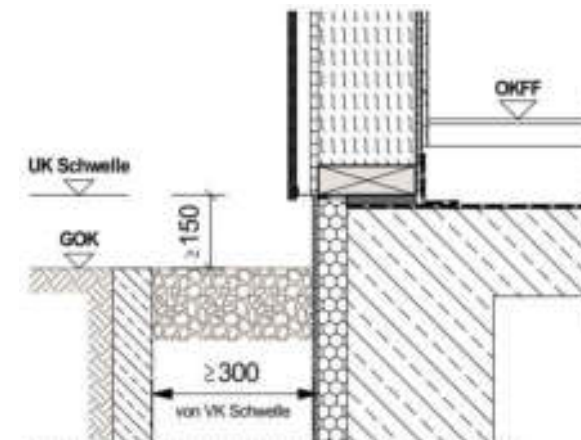
## ❑ Ponte pedonale a Marzabotto



Durabilità – Degrado da funghi



# Attacco a terra - pareti

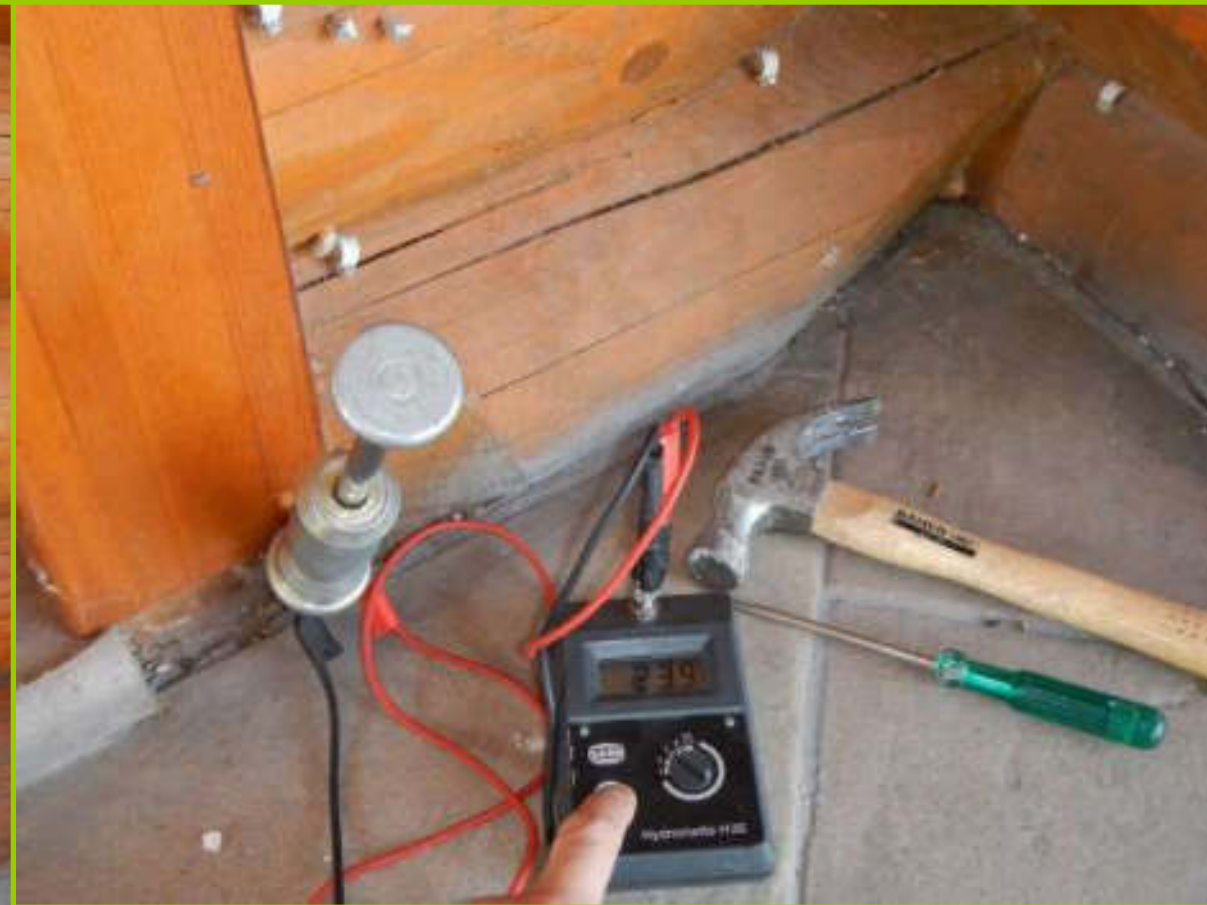


## ❑ Parete blockhaus non esposta



## ❑ Parete blockhaus – durata in servizio 8 anni

Durabilità – Degrado da funghi





## ❑ Parete blockhaus – durata in servizio 8 anni



Durabilità – Degrado da funghi

## ❑ Pareti

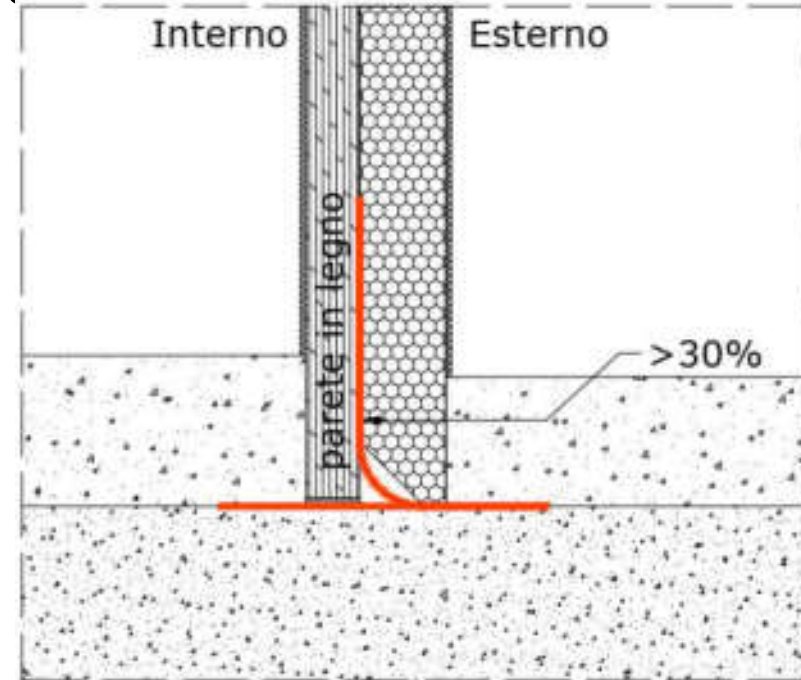


Durabilità – Degrado da funghi



Durabilità – Degrado da funghi

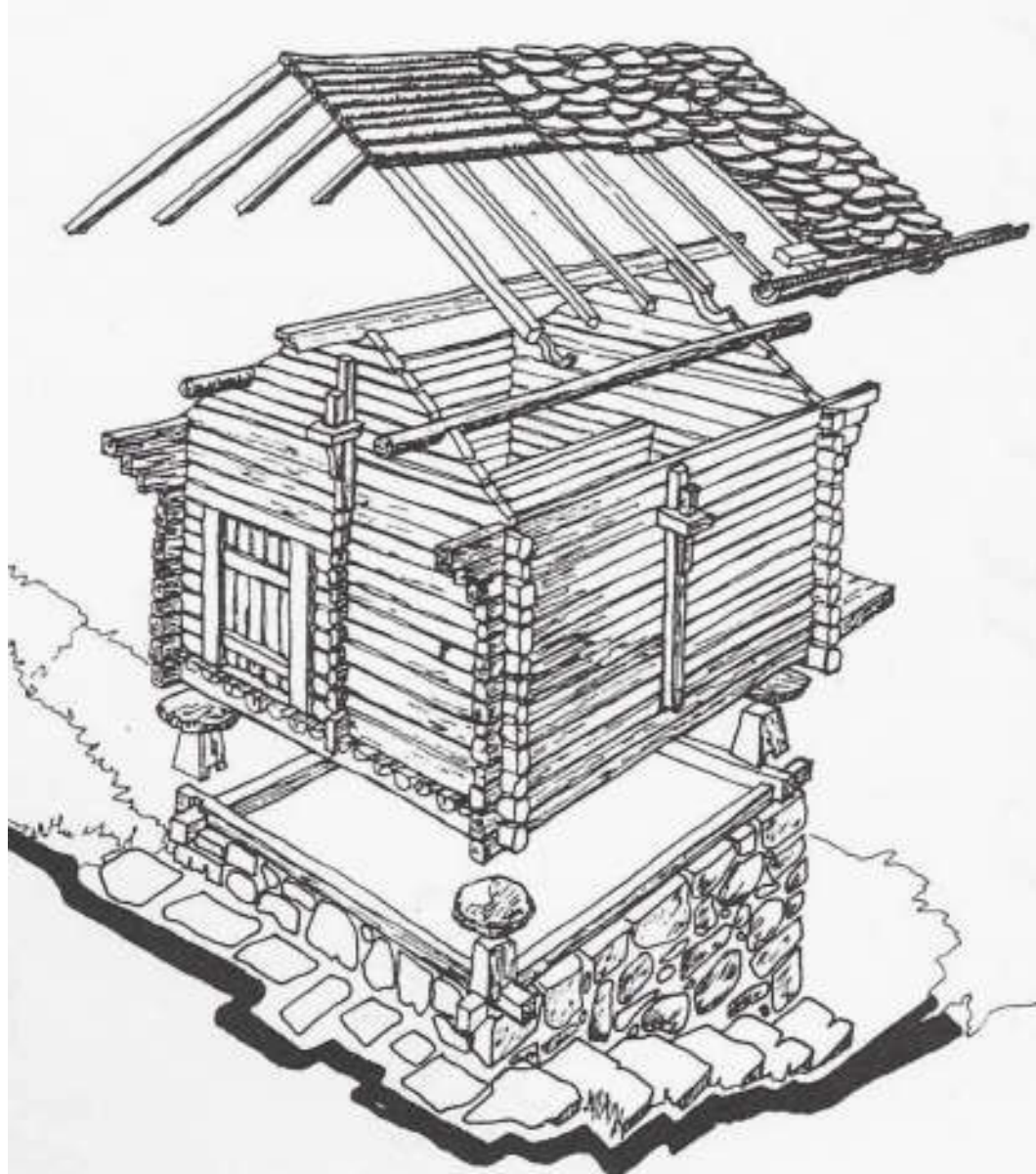
## ❑ Parete xlam durata in servizio: 2 anni !!!





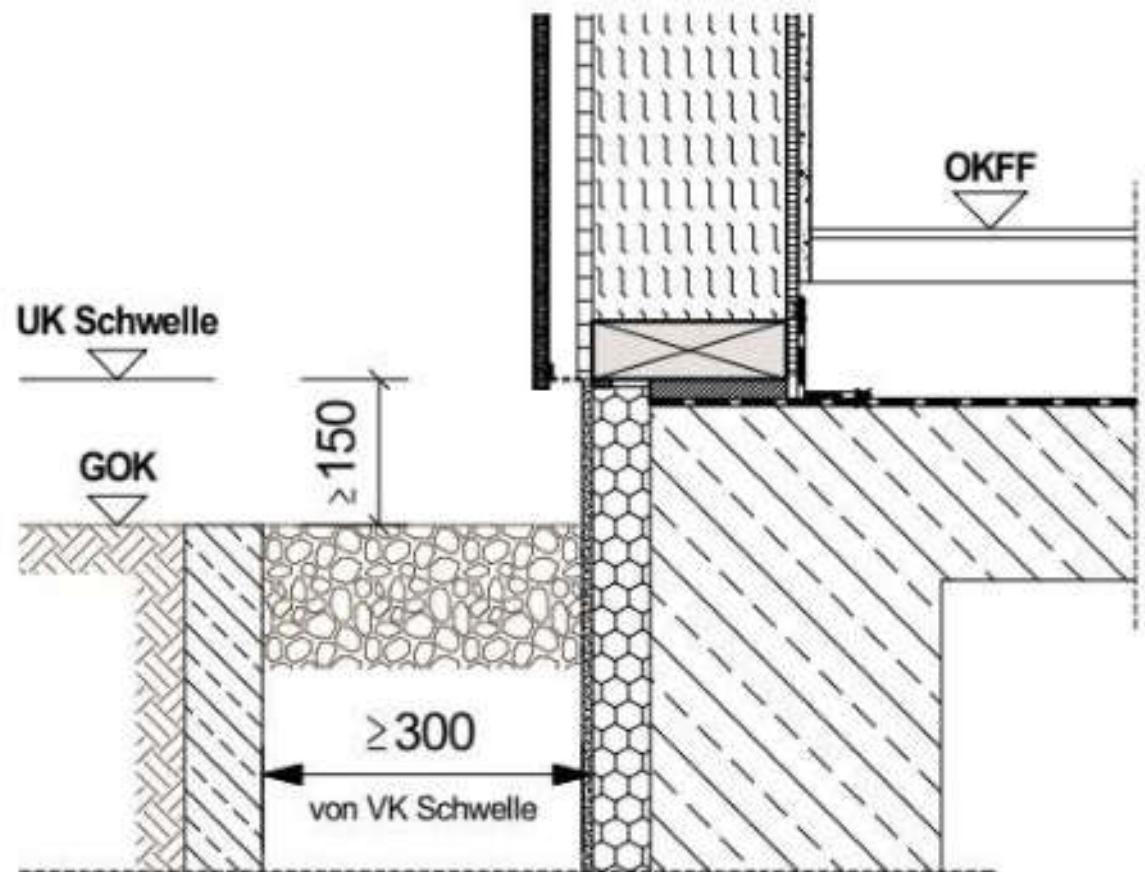


Durabilità – Degrado da funghi



## □ DIN 68800-2 "Protezione del legno – Parte 2: Misure costruttive per la prevenzione dei danni agli edifici"

La prescrizione di tenere sollevato il legno di almeno 15cm dal piano esterno è perentoria per tutte le varianti di attacco a terra proposte nella norma tedesca.

