

Verifica di resistenza e di deformabilità di un solaio in legno

aspetti normativi ed applicazione

ing. Luca Pozza

e.mail: pozza@dic.unipd.it

VENEZIA - 8 Marzo 2012

IL LEGNO COME MATERIALE DA COSTRUZIONE

LEGNO → PRESENTA UN COMPORTAMENTO MOLTO PIU' COMPLESSO RISPETTO A QUELLO DEGLI ALTRI MATERIALI DA COSTRUZIONE:

Calcestruzzo:

- Macrostruttura: omogenea - isotropa
- Resistenza: non simmetrica (buona a compressione, scadente a trazione)
- **COMPORTAMENTO VISCOSO**
- **DURABILITA'**

Acciaio:

- Macrostruttura: omogenea - isotropa
- Resistenza: simmetrica a compressione e trazione
- **INSTABILITA' DELL'EQUILIBRIO**
- **NODI - DETTAGLI COSTRUTTIVI**

Legno:

- Macrostruttura: eterogenea – anisotropa
- Resistenza: non simmetrica in trazione e compressione ma buona a flessione
- **PRESENTA SIA I DIFETTI DELL'ACCIAO CHE DEL CALCESTRUZZO**

IL LEGNO COME MATERIALE DA COSTRUZIONE

CONFRONTO TRA LE PROPRIETÀ DEL LEGNO E DEGLI ALTRI MATERIALI DA COSTRUZIONE

PROPRIETA'	LEGNO	ACCIAIO	CLS
Tensione ammiss. (compr.) σ_{adm} [MPa]	10	160	10
Peso specifico γ_m [daN/m ³]	600	7850	2400
Rapporto γ_m/σ_{adm}	60	50	240
Modulo elastico [GPa]	8	210	30
Duttilita'	No	Si	No
Resistenza a trazione	Si	Si	No
Comportamento reologico	Si	No	Si
Comportamento igroscopico	Si	No	No
Isotropia	No	Si	Si
Omogeneita'	No	Si	Si
Combustibilita'	Si	No	No

3

IL LEGNO COME MATERIALE DA COSTRUZIONE

FATTORI CHE INFLUENZANO LA RESISTENZA MECCANICA DEL LEGNO

DIREZIONE DEL CARICO RISPETTO ALLA DIREZIONE DELLE FIBRE

PRESENZA DI DIFETTI

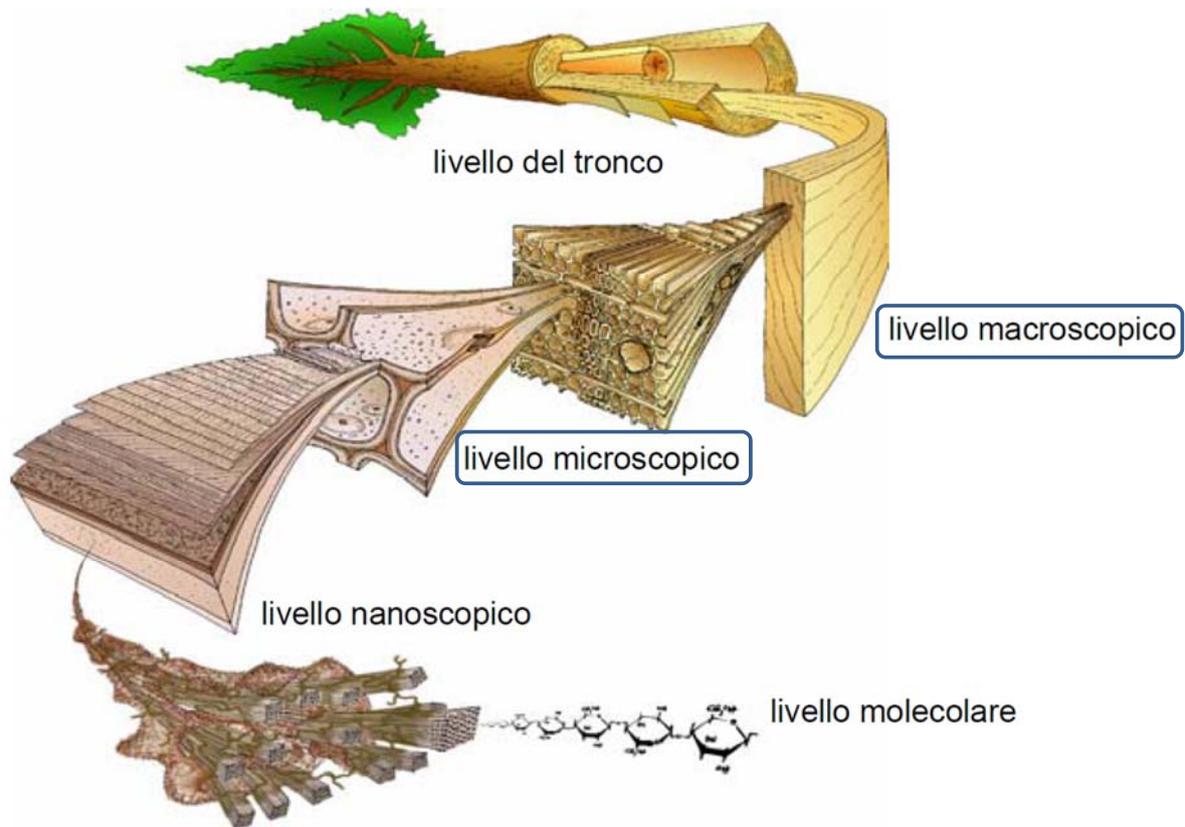
COMPORTAMENTO IGROSCOPICO – REAZIONE CON L'ACQUA

DURATA DI APPLICAZIONE DEL CARICO – EFFETTI VISCOSI

L'influenza di tutti questi fattori può essere analizzata osservando le particolari caratteristiche della microstruttura e della macrostruttura del legno

4

MICRO E MACRO STRUTTURA DEL LEGNO