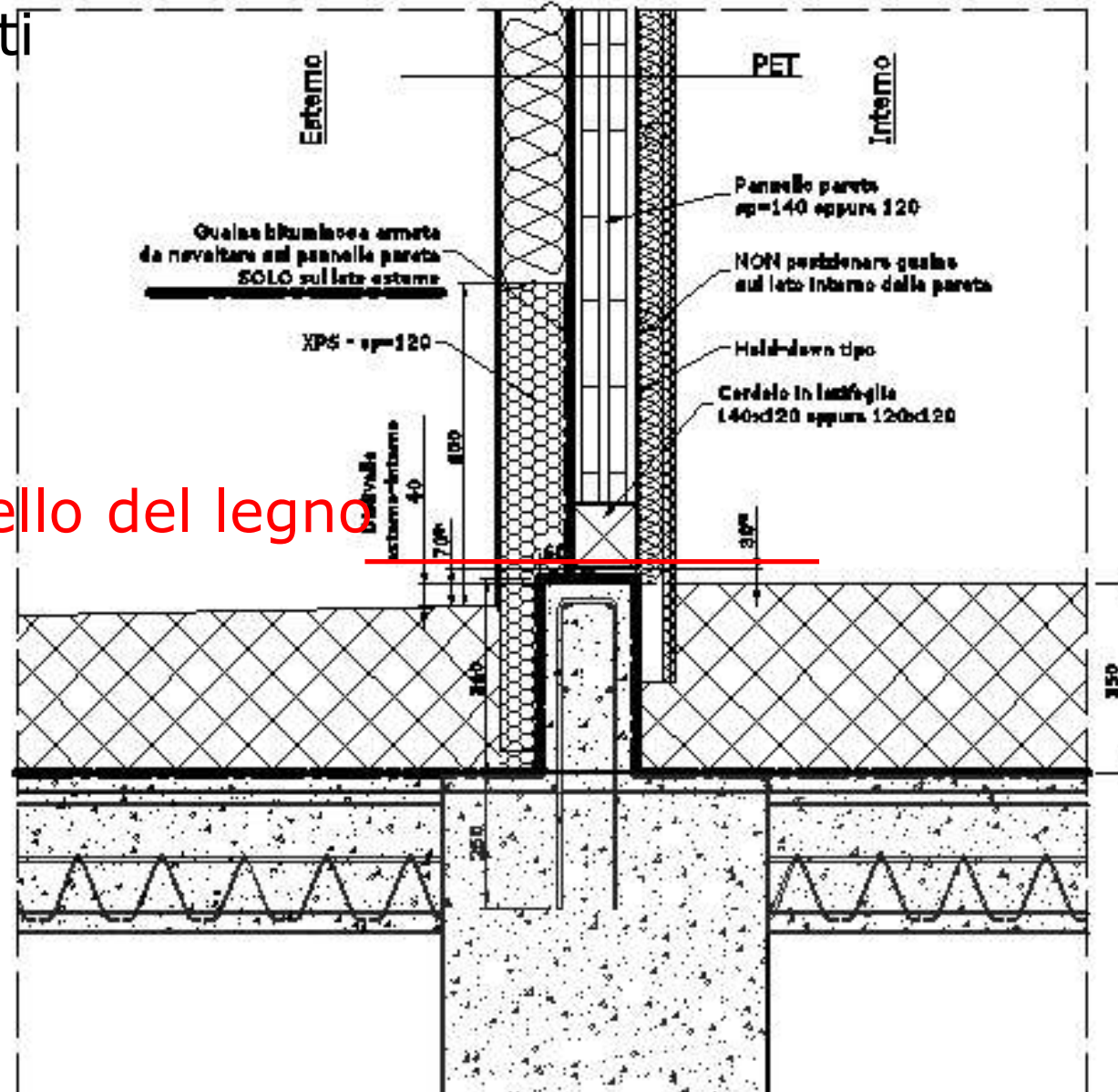




## Attacco a terra pareti



Livello del legno



## Attacco a terra pareti





## Cordolo ventilato



Durabilità – Degrado da funghi



# Attacco a terra - pilastri



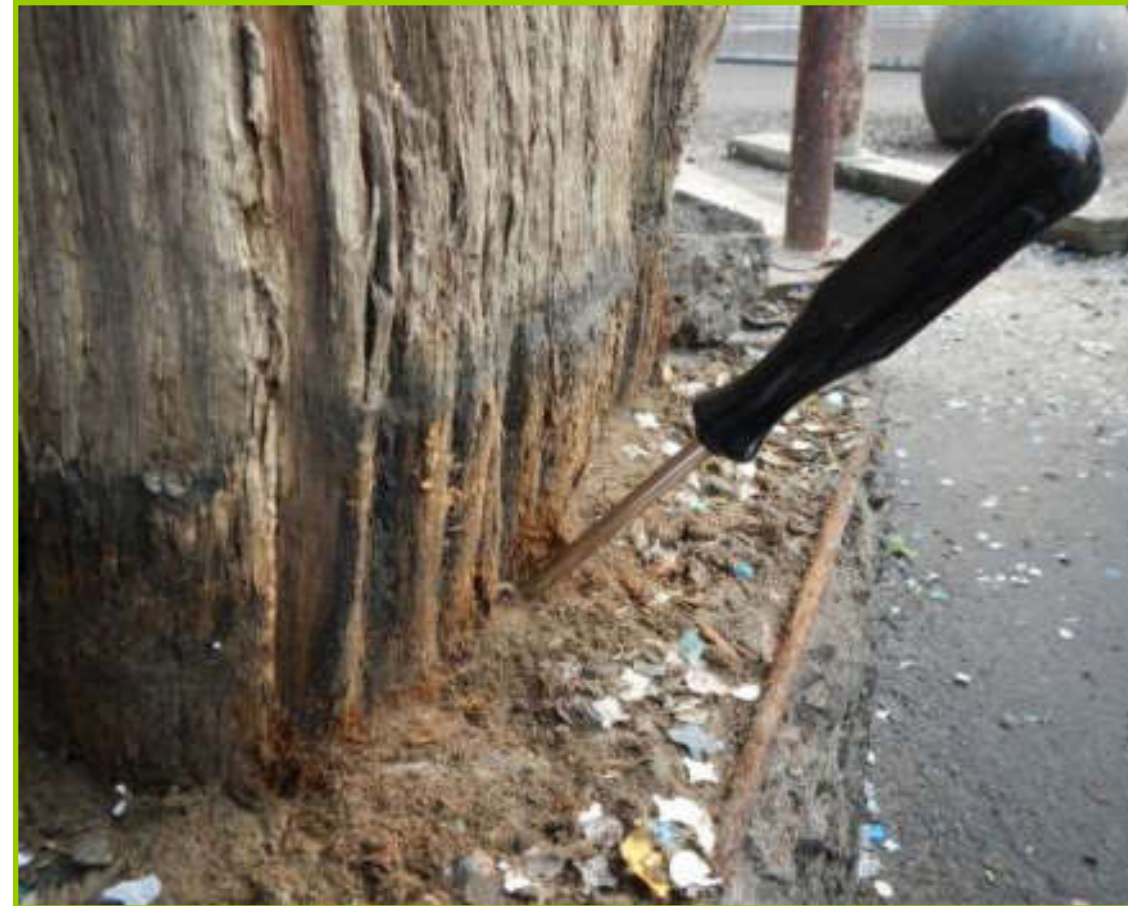


## ▣ Cento (FE)



## ❑ 1272 - Pieve di Cento (BO)

Durabilità – Degrado da funghi





## 2015 - Autostrada A4 Torino Trieste

Durabilità - Degrado da funghi





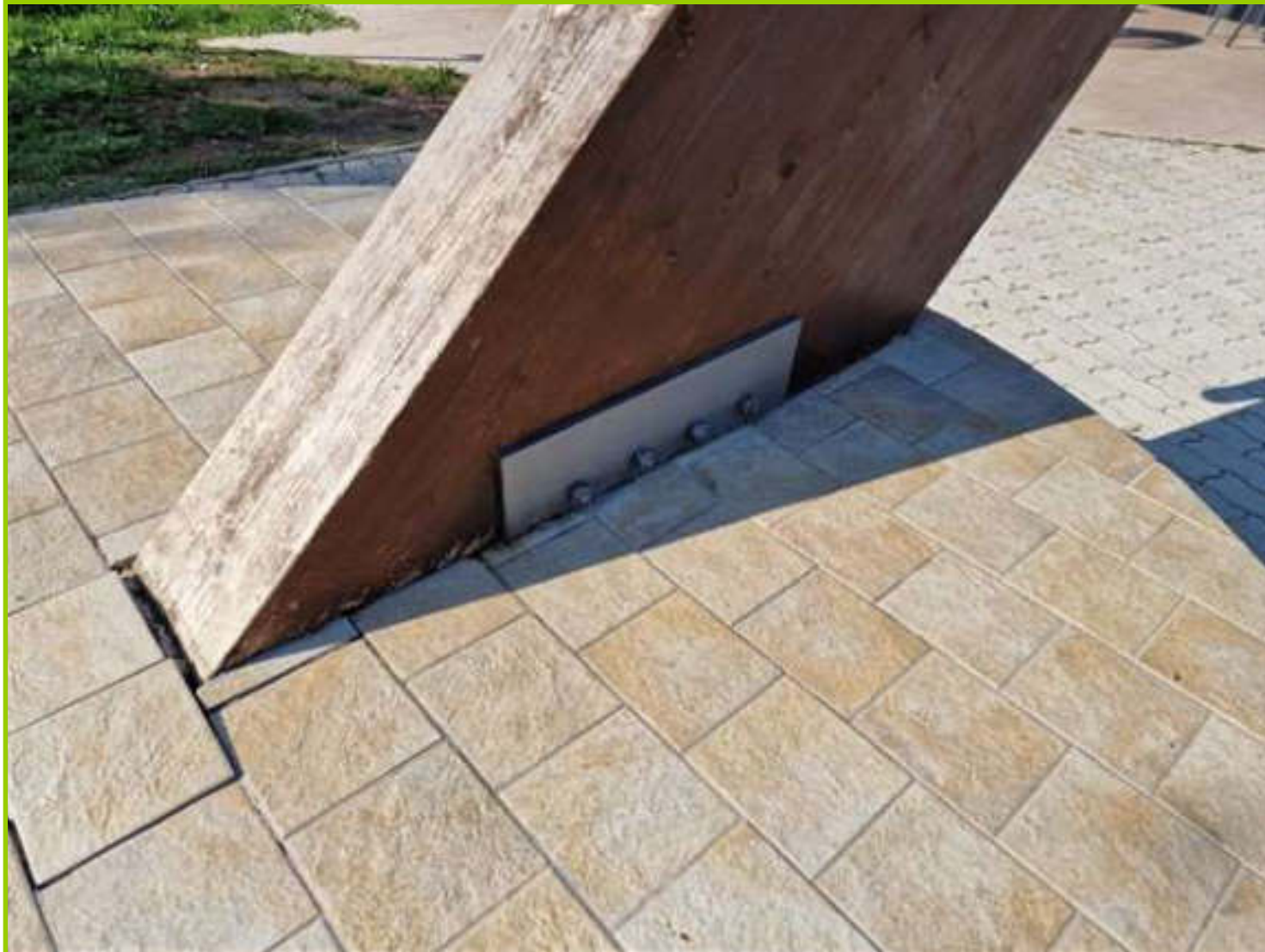
## 2019 – Autostrada A4 Torino Trieste



Durabilità – Degrado da funghi

## ❑ 2022 – Autostrada A4 Torino Trieste

Durabilità – Degrado da funghi





## ❑ Pilastri





## □ Pilastri





## ❑ Pilastri



Durabilità – Degrado da funghi



# Condensa



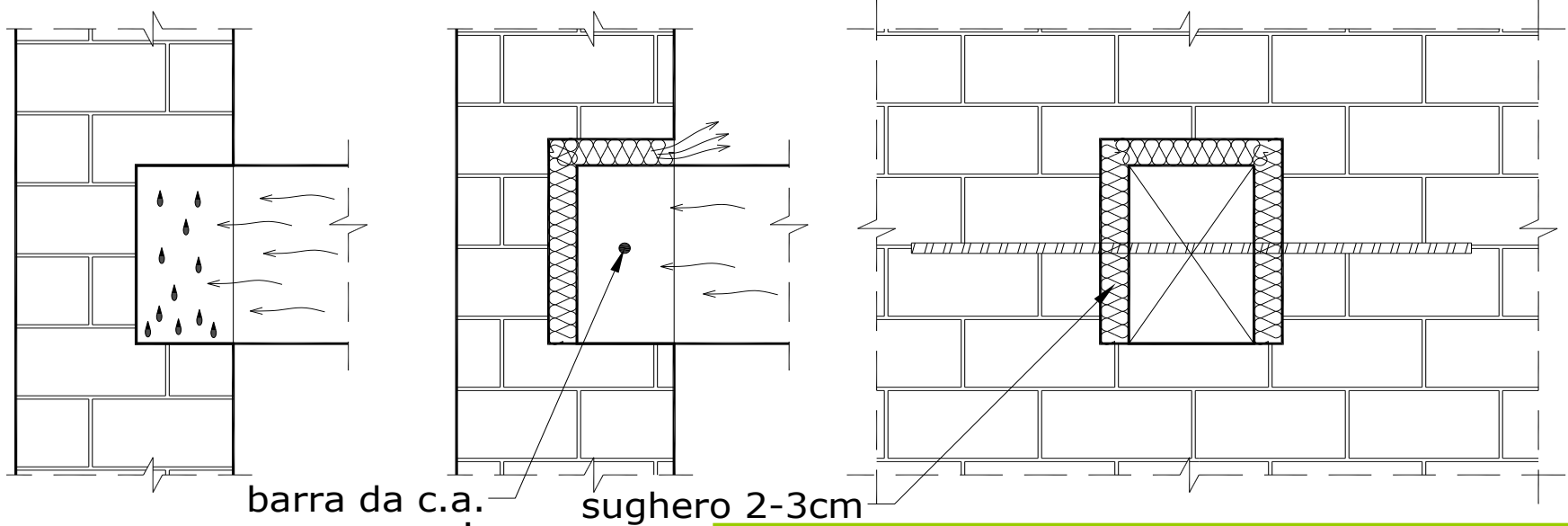
## ❑ Attacco da funghi: carie

Spesso l'attacco fungino avviene all'interno degli elementi lignei senza manifestazioni sull'esterno.

Le zone maggiormente soggette all'attacco sono le parti inserite nelle murature o nei cordoli, in quanto qui manca la ventilazione necessaria allo smaltimento dell'umidità che ristagna.



## Condensa ai ponti termici





## ❑ Condensa



## ❑ Condensa





# Balconi







## ❑ Aggetti

Durabilità – Degrado da funghi





## □ Aggetti



## ❑ Aggetti



## Attacco dei parapetti



Durabilità – Degrado da funghi

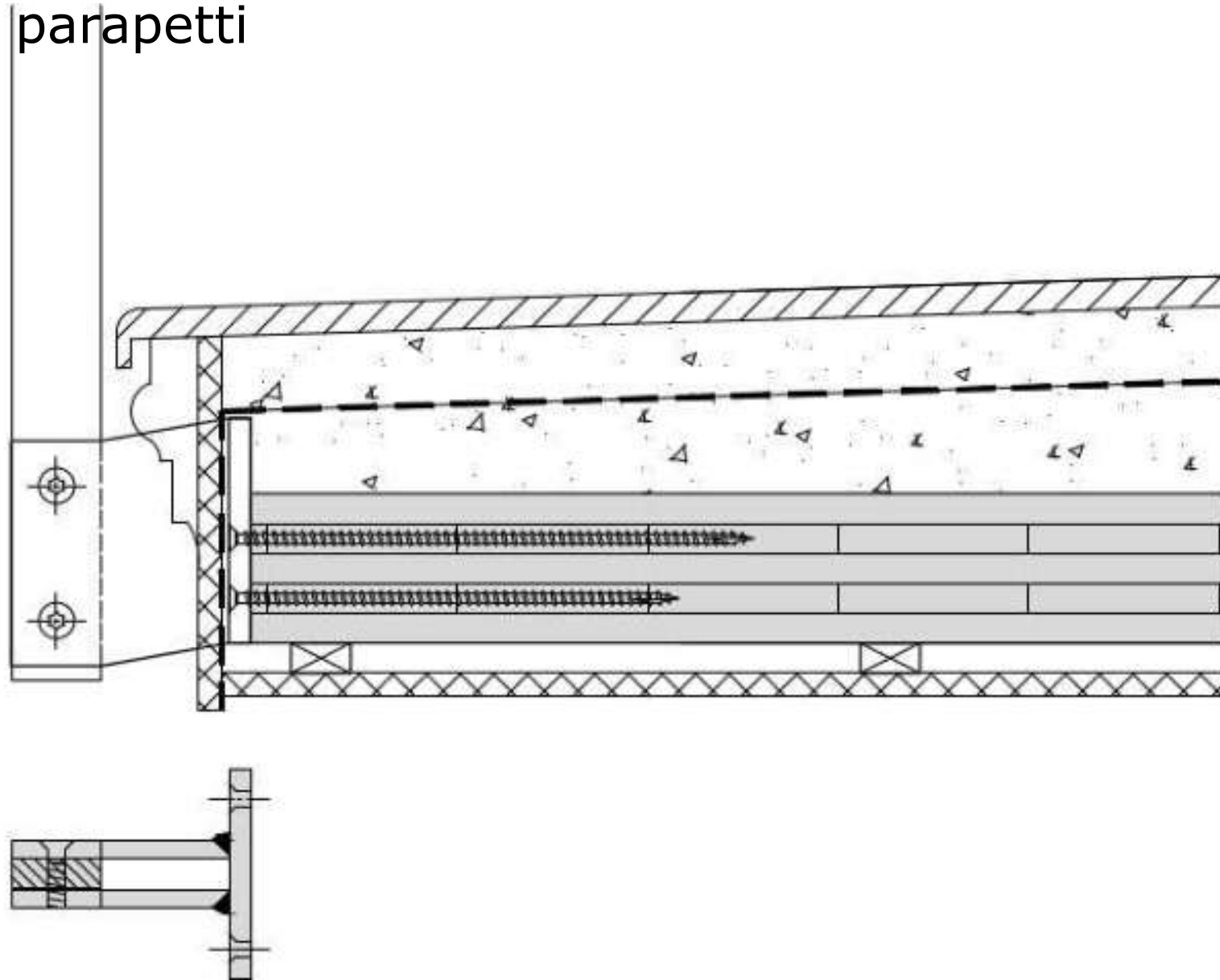
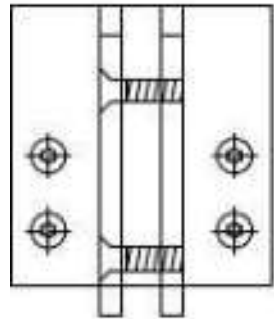
## Attacco dei parapetti



Durabilità – Degrado da funghi



## Attacco dei parapetti



## Attacco dei parapetti



## ❑ Aggetti



Durabilità – Degrado da funghi



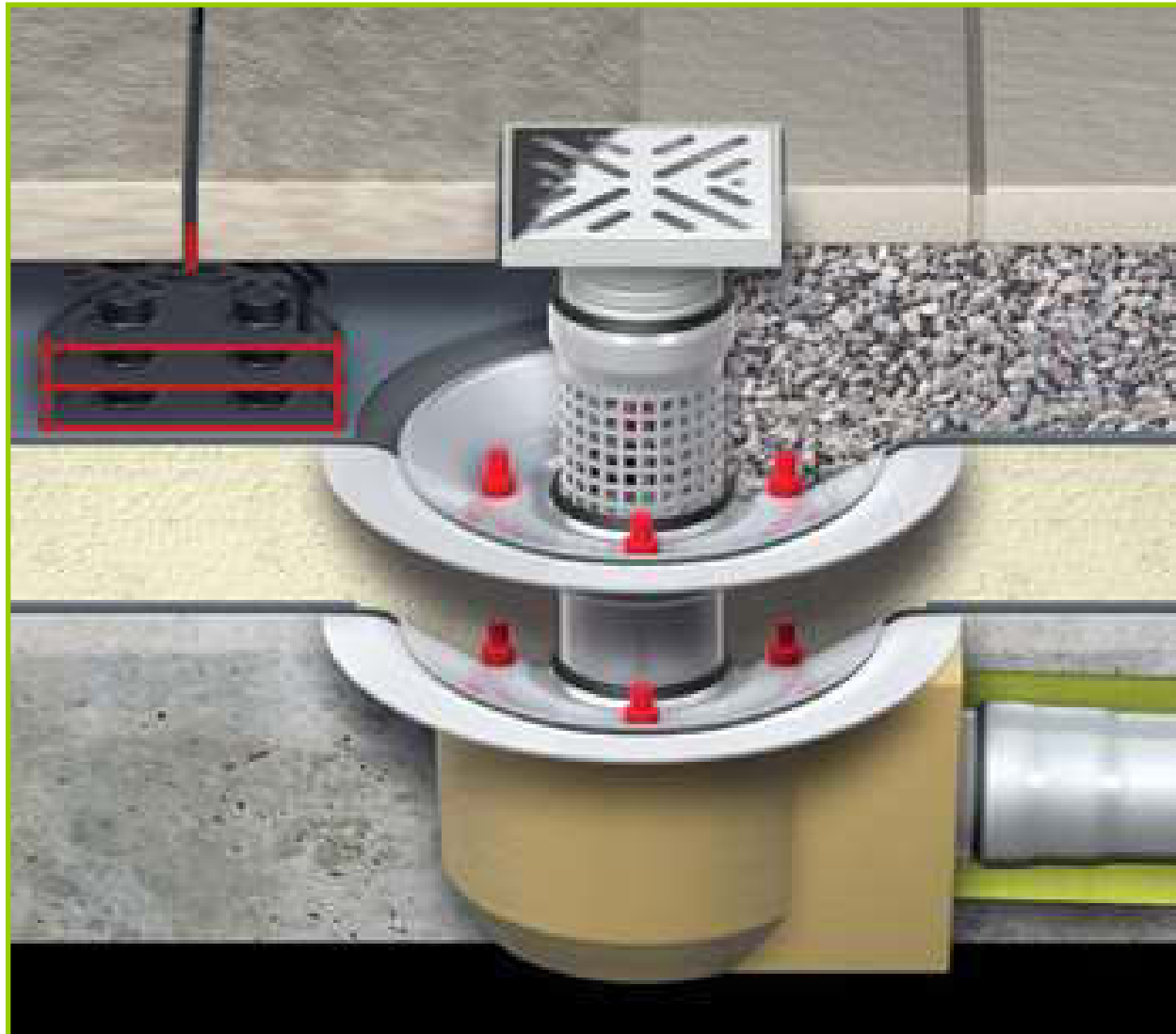


## Aggetti



Durabilità – Degrado da funghi

## ❑ Aggetti



[www.aco.it](http://www.aco.it)



# Terrazzi piani

## ❑ Guaina bituminosa





Durabilità – Degrado da funghi





## ❑ Poliurea



Durabilità – Degrado da funghi



## ❑ Poliolefine



Durabilità – Degrado da funghi



# Davanzali







## ❑ Davanzali



## ❑ Davanzali



## ❑ Davanzali



## ❑ Davanzali





# Bagni



Durabilità – Degrado da funghi





Durabilità – Degrado da funghi





Durabilità – Degrado da funghi



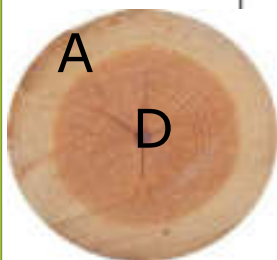


## ❑ Impregnazione in autoclave





EN 350



Numero da EN350-2

Degrado biologico

Nome

Funghi  
(alburno sempre d.5)

Hytotupes

Anobium

Termiti  
(alburno sempre NR)

Impregnabilità

Larghezza alburno cm

dur dur alb dur alb dur dur alb

Conifere

2.1	Abete bianco	4	NR	NR	NR	NR	NR	NR	2-3	2 v	x
2.7	Abete rosso	4	NR	NR	NR	NR	NR	NR	3-4	3 v	x
2.6	Larice	3-4	R	NR	R	NR	NR	NR	4	2 v	2+5
2.12	Pino nero	4 v	R	NR	R	NR	NR	NR	4 v	1 v	>5
2.15	Pino silvestre	3-4	R	NR	R	NR	NR	NR	3-4	1	2+10
2.17	Douglasia	3-4	R	NR	R	NR	NR	NR	4	2-3	2+5
2.18	Cipresso	2	R	NR	R	NR	R	R	nd	nd	nd

Latifoglie

3.22	Castagno	2	R	R	R	NR	MR	MR	4	2	2+5
3.79	Pioppo	5	R	R	R	NR	MR	MR	3 v	1 v	x
3.85	Quercia cerro	3	R	R	R	nd	MR	MR	4	1	>10
3.86	Quercia rovere	2	R	R	R	NR	MR	MR	4	1	2+5
3.89	Robinia	1-2	R	R	R	NR	R	R	4	1	<2
3.104	Olmo	4	R	R	R	NR	NR	NR	2-3	1	2+5

Poco durabile

1 2 3 4 5

Moderatamente durabile

1 2 3 4 5

Durabile

1 2 3 4 5

Poco impregnabile

1 2 3 4

Impregnabile

1 2 3 4

Impregnabile

1 2 3 4



# Il degrado superficiale (weathering)





## □ Aggetti



Durabilità – Degrado superficiale



## □ Aggetti

Durabilità – Degradamento superficiale

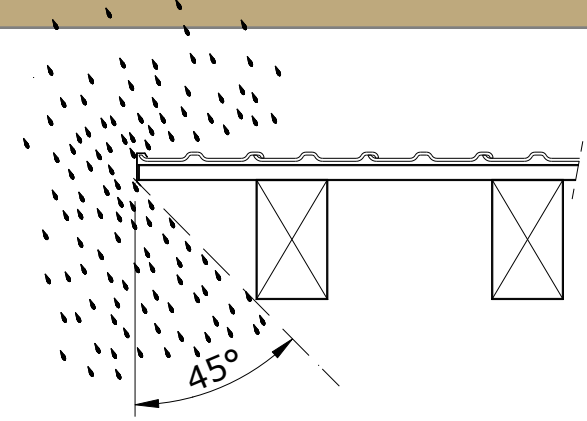
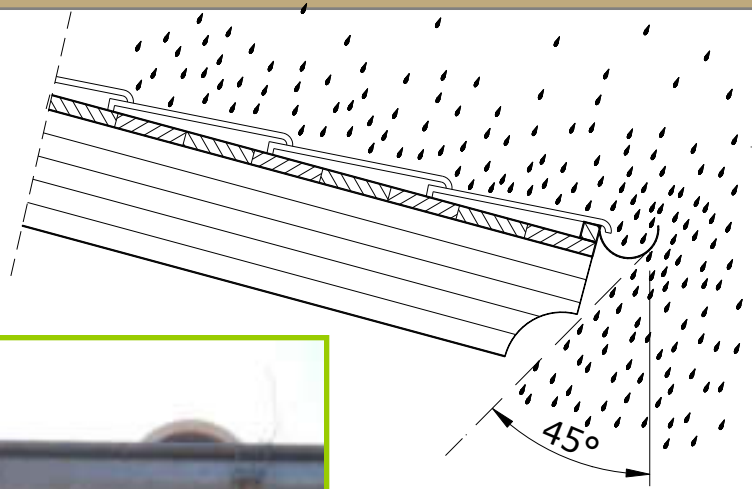


## ❑ Aggetti





## Aggetti





Durabilità – Degradamento superficiale





# Padiglione in Friburgo

2023



2024



Durabilità – Degrado superficiale



Durabilità – Degradamento superficiale



## Vauban (Friburgo)



Durabilità – Degradato superficiale



## □ Aggetti



Durabilità – Degrado superficiale



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





# Indicazioni normative



MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE  
E DEI TRASPORTI

DECRETO 17 gennaio 2014

Aggiornamento delle «Norme tecniche per  
le costruzioni».



#### 4.4.13. DURABILITÀ **NTC18**

In relazione alla classe di servizio della struttura e alle condizioni di carico, dovrà essere predisposto in sede progettuale un programma delle operazioni di manutenzione e di controllo da effettuarsi durante la vita della struttura.

#### 2.2.4. DURABILITÀ' **NTC18**

Un adeguato livello di durabilità può essere garantito progettando la costruzione, e la specifica manutenzione, in modo tale che il degrado della struttura che si dovesse verificare durante la sua vita nominale di progetto non riduca le prestazioni della costruzione al di sotto del livello previsto.

Tale requisito può essere soddisfatto attraverso l'adozione di appropriati provvedimenti stabiliti tenendo conto delle previste condizioni ambientali e di manutenzione ed in base alle peculiarità del singolo progetto, tra cui:

- a) scelta opportuna dei materiali;
- b) dimensionamento opportuno delle strutture;
- c) scelta opportuna dei dettagli costruttivi;
- d) adozione di tipologie costruttive e strutturali che consentano, ove possibile, l'ispezionabilità delle parti strutturali;
- e) pianificazione di misure di protezione e manutenzione; oppure, quando queste non siano previste o possibili, progettazione rivolta a garantire che il deterioramento della costruzione o dei materiali che la compongono non ne causi il collasso;
- f) impiego di prodotti e componenti chiaramente identificati in termini di caratteristiche meccanico-fisico-chimiche, indispensabili alla valutazione della sicurezza, e dotati di idonea qualificazione, così come specificato al Capitolo 11;
- g) applicazione di sostanze o ricoprimenti protettivi dei materiali, soprattutto nei punti non più visibili o difficilmente ispezionabili ad opera completata;
- h) adozione di sistemi di controllo, passivi o attivi, adatti alle azioni e ai fenomeni ai quali l'opera può essere sottoposta.

Le condizioni ambientali devono essere identificate in fase di progetto in modo da valutarne la rilevanza nei confronti della durabilità.



## NTC18

### 11.7.9 DURABILITÀ DEL LEGNO E DERIVATI

#### 11.7.9.1 GENERALITÀ

Al fine di garantire alla struttura adeguata durabilità, si devono considerare i seguenti fattori correlati:

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

Si adotteranno, in fase di progetto, idonei provvedimenti volti alla protezione dei materiali.

Per i materiali trattati con agenti preservanti contro attacchi di tipo biologico si dovrà fare riferimento ai principi generali della UNI EN 15228:2009.





## NTC18

### 11.7.9.2 REQUISITI DI DURABILITÀ NATURALE DEI MATERIALI A BASE DI LEGNO

Il legno ed i materiali a base di legno devono possedere un'adeguata durabilità naturale per la classe di rischio prevista in servizio, oppure devono essere sottoposti ad un trattamento preservante in accordo alla UNI EN 15228:2009.

Inoltre, quale utile riferimento ai fine della valutazione della durabilità dei materiali a base di legno, si precisa quanto segue:

- la norma UNI EN 350-1 fornisce indicazioni sui metodi per la determinazione della durabilità naturale e i principi di classificazione delle specie legnose basati sui risultati di prova;
- la stessa norma UNI EN 350 fornisce una classificazione della durabilità del legno massiccio nei confronti di funghi, coleotteri, termiti e organismi marini;
- la norma UNI EN 460 fornisce una guida alla scelta delle specie legnose in base alla loro durabilità naturale nelle classi di rischio così come definite all'interno della UNI EN 335;
- la norma UNI EN 335 fornisce una guida per l'applicazione del sistema delle classi di rischio secondo le definizioni fornite nella norma stessa.

Le specifiche relative alle prestazioni dei preservanti per legno ed alla loro classificazione ed etichettatura sono indicate nelle norme UNI EN 599-1 e UNI EN 599-2.

### C11.7.10.2 CONTROLLI DI ACCETTAZIONE IN CANTIERE

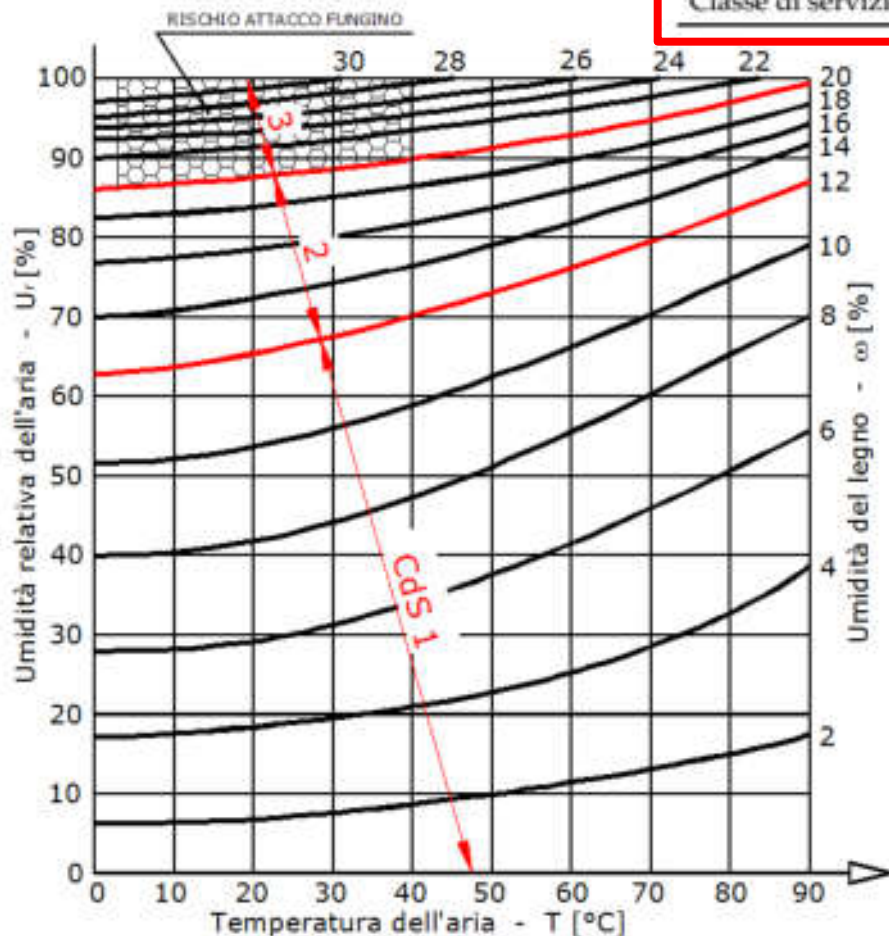
In relazione ad elementi lineari o planari che devono essere incorporati in pacchetti costruttivi atti a definire la stratigrafia di strutture opache orizzontali, verticali e coperture assemblate in situ, non ventilati, il Direttore Lavori è opportuno che provveda ad assicurarsi che l'umidità degli elementi 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.

## 2.2.4. DURABILITA'

a) scelta opportuna dei mater

Tab. 4.4.II - Classi di servizio

Classe di servizio 1	È caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20 °C e un'umidità relativa dell'aria circostante che non superi il 65%, se non per poche settimane all'anno.
Classe di servizio 2	È caratterizzata da un'umidità del materiale in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20 °C e un'umidità relativa dell'aria circostante che superi l'85% solo per poche settimane all'anno.
Classe di servizio 3	È caratterizzata da umidità più elevata di quella della classe di servizio 2.



### NTC18 Circolare

Classe di servizio 1: elementi in ambiente chiuso e riscaldato;

Classe di servizio 2: elementi in ambiente interno non riscaldato, elementi in ambiente esterno protetti dall'esposizione diretta agli agenti atmosferici;

Classe di servizio 3: elementi in ambiente esterno esposti direttamente agli agenti atmosferici.

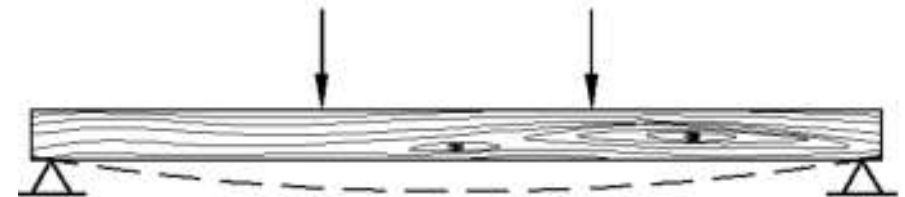
**Classe di servizio 3 =**

**Umidità di equilibrio del legno >20% =**

**Rischio di attacco fungino (marcescenza)  
in un tempo più o meno rapido in funzione  
della classe di durabilità**



# Comportamento meccanico del legno

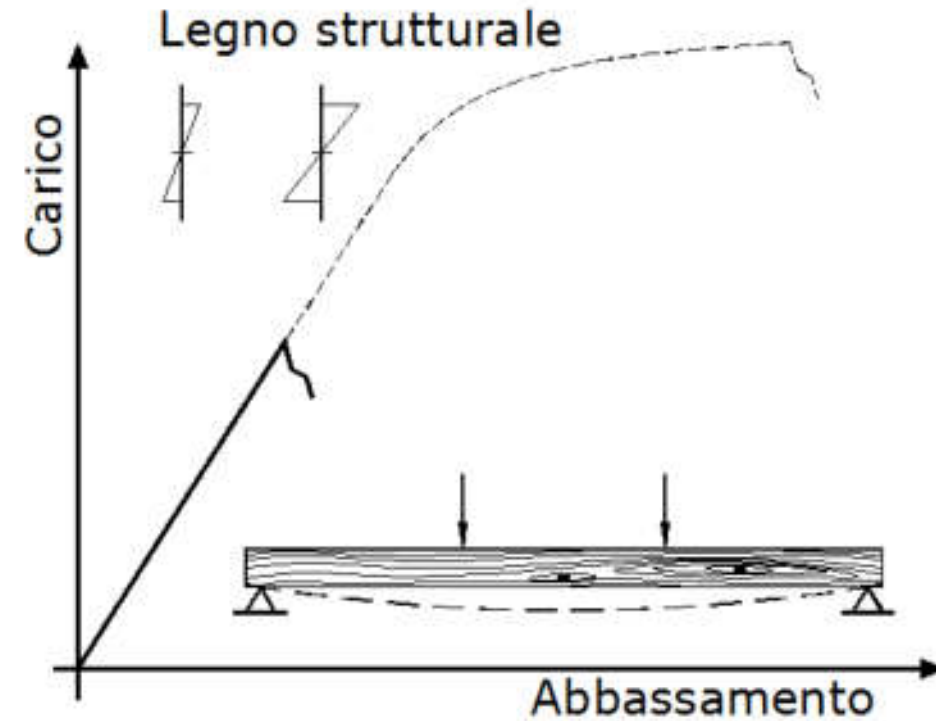
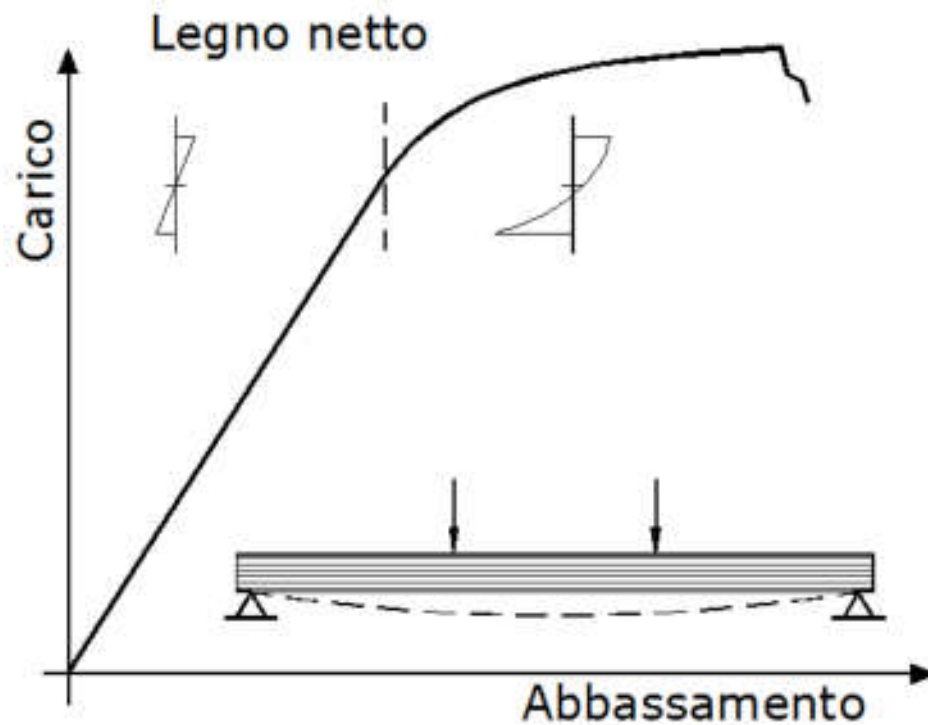


- ❑ La resistenza (caratteristiche meccaniche) del legno non dipende dal materiale base ma da i difetti contenuti nell'elemento costruttivo

Comportamento meccanico del legno



## Legno netto e legno strutturale





## □ Nodi

Nodo isolato



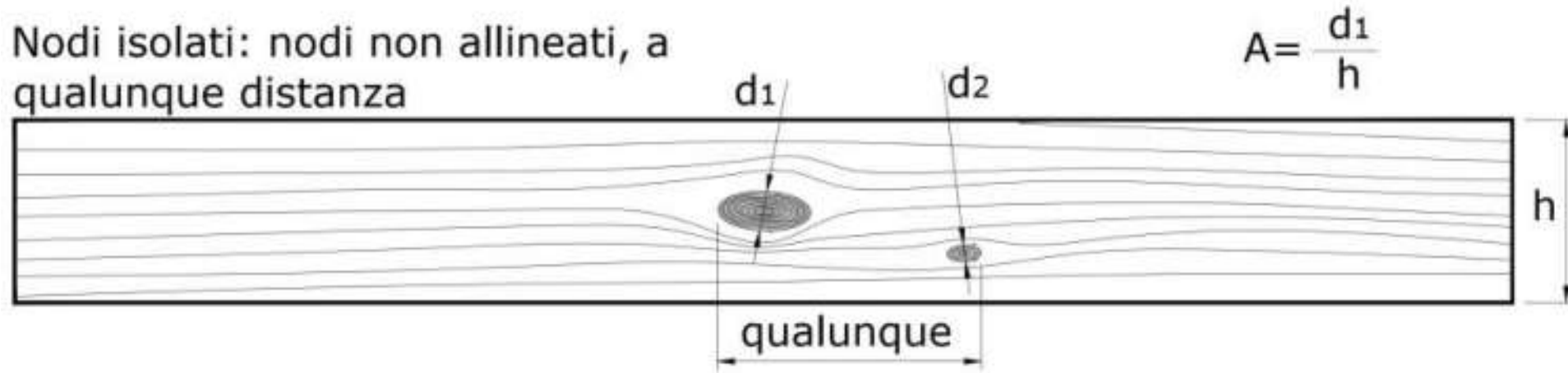
$$A = \frac{d}{h} = 1/4$$



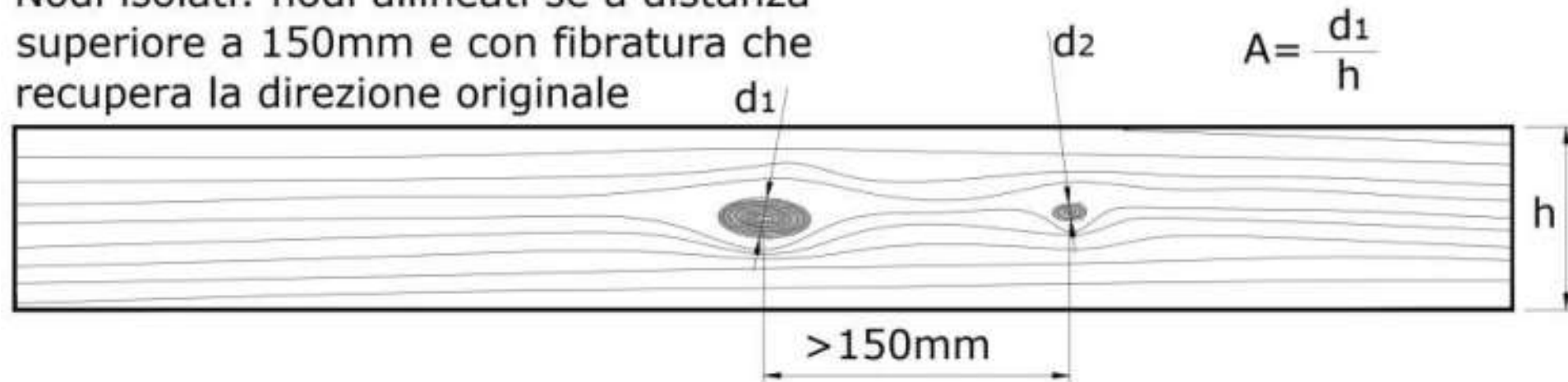
$$A = \frac{d}{h} = 1/2$$

## □ Nodi (regola della UNI 11035)

Nodi isolati: nodi non allineati, a qualunque distanza

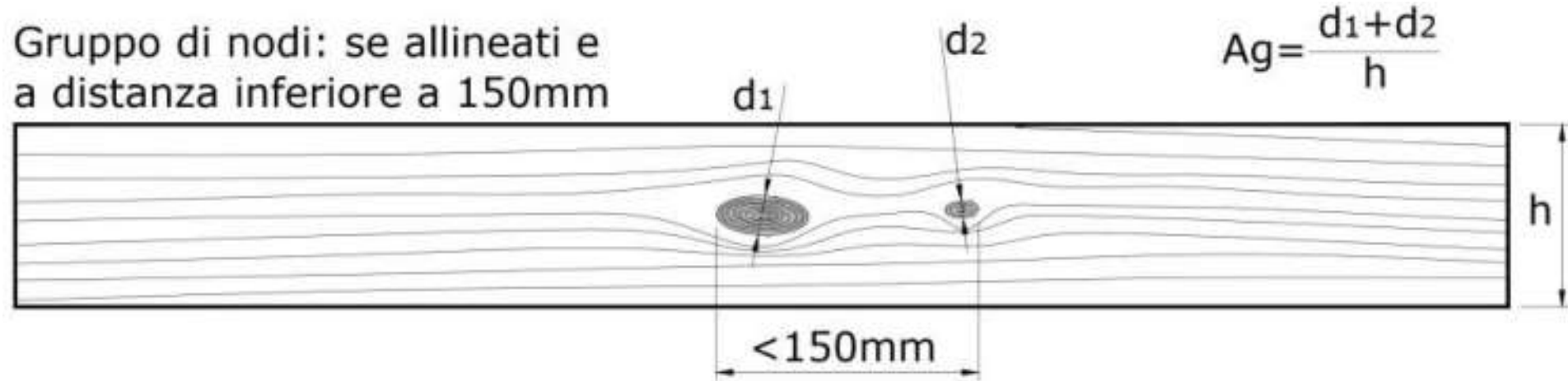


Nodi isolati: nodi allineati se a distanza superiore a 150mm e con fibratura che recupera la direzione originale

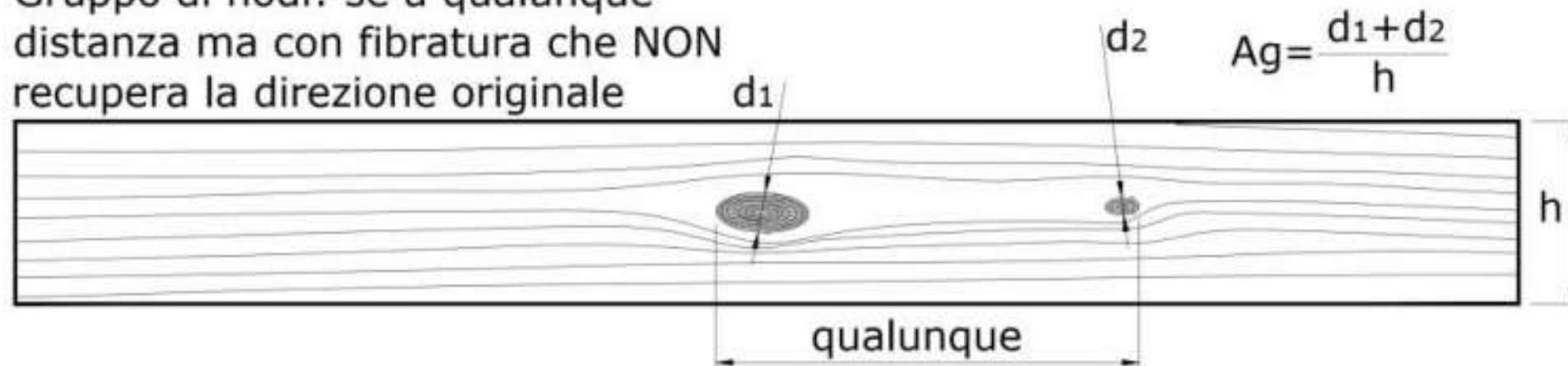


## □ Nodi (regola della UNI 11035)

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

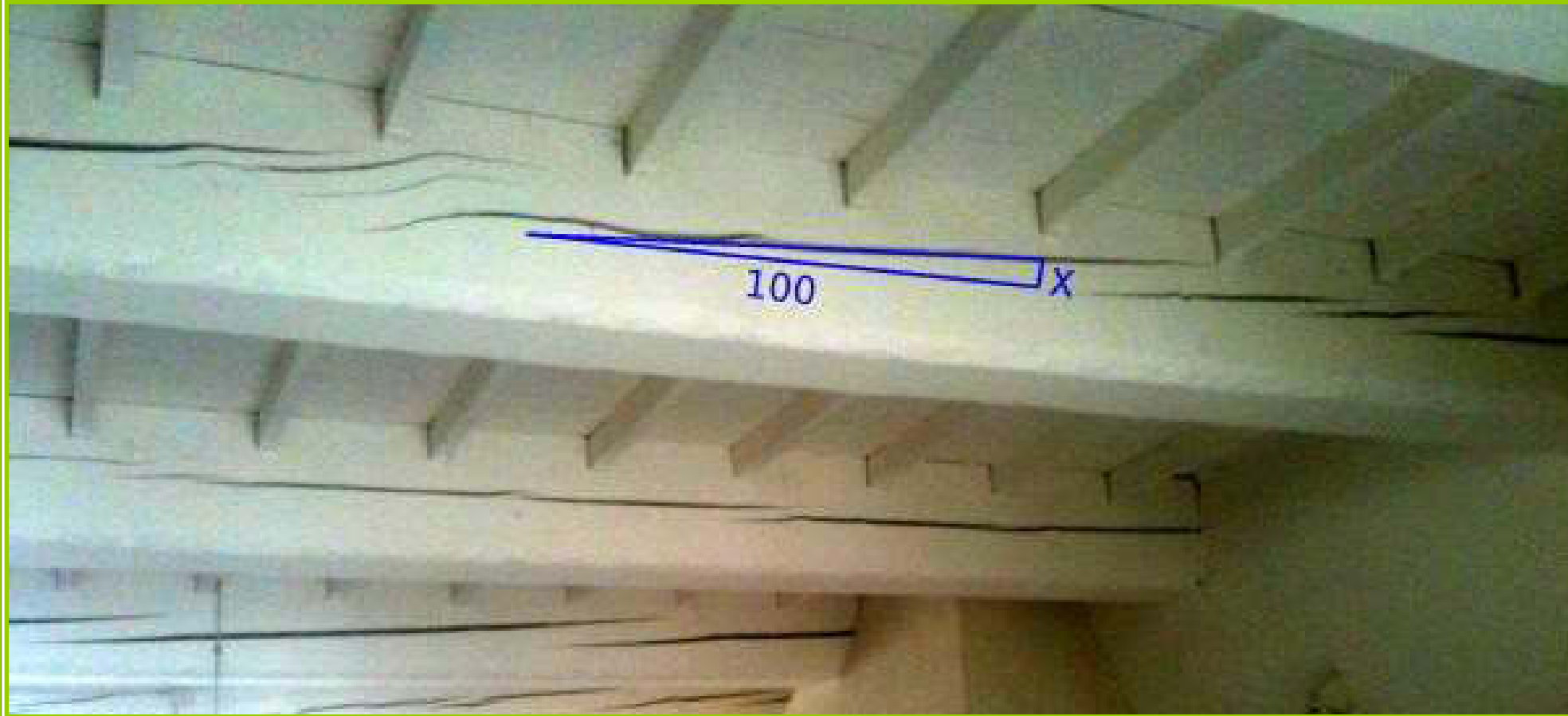


Gruppo di nodi: se a qualunque distanza ma con fibratura che NON recupera la direzione originale





## ❑ Deviazione della fibratura

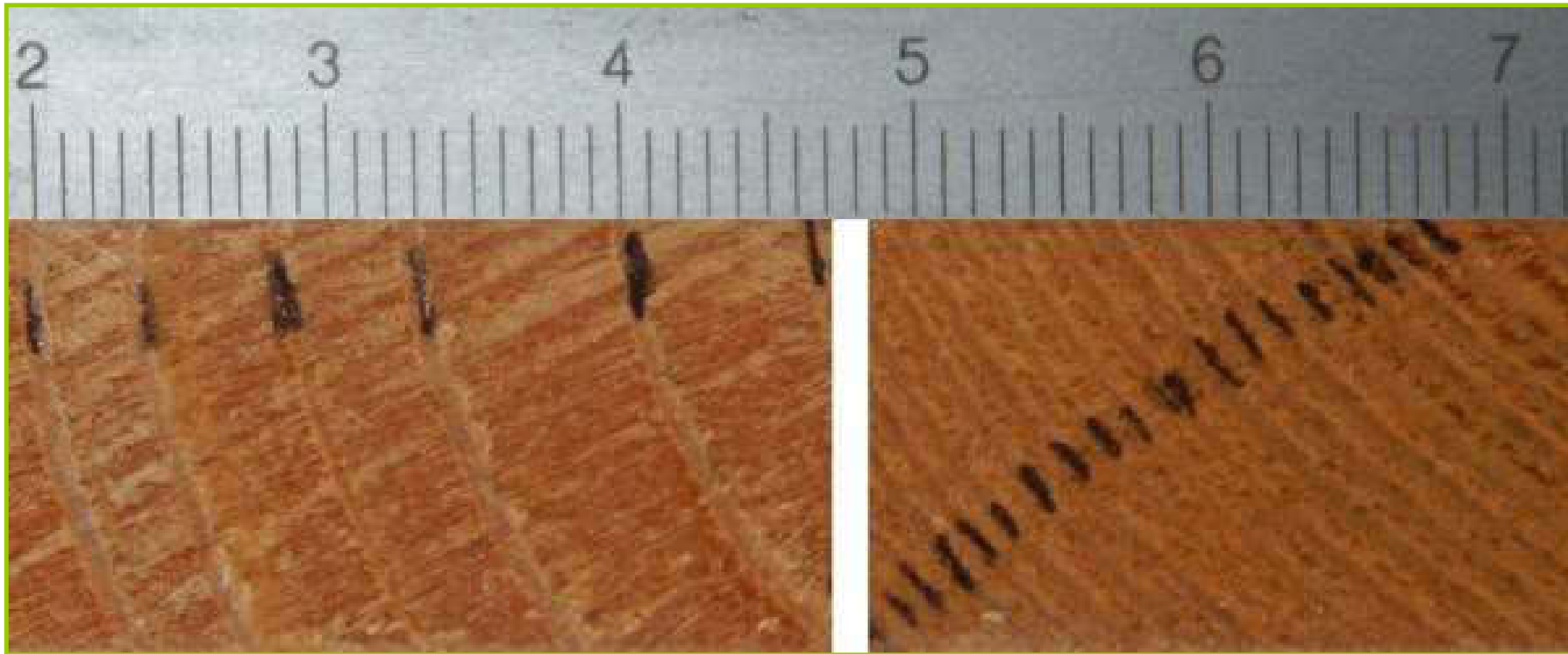


## ❑ Cipollatura

Proprietà meccaniche – Classificazione



## □ Spessore anelli (massa volumica)





## Regole di classificazione

UNI 11035  
per legnami  
italiani

"Conifere 1"

Criteri per la classificazione	Categorie		
	S1	S2	S3
Smussi <sup>1)</sup>	$s \leq 1/4$	$s \leq 1/3$	$s \leq 1/3$
Nodi singoli <sup>2)</sup>	$A \leq 1/5$ e comunque $d < 50$ mm	$A \leq 2/5$ e comunque $d < 70$ mm	$A \leq 3/5$
Nodi raggruppati <sup>3)</sup>	$A_g \leq 2/5$	$A_g \leq 2/3$	$A_g \leq 3/4$
Ampiezza anelli	$\leq 6$ mm	$\leq 15$ 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 <sup>6)</sup> ammessa con limitazioni <sup>4)</sup> 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 <sup>5)</sup>	
Vischio	non ammesso		
Deformazioni: - arcuatura	10 mm ogni 2 m di lunghezza		20 mm ogni 2 m di lunghezza

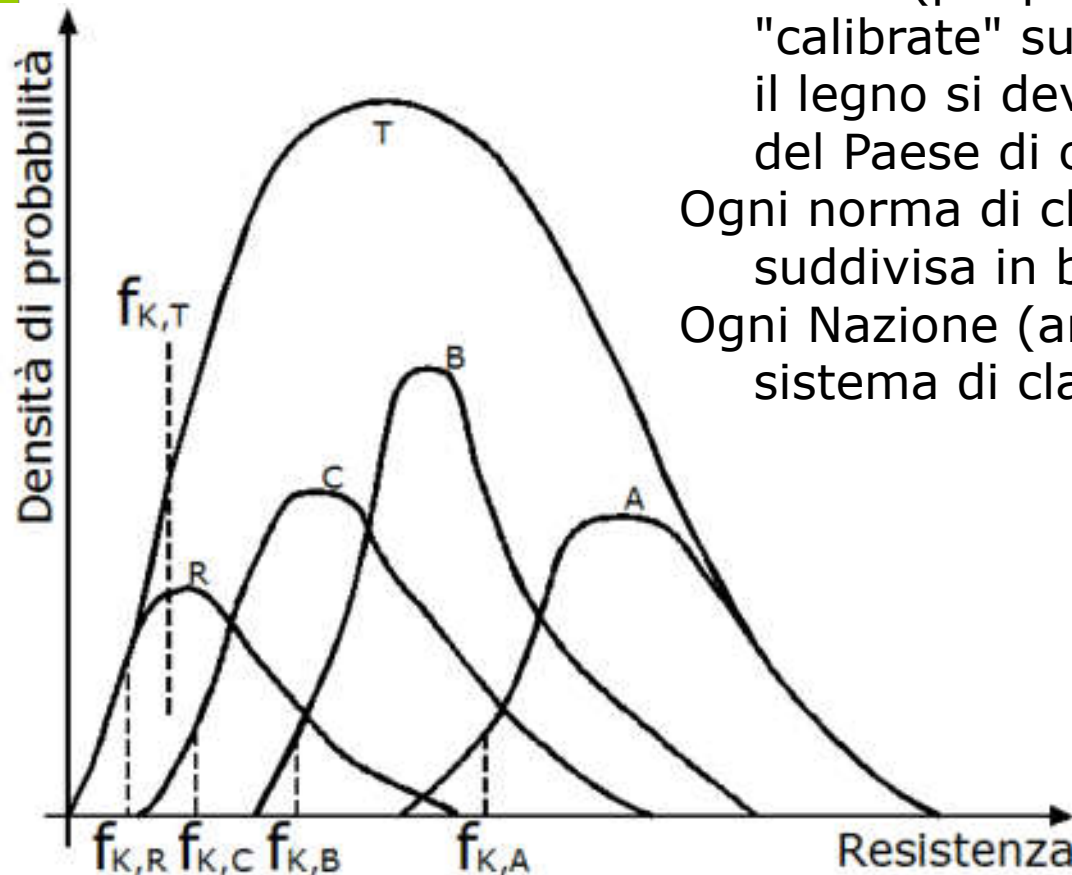
## Regole di classificazione

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	<i>Tipo di legno</i>		
	categoria (norma nazionale)	specie legnosa	provenienza
<b>C30</b>	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
<b>C24</b>	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 Paraná	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	
<b>Proprietà di resistenza in N/mm<sup>2</sup></b>					
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	
<b>Proprietà di rigidezza in N/mm<sup>2</sup></b>					
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	
<b>Massa volumica in kg/m<sup>3</sup></b>					
Massa volumica	$\rho_k$	350	360	380	
Massa volumica media	$\rho_{mean}$	420	430	460	



## □ 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)
  - Conifere e pioppo:  
C14, C16, C18, C22, C24, C27,  
C30, C35, C40, C45, C50.
  - Altre latifoglie:  
D18, D24, D30, D35, D40, D50,  
D60, D70.
- 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**



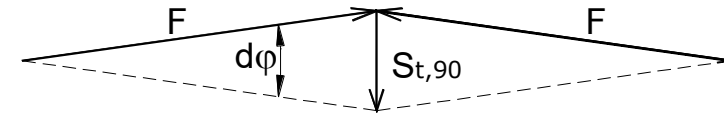
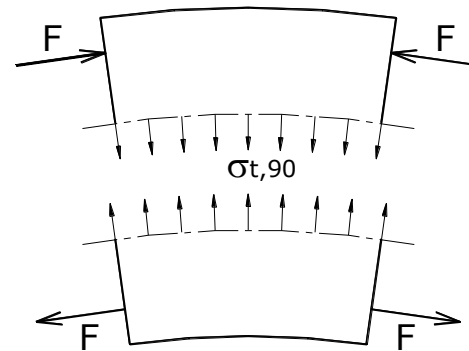
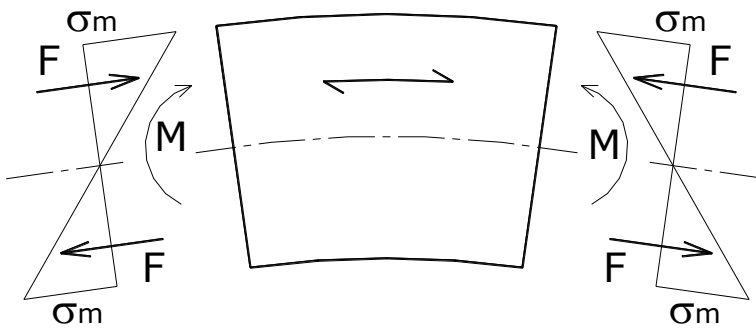
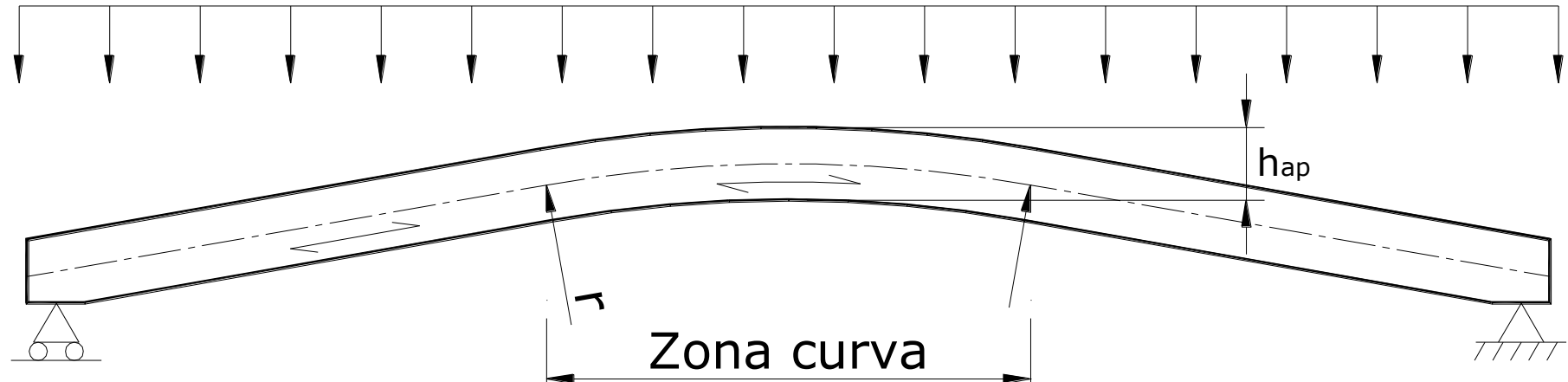
EN 13353:2009 rende obbligatoria la  
marcatatura CE per i pannelli di legno  
massiccio a strati incrociati



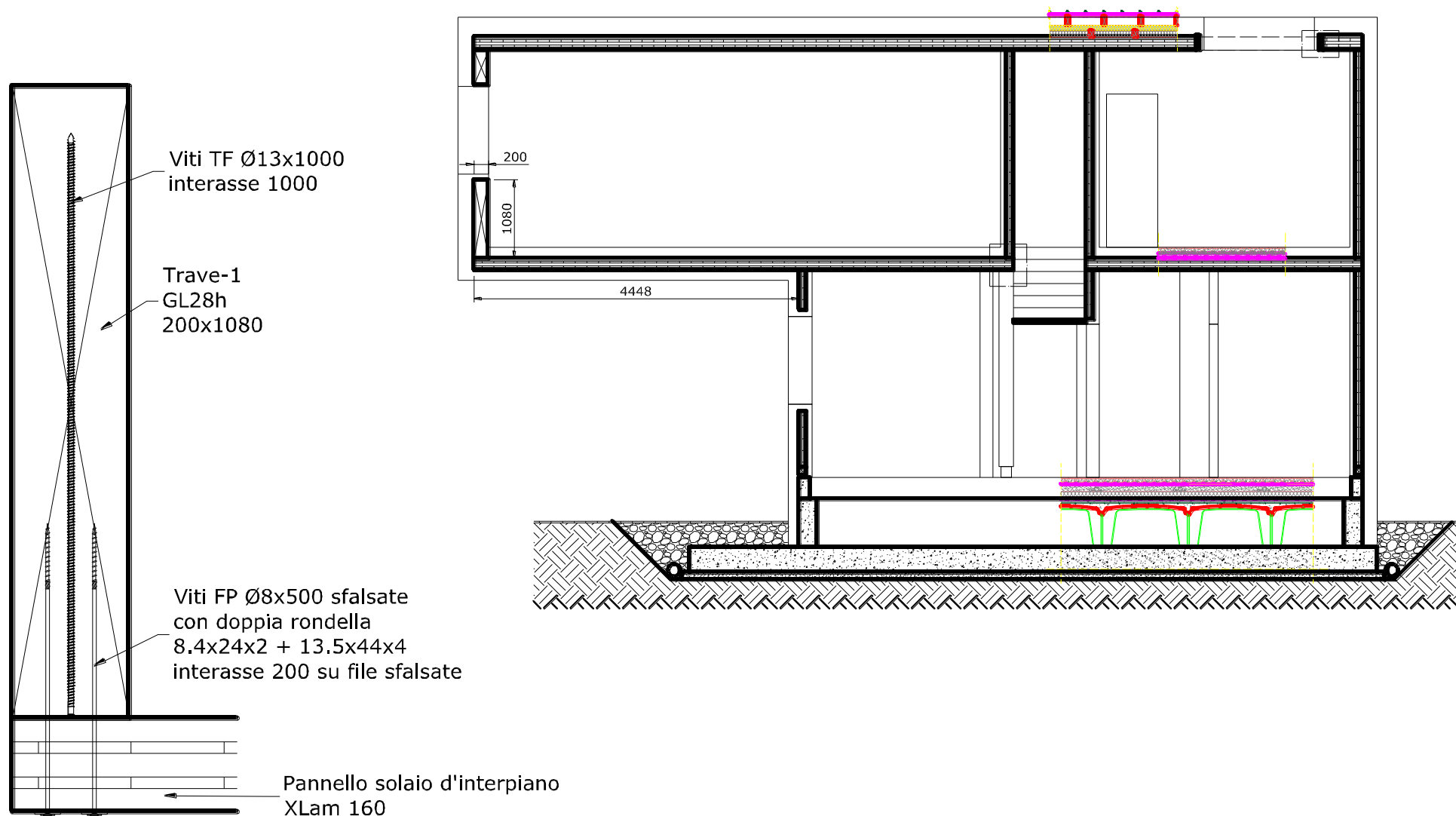
## □ Analogia degli spaghetti



## □ Trazione ortogonale nelle travi curve



## □ Trazione ortogonale





## □ Trazione ortogonale





# 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:

### 11.7.10.1 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

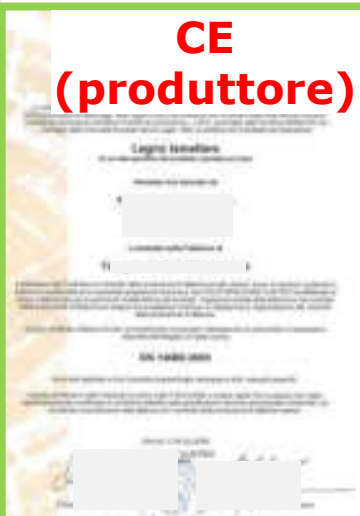
Tutte le forniture di legno strutturale devono essere accompagnate da:

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;

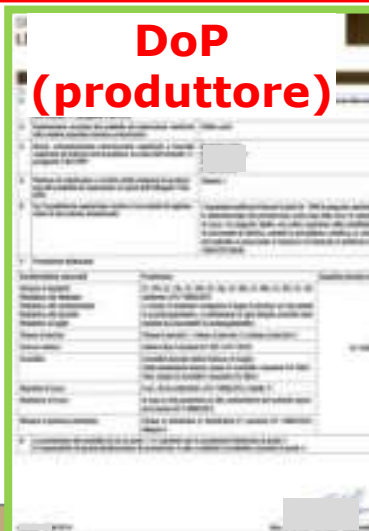
Nel caso di prodotti provenienti da un centro di lavorazione:

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.**

#### CE (produttore)

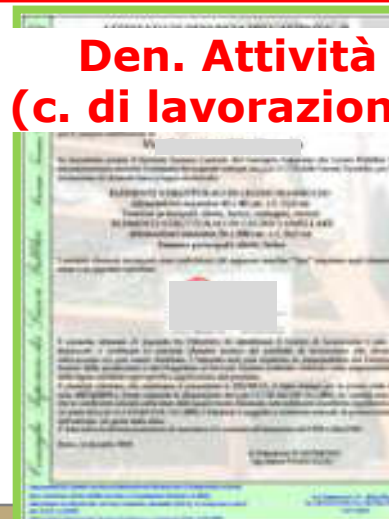


#### DoP (produttore)

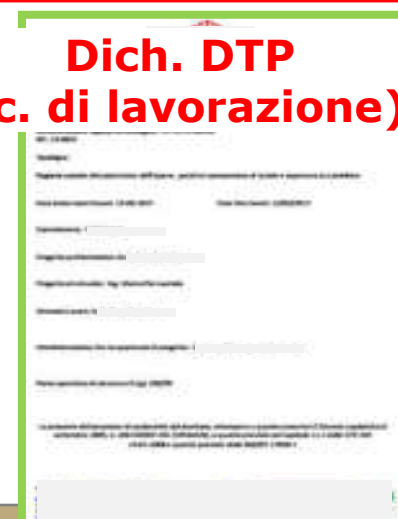


+

#### Den. Attività (c. di lavorazione)



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

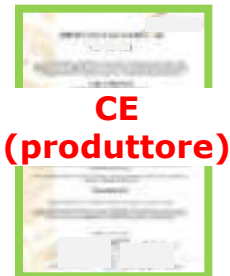




La **Dichiarazione del Direttore Tecnico della Produzione**, detta anche Dichiarazione di conformità del Fornitore o del Centro di Trasformazione, deve contenere:

- 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).

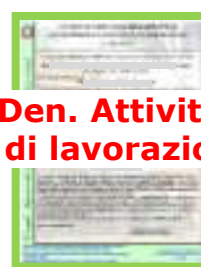
**E' il documento più importante:  
il DTP si assume la responsabilità della  
provenienza dei materiali utilizzati.**



**CE  
(produttore)**

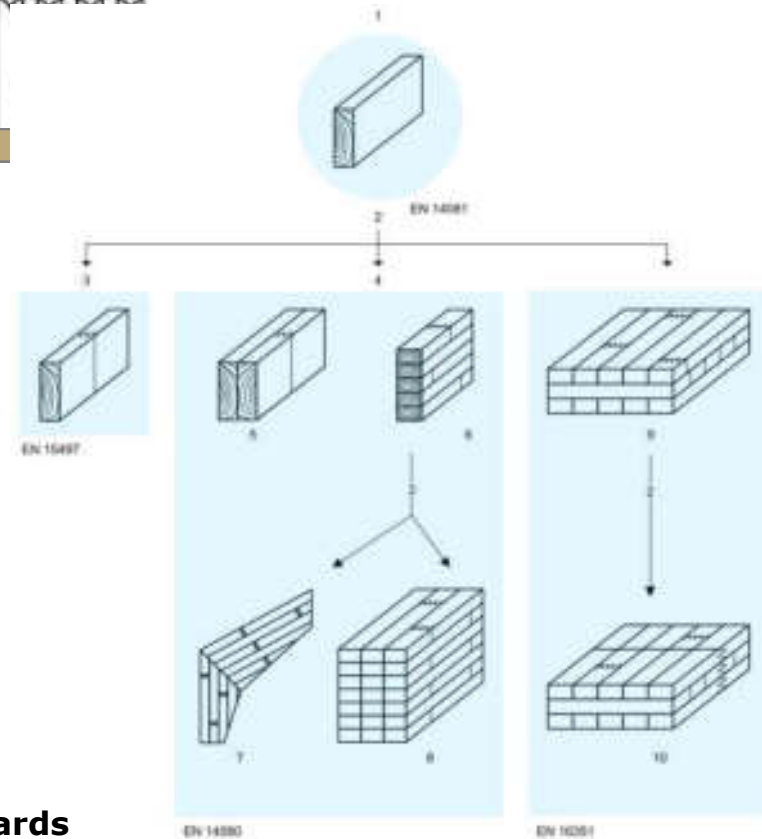


**DoP  
(produttore)**



**Den. Attività  
(c. di lavorazione)**





#### 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

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.

## 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

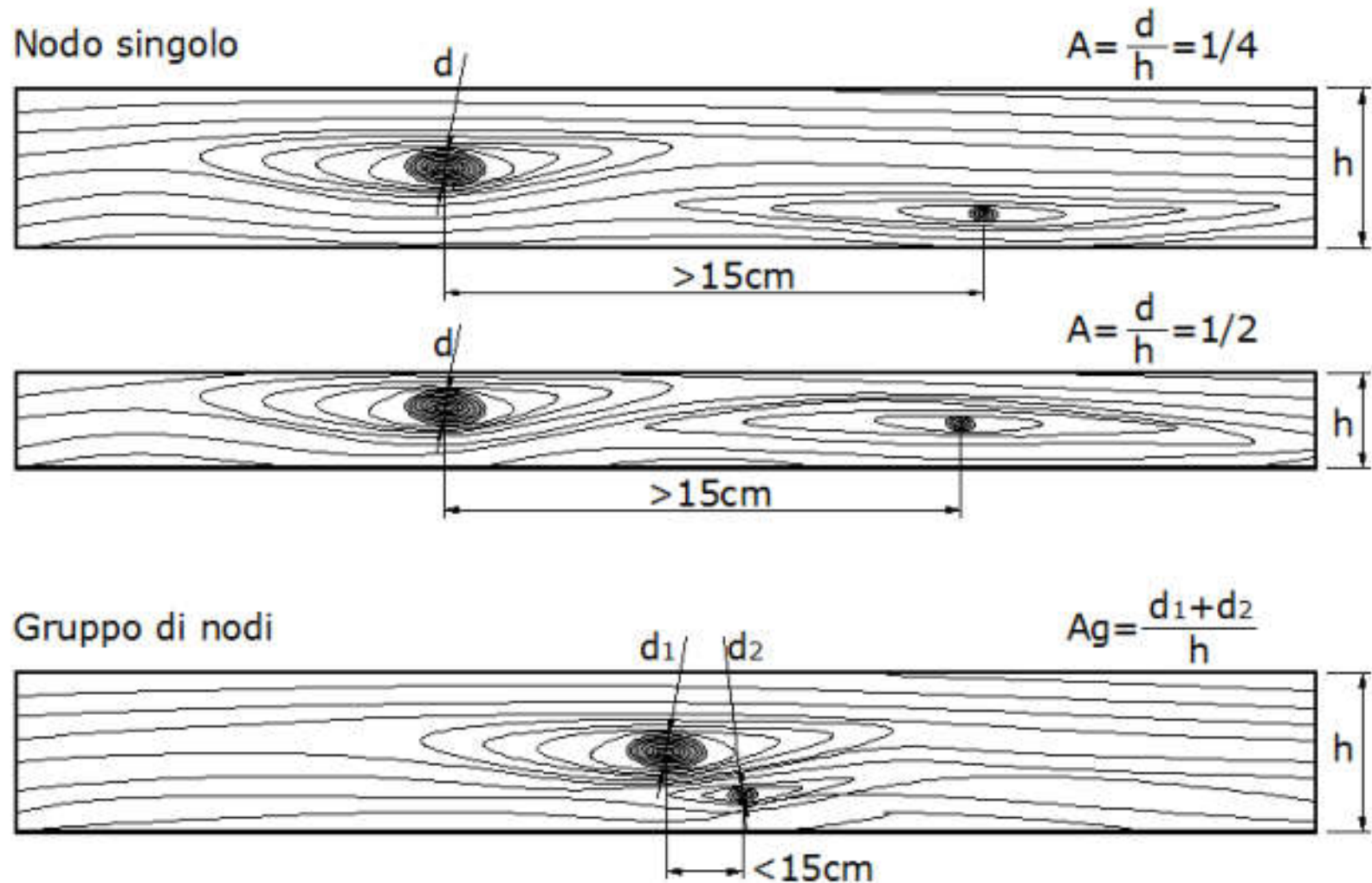
#### **Legno massiccio classificato a macchina:**

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



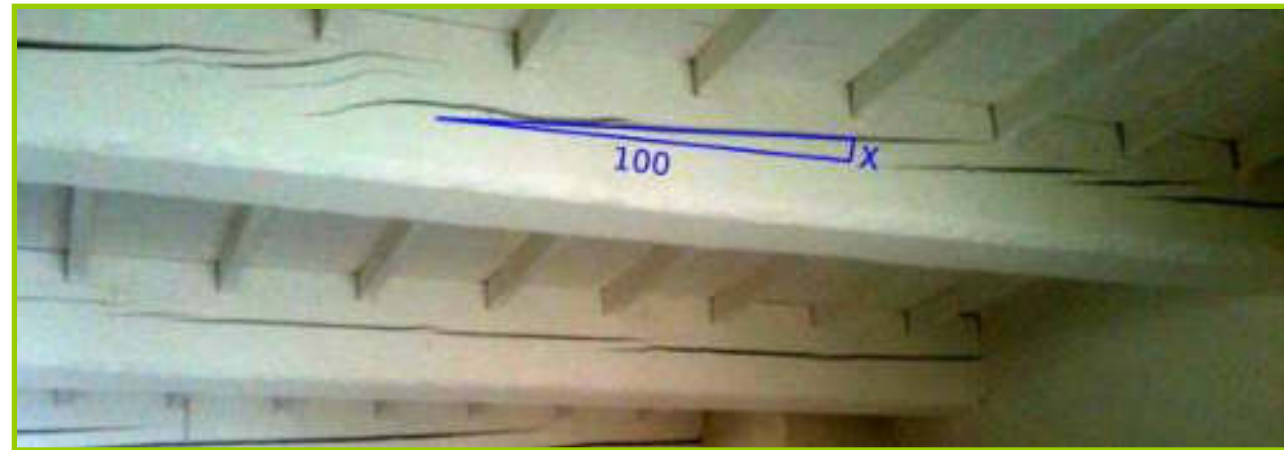
## Classificazione a vista:

### □ Nodi

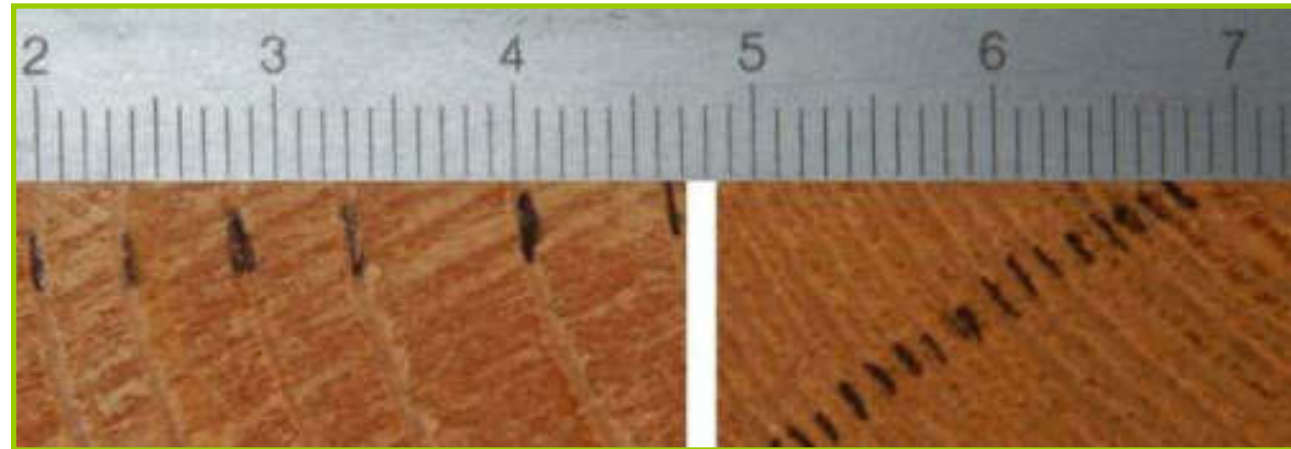


## Classificazione a vista:

❑ Deviazione della fibratura



❑ Spessore anelli (massa volumica)



❑ Cipollatura, tasche di resina, smussi, ecc.



## Classificazione a vista:

"Conifere 1"

Criteri per la classificazione	Categorie		
	S1	S2	S3
Smussi <sup>1)</sup>	$s \leq 1/4$	$s \leq 1/3$	$s \leq 1/3$
Nodi singoli <sup>2)</sup>	$A \leq 1/5$ e comunque $d < 50$ mm	$A \leq 2/5$ e comunque $d < 70$ mm	$A \leq 3/5$
Nodi raggruppati <sup>3)</sup>	$A_g \leq 2/5$	$A_g \leq 2/3$	$A_g \leq 3/4$
Ampiezza anelli	$\leq 6$ mm	$\leq 15$ 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 <sup>6)</sup> ammessa con limitazioni <sup>4)</sup> 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 <sup>5)</sup>	
Vischio	non ammesso		
Deformazioni: - arcuatura	10 mm ogni 2 m di lunghezza		20 mm ogni 2 m di lunghezza



## 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

Festigkeitprüfung von Keilbolzverbindungen nach EN 408

Arbeitsnummer	Verbindungsart	Profilart	Höhe mm	Breite mm	Stk./Stk.	Stk./Pro	Prüfart	L-Prüfung	Werkstoff	σ <sub>1</sub> %	σ <sub>2</sub> %	A <sub>1</sub> %	Bezeichnung	Prüfart
4757	20/02/18	20/02/18	44,6	137	3/13	0/13	31,79	21,75	11,1	39	70	3	B	B
4759	20/02/18	20/02/18	44,7	200	3/13	0/13	31,72	18,11	10,0	40	42	3	B	B
4800	20/02/18	20/02/18	44,6	200	3/13	0/13	46,41	16,59	11,8	40	32	4	B	B
4802	20/02/18	20/02/18	44,7	200	3/13	0/13	30,81	48,44	10,1	30	32	4	B	B
4888	20/02/18	20/02/18	44,6	188	3/13	0/13	21,28	22,94	10,9	3	100	0	B	B
4903	20/02/18	20/02/18	44,4	170	3/13	0/13	19,07	35,03	11,1	3	100	0	B	B
4798	20/02/18	20/02/18	44,5	210	3/13	0/13	24,25	34,04	8,8	3	100	0	B	B
4853	20/02/18	20/02/18	44,5	200	3/13	0/13	33,71	40,79	10,1	30	30	0	B	B
4805	20/02/18	20/02/18	44,5	210	3/13	0/13	24,25	34,04	8,8	3	100	0	B	B
4815	20/02/18	20/02/18	44,5	190	3/13	0/13	28,21	40,94	10,2	3	100	0	B	B
4803	20/02/18	20/02/18	44,5	150	3/13	0/13	18,75	38,11	10,7	3	100	0	B	B
4818	20/02/18	20/02/18	44,5	190	3/13	0/13	18,75	43,89	9,8	3	100	0	B	B
4818	20/02/18	20/02/18	44,6	188	3/13	0/13	38,52	38,59	11,8	3	100	0	B	B
4818	20/02/18	20/02/18	44,7	190	3/13	0/13	39,66	47,33	11,3	44	20	0	B	B
4900	20/02/18	20/02/18	44,7	188	3/13	0/13	33,87	48,77	8,8	40	30	0	B	B
4800	20/02/18	20/02/18	44,1	150	3/13	0/13	30,76	42,68	10,3	3	100	0	B	B
127	20/02/18	20/02/18	44,3	210	3/13	0/13	24,25	37,77	11,1	3	100	0	B	B
148	20/02/18	20/02/18	44,3	218	3/13	0/13	37,60	50,71	10,8	20	40	0	B	B
148	20/02/18	20/02/18	44,4	218	3/13	0/13	38,18	50,53	11,2	30	30	0	B	B
4819	20/02/18	20/02/18	43,3	110	3/13	0/13	12,28	35,76	10,5	0	100	0	B	B
4814	20/02/18	20/02/18	43,8	138	3/13	0/13	16,07	38,57	12,1	0	100	0	B	B

Statistik:

Größe	Höhe mm	Breite mm	Prüfart	L-Prüfung	σ <sub>1</sub> %	σ <sub>2</sub> %	A <sub>1</sub> %
n	44,42	172,4	27,12	27,04	98	10	1
s	1,20	36,27	8,28	8,48	32	21	1
t	1,38	22,71	32,82	17,81	-	46,67	-





## 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).

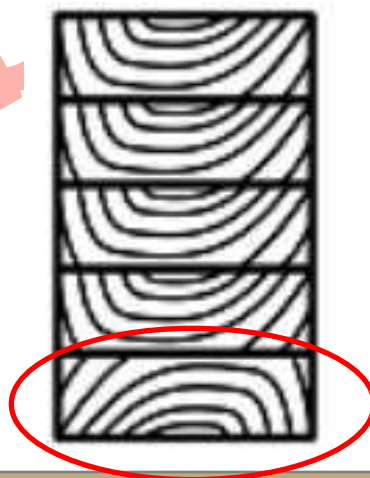
## NTC18

### 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

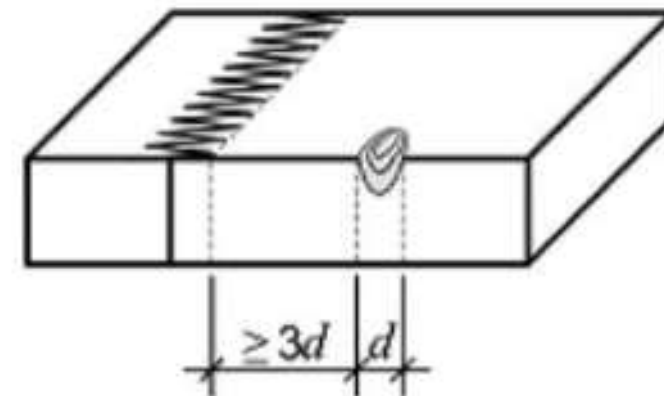
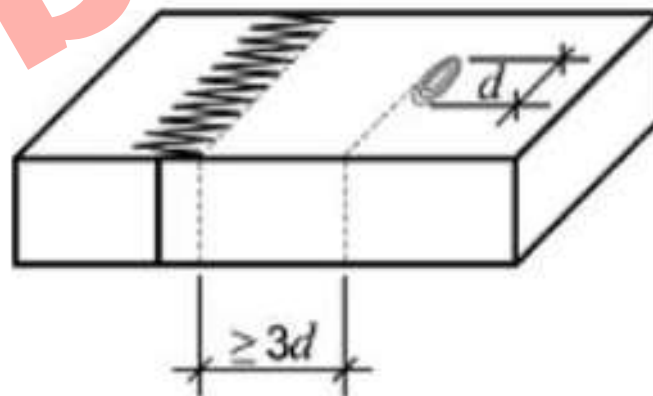


## NTC18

### 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. ...



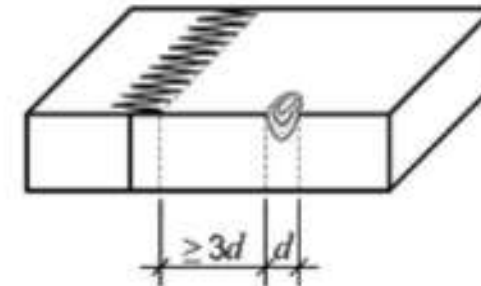
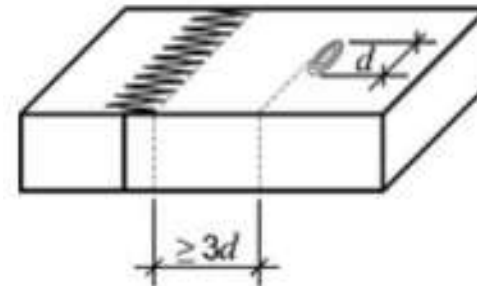
## EN14080

### 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.**

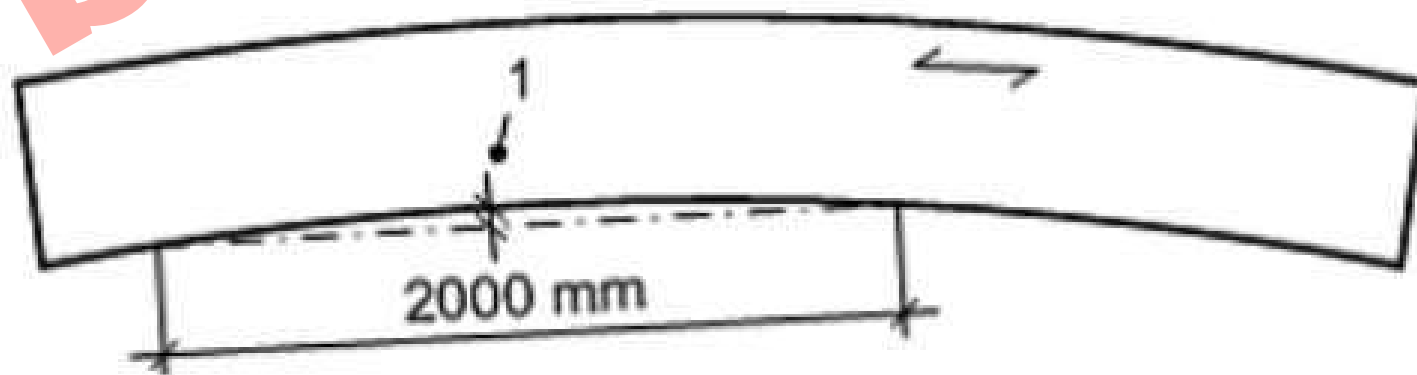
Nodi più piccoli di 6 mm possono non essere considerati. **Sono da evitare giunti aventi dita rotte o parzialmente compromesse; tali difetti possono essere tollerati se limitati anche in considerazione della larghezza dell'elemento.**

## 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. ...



# **Secondo seminario**

## **Introduzione al calcolo**





# 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](http://www.cnr.it/sitocnr/IICNR/Attivita/NormazioneeCertificazione/NormazioneeCertificazione.html)

**Eurocodice 5** (UNI EN 1995:2014)



## ❑ NTC 2018 paragrafo 4.4 "Costruzioni di legno"

Contiene i criteri generali di progettazione, i criteri di valutazione della sicurezza e i valori dei coefficienti di sicurezza

Non contiene le formule di calcolo e verifica, quindi per progettare occorre fare riferimento ad altri documenti (peraltro citati) come CNR/DT 206 e Eurocodice 5, ma assumendo i valori dei coefficienti di sicurezza qui specificati

## ❑ NTC 2018 paragrafo 7.7 "Costruzioni di legno"

Contiene le indicazioni specifiche per la progettazione in zona sismica.

E' la fedele traduzione del Cap. 8 dell'Eurocodice 8

E' un po' "datato" e non aggiornato agli ultimi progressi scientifici e tecnologici e non considera alcuni sistemi costruttivi recenti



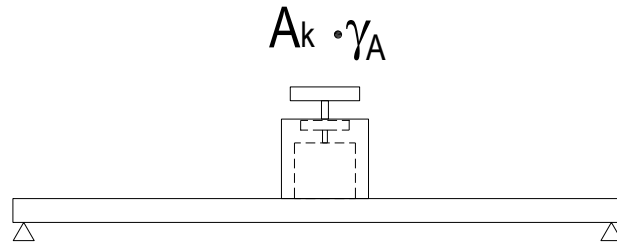
## □ Verifiche agli stati limite

Tutte le Normative citate si basano sul Metodo semiprobabilistico agli Stati Limite.

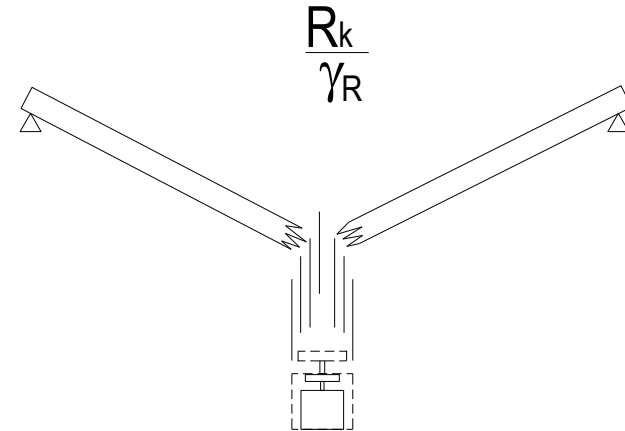
Questo consiste nel verificare due condizioni per la struttura o l'elemento strutturale considerato:

- Sicurezza rispetto al collasso (**Stato Limite Ultimo**)
- Contenimento delle deformazioni e delle vibrazioni entro i limiti necessari per assicurare la funzionalità secondo l'utilizzo previsto (**Stato Limite di Esercizio**)

## Il metodo dei coefficienti parziali



$$A_k \cdot \gamma_A \leq \frac{R_k}{\gamma_R}$$



$\gamma_A$  = coefficiente di sicurezza delle azioni

$\gamma_R$  = coefficiente di sicurezza delle resistenze

$A_d = A_k \cdot \gamma_A$  valore di progetto delle azioni

$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R}$  valore di progetto delle resistenze

$$A_d \leq R_d$$



## □ Stati limite ultimi

Azione di Progetto < Resistenza di Progetto

$$A_d = A_k \gamma_A \leq R_d = \frac{R_k}{\gamma_R}$$

Dove:

il pedice "d" indica il valore di progetto;

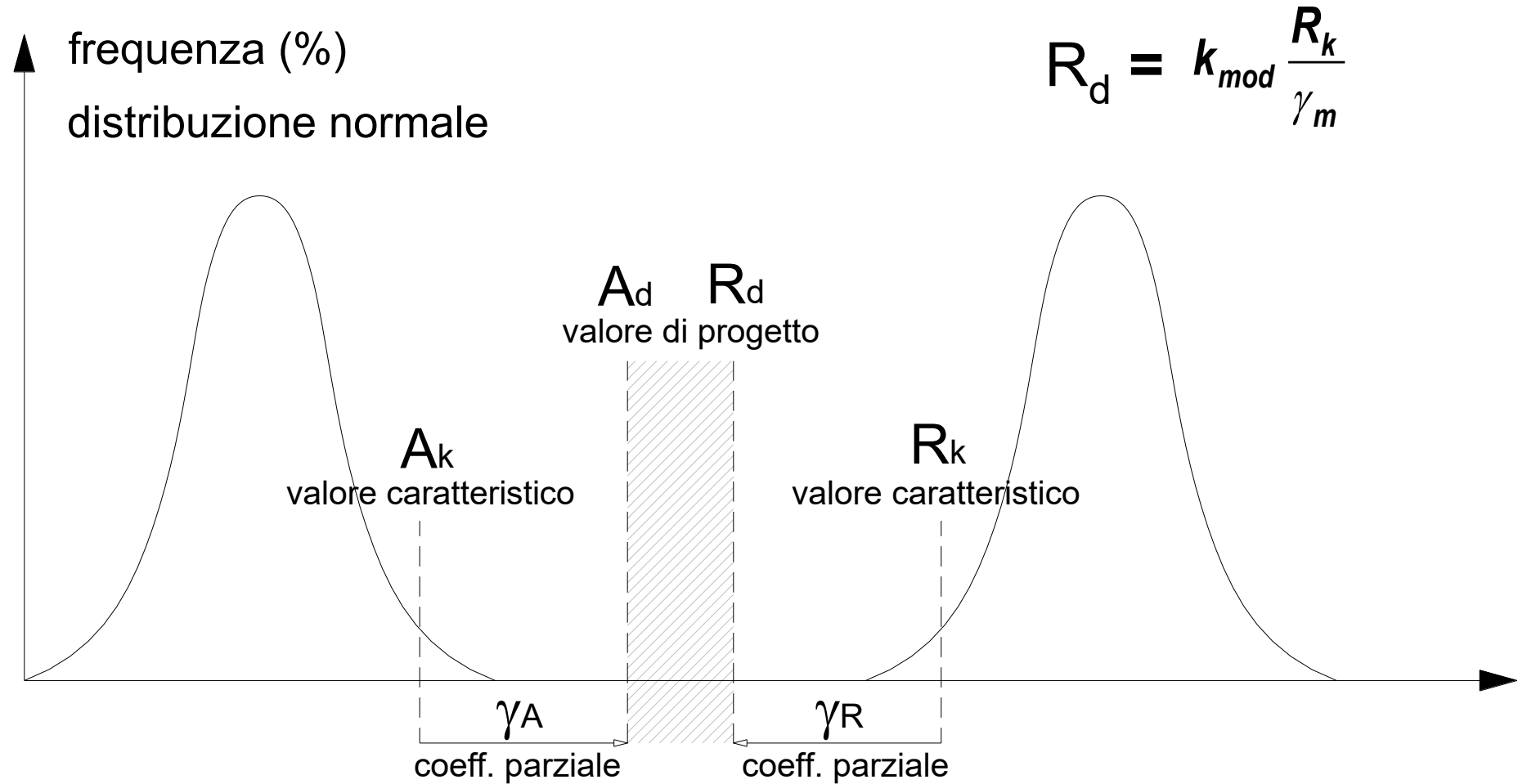
il pedice "k" indica il valore caratteristico;

$\gamma_A$  è il coefficiente parziale di sicurezza sulle azioni;

$\gamma_R$  è il coefficiente parziale di sicurezza sulle resistenze;



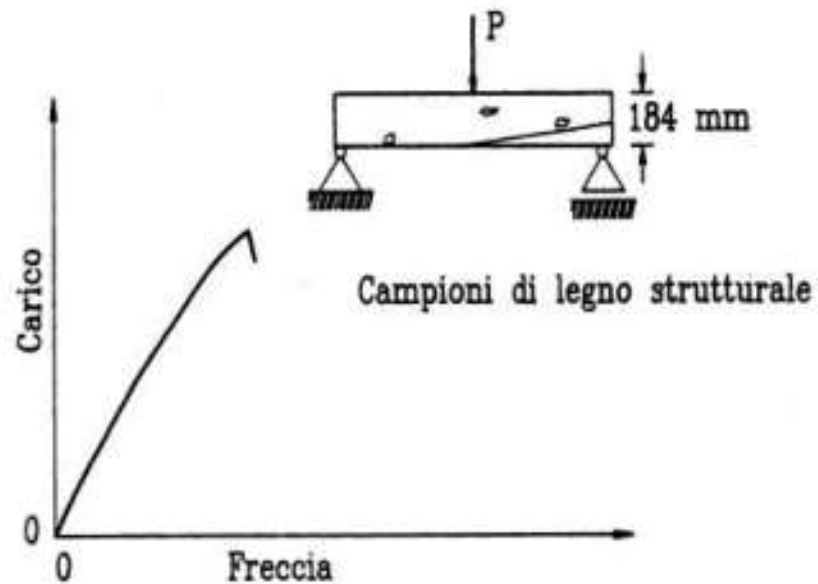
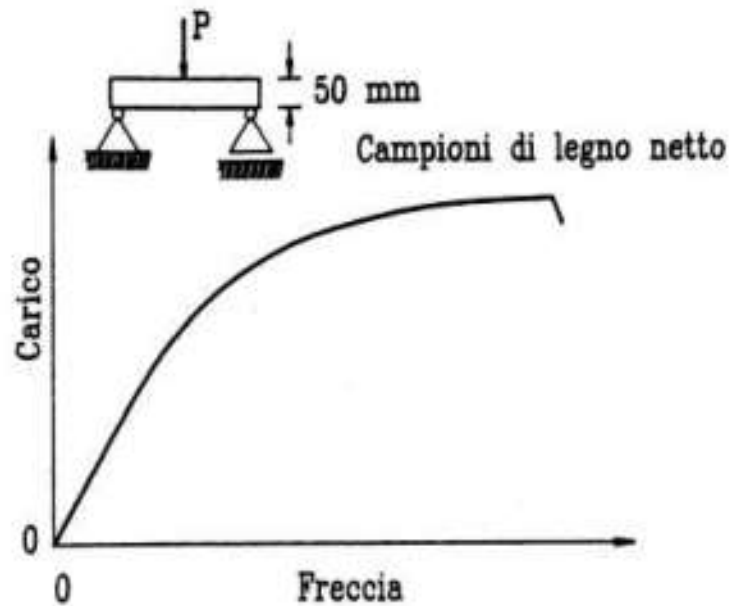
## □ Stati limite ultimi





## Resistenza di progetto

A differenza dell' acciaio e del calcestruzzo armato la verifica della sezione si fa sulle tensioni e non sulle azioni interne.







## □ Resistenza caratteristica

I valori delle tensioni caratteristiche si prendono dalla EN 338 "Legno strutturale - Classi di resistenza" per il legno massiccio e dalla EN 14080 "Legno lamellare incollato e legno massiccio incollato - Classi di resistenza e determinazione dei valori caratteristici" per il legno lamellare.

Classi di resistenza per legno strutturale secondo UNI EN 338 (2016)							
		pioppo e conifere					
		C24	C27	C30			
Proprietà di resistenza in N/mm <sup>2</sup>							
<b>Flessione</b>	$f_{m,k}$	24	27	30			
<b>Trazione parallela</b>	$f_{t,0,k}$	14,5	16,5	19			
<b>Trazione perpendicolare</b>	$f_{t,90,k}$	0,40	0,40	0,40			
<b>Compressione parallela</b>	$f_{c,0,k}$	21	22	24			
<b>Compressione perpendicolare</b>	$f_{c,90,k}$	2,5	2,5	2,7			
<b>Taglio</b>	$f_{v,k}$	4,0	4,0	4,0			
Proprietà di rigidezza in kN/mm <sup>2</sup>							



## □ Coefficiente di sicurezza sul materiale

$\gamma_m$  serve principalmente per passare dalla resistenza al frattile 5% a quella di progetto (nominalmente definita "al 5‰"), ma comprende anche le incertezze; è il prodotto fra:

### Calcestruzzo:

- 1,1 per l'incertezza sul modello di calcolo,
- 1,1 per l'incertezza sulla corrispondenza tra provini cubici e cls in opera,

- 1,32 per il passaggio dal frattile 5% al "caso di distribuzione normale" delle resistenze

$$\gamma_m = 1,1 \times 1,1 \times 1,32 = 1,60$$



### Legno:

- 1,1 per l'incertezza sul modello di calcolo,
- 1,0 perché ogni elemento è classificato e marchiato,
- 1,18 legno massiccio e 1,14 legno laminato a strati

Ma  $1,18 \times 1,1 = 1,3$   
La  $1,14 \times 1,1 = 1,25$



## 4.4.6. RESISTENZA DI PROGETTO

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

NTC18

Stati limite ultimi	Colonna A $\gamma_M$	Colonna B $\gamma_M$
<b>combinazioni fondamentali</b>		
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
<b>combinazioni eccezionali</b>	1,00	1,00

EC5

1,30  
1,25

$X_{lam}$

Il coefficiente  $\gamma_M$  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

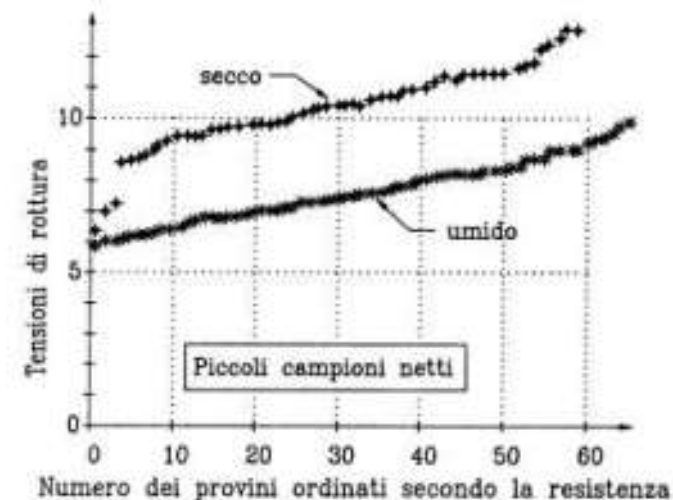
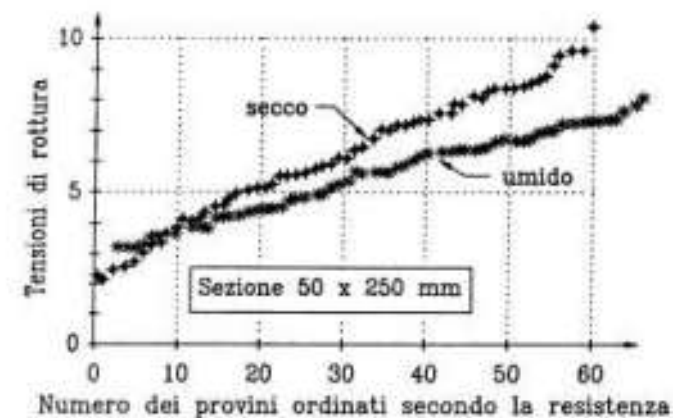
- dell'umidità della struttura;
- della durata del carico.

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 ( $u\% > 20$ ).

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

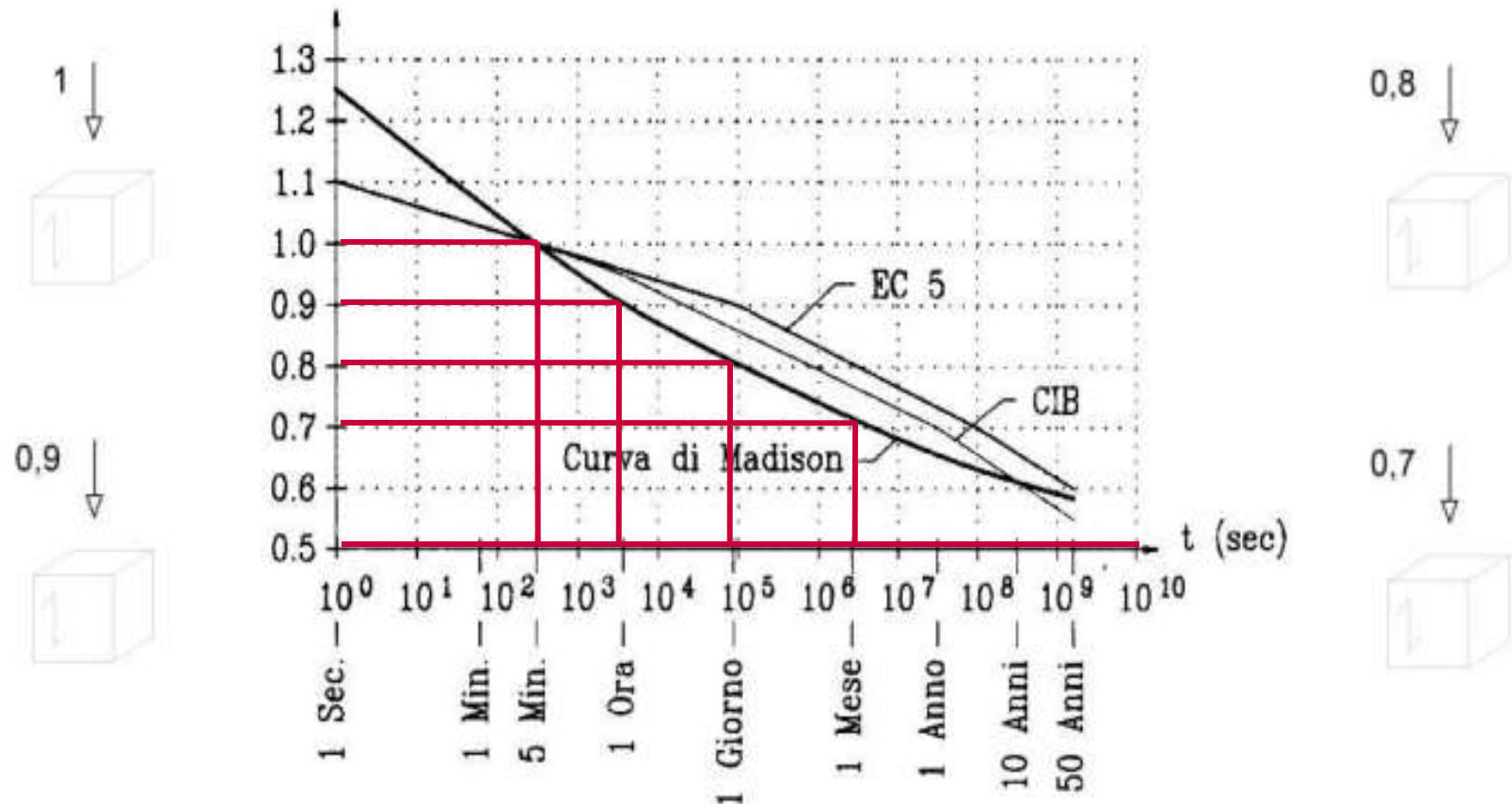




## □ Coefficiente di modificazione

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

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

Versione italiana  
del gennaio 2015

EC5

Eurocode 5

Design of timber structures

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

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;



# 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. 4.4.1.



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



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

### 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					
			Permanente	Lunga	Media	Breve	Istantanea	
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
		MBHLLA1 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

NTC08

Istantanea
1,00
1,00
0,90
1,00
1,00
0,90
1,00
1,00
0,90
1,00
0,80
1,00
1,00
0,80
1,00
0,80

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

4.4. Progettazione per azioni statiche



## □ Esempio di calcolo – Solaio piano di copertura, travi in doppio appoggio

Travi di conifera classe C24 secondo EN338

resistenza caratteristica a flessione  $f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2$

sezione  $b_t \cdot h_t = 120 \cdot 200 \text{ mm}$

interasse  $i_t = 1,00 \text{ m}$

luce netta  $l = 4,00 \text{ m}$

luce di calcolo  $l_c = l \cdot 1,05 = 4,00 \cdot 1,05 = 4,20 \text{ m}$

Carichi elementari:

carichi permanenti strutturali  $G_1 = 0,40 \text{ kN/m}^2$

carichi permanenti non strutturali  $G_2 = 2,30 \text{ kN/m}^2$

carico neve  $Q_k = 0,48 \text{ kN/m}^2$  (breve durata)

Carichi SLU:

coefficiente carichi permanenti strutturali  $\gamma_{G1} = 1,30$

coefficiente carichi permanenti non strutturali  $\gamma_{G2} = 1,50$

coefficiente carichi variabili  $\gamma_Q = 1,50$

combinazione di **breve durata**:

$$q_{ll} = (1,30 \cdot 0,40 + 1,50 \cdot 2,30 + 1,50 \cdot 0,48) \cdot 1,00 = 4,69 \text{ kN/m}$$



## □ Esempio di calcolo – Solaio piano di copertura, travi in doppio appoggio

### STATO LIMITE ULTIMO

coefficiente di modificazione combinazione di carico **breve durata**  $k_{mod} = 0,90$  (neve sotto i 1000m slm)

coefficiente di sicurezza legno  $\gamma_M = 1,5$  (legno massiccio da NTC18 colonna A)

resistenza di progetto a flessione  $f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,90 \cdot 24}{1,5} = 14,40 \text{ N/mm}^2$

Sollecitazioni, combinazione di carico allo **SLU breve durata**

$$M_u = \frac{q_u \cdot l_{calc}^2}{8} = \frac{4,69 \cdot 4,20^2}{8} = 10,34 \text{ kNm}$$

Verifica di resistenza a flessione:

$$\sigma_{m,d} = \frac{6 \cdot M}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 10,34 \cdot 10^6}{160 \cdot 200^2} = 12,93 < 14,40 \text{ N/mm}^2 = f_{m,d} \quad \underline{\text{verifica soddisfatta}}$$



## □ Esempio di calcolo – Solaio piano di copertura, travi in doppio appoggio

Carichi SLU:

combinazione **permanente**:

$$q_u = (1,30 \cdot 0,40 + 1,50 \cdot 2,30 + 1,50 \cdot 0,48) \cdot 1,00 = 4,69 \text{ 3,97 kN/m}$$

STATO LIMITE ULTIMO

coefficiente di modificazione combinazione di carico **permanente**  $k_{mod} = 0,60$

coefficiente di sicurezza legno  $\gamma_M = 1,5$  (legno massiccio da NTC18 colonna A)

resistenza di progetto a flessione  $f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,60 \cdot 24}{1,5} = 9,60 \text{ N/mm}^2$

Sollecitazioni, combinazione di carico allo **SLU permanente**

$$M_u = \frac{q_u \cdot l_{calc}^2}{8} = \frac{3,97 \cdot 4,20^2}{8} = 8,76 \text{ kNm}$$

Verifica di resistenza a flessione:

$$\sigma_{m,d} = \frac{6 \cdot M}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 8,76 \cdot 10^6}{160 \cdot 200^2} = 10,95 > 9,60 \text{ N/mm}^2 = f_{m,d} \quad \text{verifica **NON** soddisfatta}$$



# Stati limite di esercizio



#### 4.4.7. STATI LIMITE DI ESERCIZIO

freccia  
netta  
freccia  
carichi  
variabili  
limiti

La freccia (valore dello spostamento ortogonale all'asse dell'elemento) netta di un elemento inflesso è data dalla somma della freccia dovuta ai soli carichi permanenti, della freccia dovuta ai soli carichi variabili, dedotta dalla eventuale contrefreccia (qualora presente).

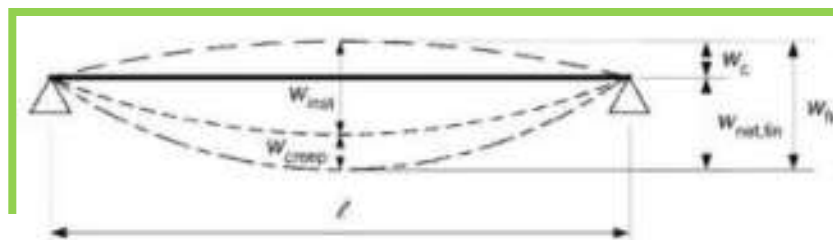
Nei casi in cui sia opportuno limitare la freccia istantanea dovuta ai soli carichi variabili nella combinazione di carico rara, in mancanza di più precise indicazioni, si raccomanda che essa sia inferiore a  $L/300$ , essendo  $L$  la luce dell'elemento o, nel caso di mensole, il doppio dello sbalzo.

Nei casi in cui sia opportuno limitare la freccia finale, in mancanza di più precise indicazioni, si raccomanda che essa sia inferiore a  $L/200$ , essendo  $L$  la luce dell'elemento o, nel caso di mensole, il doppio dello sbalzo.

Per il calcolo della freccia finale si potrà fare utile riferimento ai documenti di comprovata validità cui al capitolo 12.

I limiti indicati per la freccia costituiscono solo requisiti minimi indicativi. Limitazioni più severe possono rivelarsi necessarie in casi particolari, ad esempio in relazione ad elementi portati non facenti parte della struttura. In generale, nel caso di impalcati, si raccomanda la verifica della compatibilità della deformazione con la destinazione d'uso.

- Viene definita la **freccia netta** ma non vengono definiti i limiti.
- Viene dato un limite per la **freccia istantanea carichi variabili** come nel caso dell'acciaio.
- Viene dato un limite per la **freccia finale**.



EC5

Esempi di valori limite per le frecce di travi

	$W_{inst}$	$W_{net,fin}$	$W_{fin}$
Trave su due appoggi	Da $l/300$ a $l/500$	Da $l/250$ a $l/350$	Da $l/150$ a $l/300$
Travi a mensola	Da $l/150$ a $l/250$	Da $l/125$ a $l/175$	Da $l/75$ a $l/150$



## □ Stati limite di esercizio

Nel calcolo della deformabilità bisogna considerare le deformazioni lente dovute alla viscosità sia nei materiali che dei giunti.

In generale la deformazione istantanea  $u_{inst}$  si calcola utilizzando il modulo di elasticità medio per il materiale ed il modulo di scorrimento istantaneo per le unioni meccaniche.

La deformazione finale si ottiene dalla seguente formula:

$$u_{fin} = u_{inst} + u_{creep} = u_{inst} (1 + \psi_2 \times k_{def})$$

dove:

- $\psi_2$  definisce la quota parte sovraccarico che agisce in maniera quasi permanentemente sulla struttura;
- $k_{def}$  è il coefficiente che tiene conto dell'aumento di deformazione nel tempo.





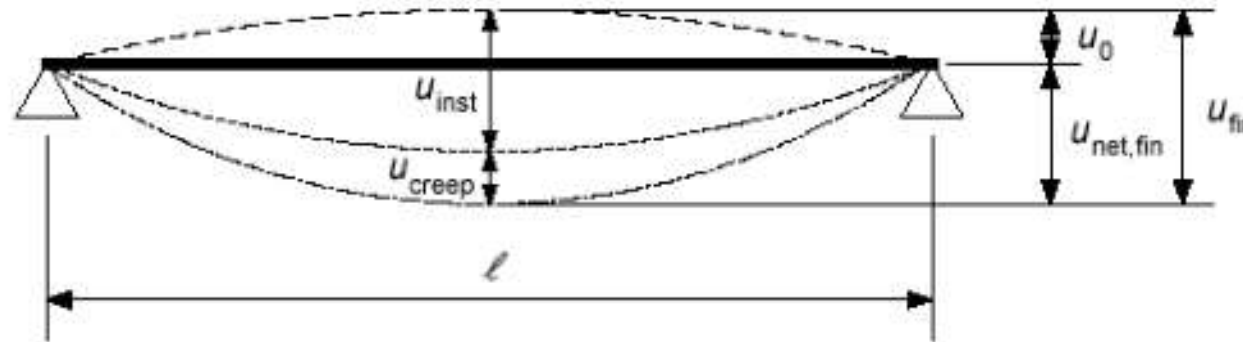
## □ Valori del coefficiente $k_{def}$

Valori di $k_{def}$ per il legno massiccio, il legno lamellare e l'LVL		
classe di servizio		
1	2	3
0,60	0,80	2,00

Per **materiale posto in opera con umidità prossima al punto di saturazione** delle fibre, e che possa essere soggetto a essiccazione sotto carico, il valore del  $k_{def}$  dovrà essere aumentato **sommando** ai termini della tabella **un valore comunque non inferiore a 2,0**

## □ Limiti di deformabilità

L'EC5 fornisce dei limiti sia per la deformazione istantanea che finale.



Dove:

$u_{inst}$  freccia elastica istantanea

$u_{creep}$  incremento viscoso

$u_0$  eventuale contro-freccia

$u_{net,fin}$  freccia rispetto all'asse teorico

$u_{fin}$  freccia finale compresi effetti viscosi

Esempi di valori limite di deformazione per travi semplicemente appoggiate

$u_{inst}$	$u_{net,fin}$	$u_{fin}$
da $l/300$ a $l/500$	da $l/250$ a $l/350$	da $l/150$ a $l/300$



## □ Le vibrazioni

Le vibrazioni nelle strutture di legno rivestono importanza in quanto il modulo di elasticità basso può determinare frequenze proprie eccessivamente basse.

Per una trave su doppio appoggio soggetta a carico uniformemente distribuito la frequenza propria è:

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \sqrt{\frac{(EJ)_L}{m}}$$

$m$  è la massa in kg/mq nella combinazione  $G1+G2+0,10 \times Q_k$ ;

$l$  è la luce del solaio espressa in m

$(EJ)_L$  è rigidità apparente flessionale del solaio per metro di larghezza che tiene conto della deformazione flessionale, della deformazione a taglio e dell'eventuale scorrimento delle unioni nel caso di solai a travi reticolari o composte.

- Criterio della rigidità (inflessione al carico di 1kN)
- Criterio della frequenza ( $f \geq 4,5\text{Hz}$ )
- Criterio dell'accelerazione (risposta risonante al calpestio)
- Criterio della velocità (risposta transitoria al calpestio)



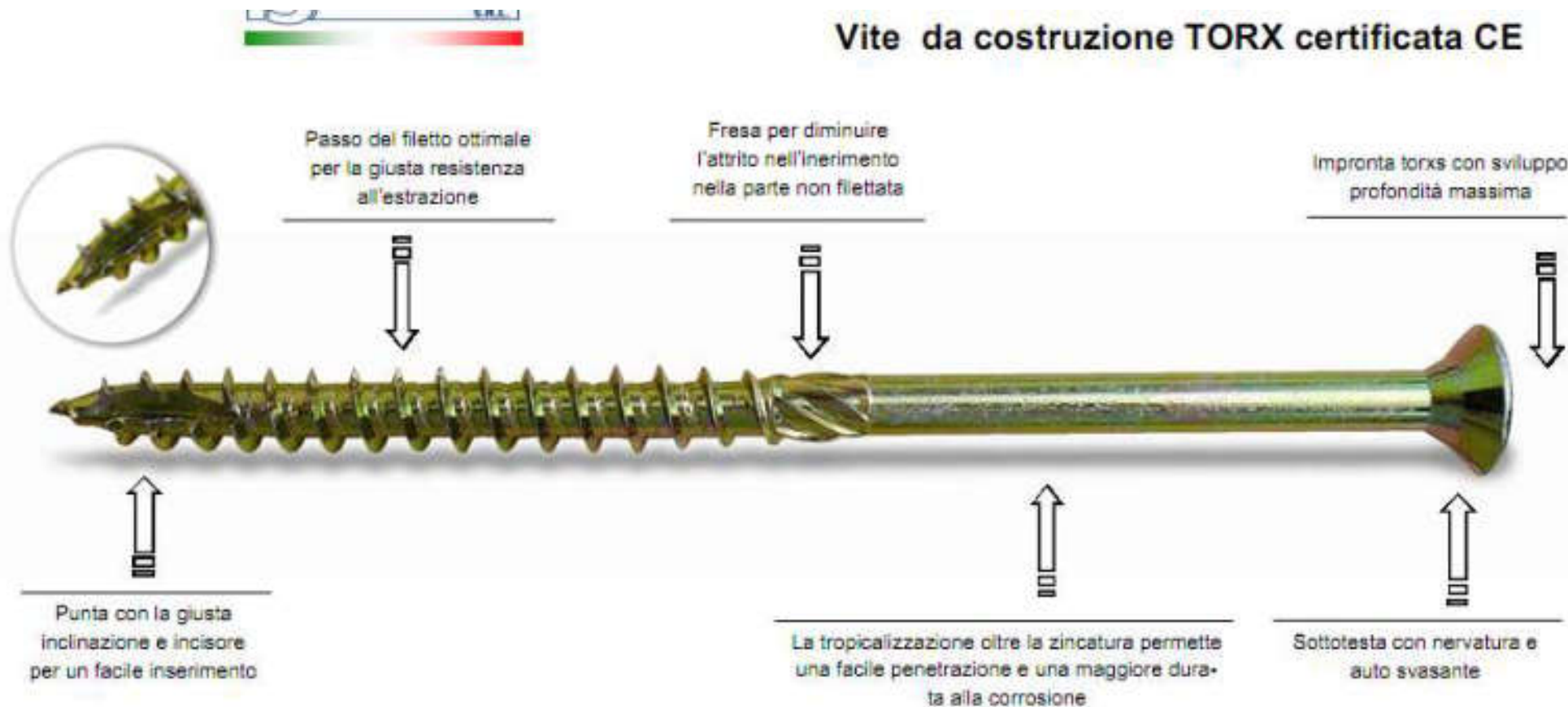
# Unioni







## Vite da costruzione TORX certificata CE





Unioni meccaniche: Viti a filetto parziale

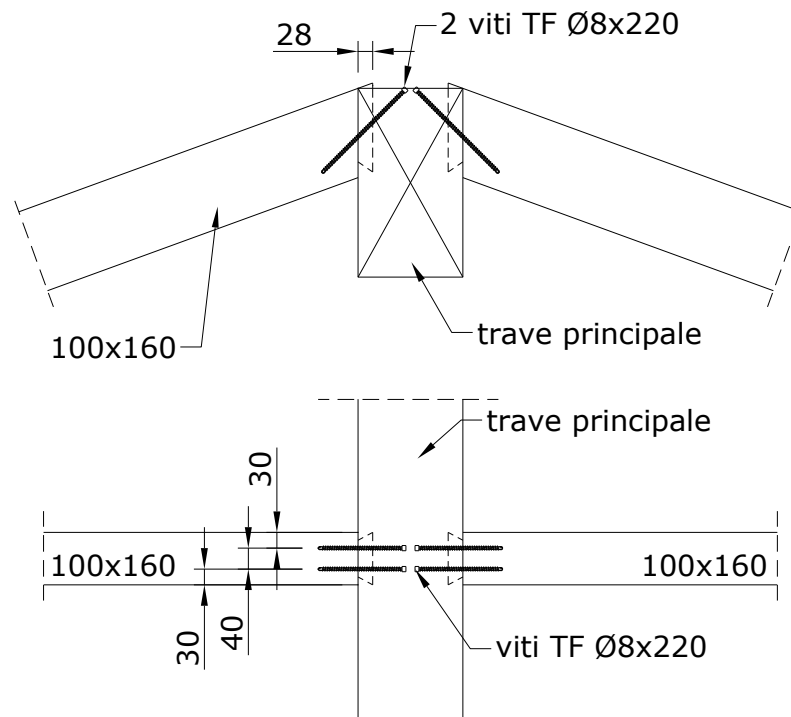






600 mm

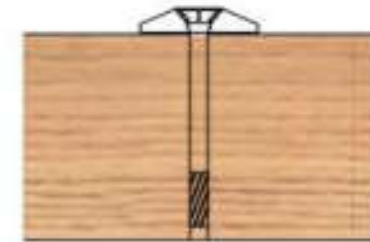
## Collegamento travicelli travi principali





Unioni meccaniche: Viti a tutto filetto





Certificazione Z-9-1-687





Unioni meccaniche: Spinotti







Unioni meccaniche: piastre dentate





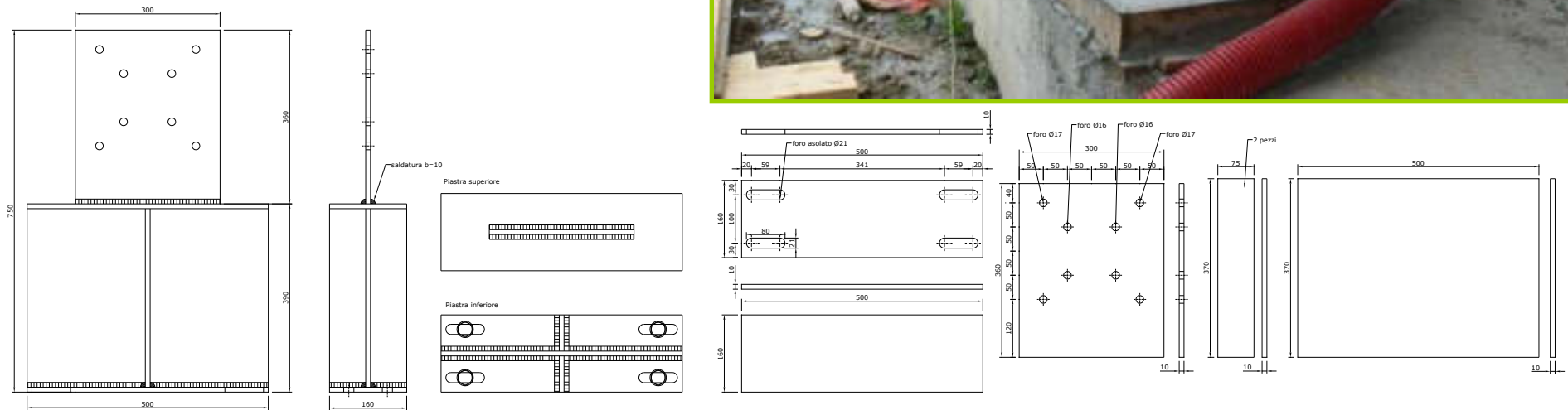
Unioni meccaniche: piastre dentate

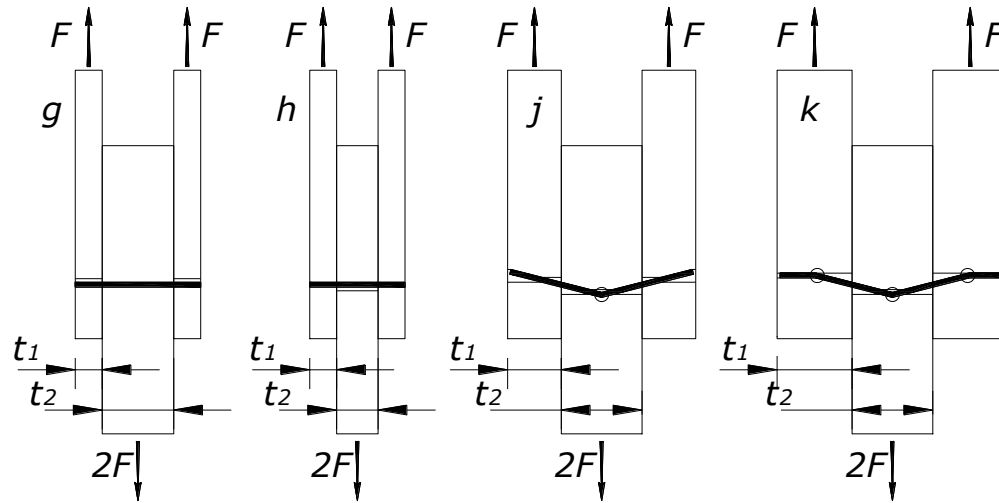
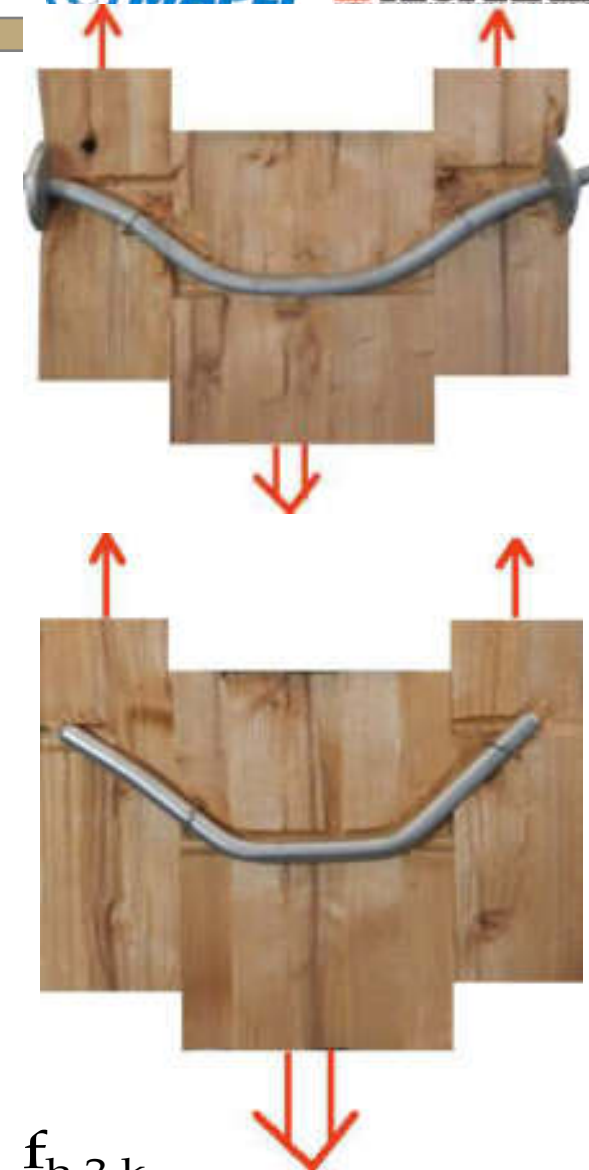






Unioni meccaniche: Elementi speciali



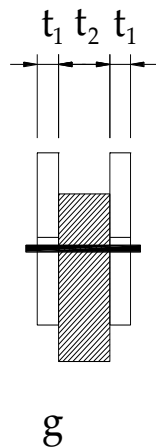
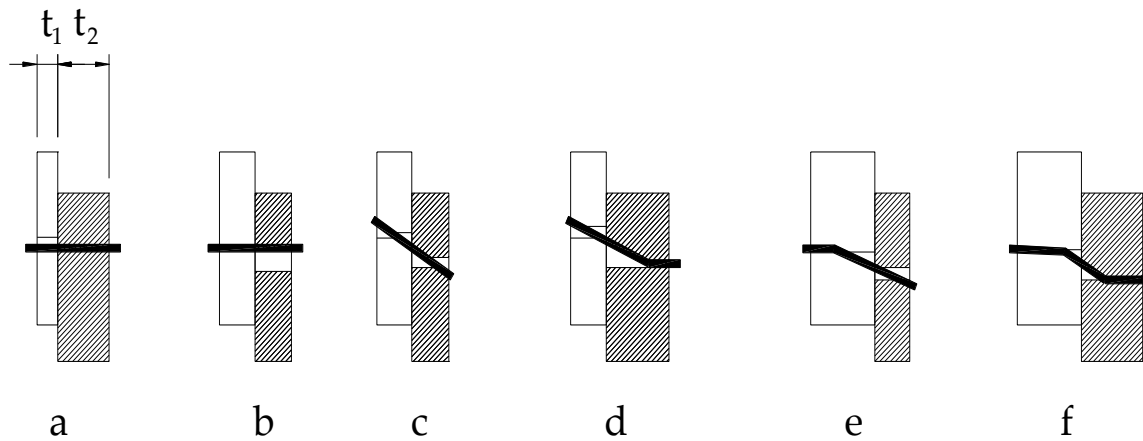


Per singolo elemento di collegamento e per singola sezione di taglio

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

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

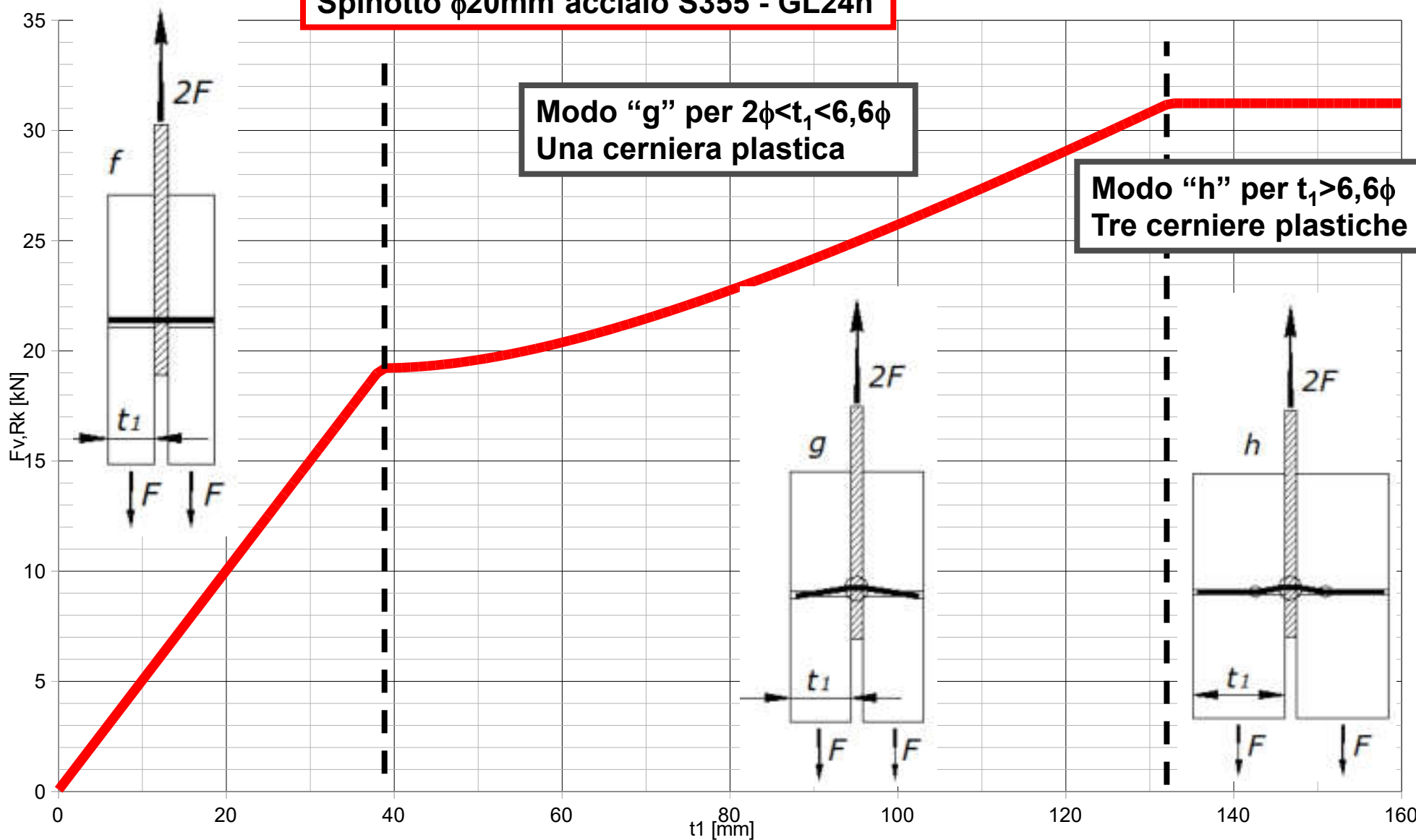
## Verifiche agli SLU per i unioni meccaniche (EC5 e CNR DT/206)



$\phi$  connettore + piccolo (o legni + spessi) = rottura più duttile



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





## Travi bifalda a connessione rigida

Unioni con barre incollate





## Travi bifalda a connessione rigida



Unioni con barre incollate

- ❑ [www.federlegnoarredo.it/it/associazioni/assolegno/attivita-e-servizi-per-i-soci/pubblicazioni](http://www.federlegnoarredo.it/it/associazioni/assolegno/attivita-e-servizi-per-i-soci/pubblicazioni)





- ❑ [www.federlegnoarredo.it/it/associazioni/assolegno/attivita-e-servizi-per-i-soci/pubblicazioni](http://www.federlegnoarredo.it/it/associazioni/assolegno/attivita-e-servizi-per-i-soci/pubblicazioni)







❑ [www.regione.toscana.it/pubblicazioni](http://www.regione.toscana.it/pubblicazioni)

Publicazioni gratuite





[www.timberdesign.it](http://www.timberdesign.it)

# Grazie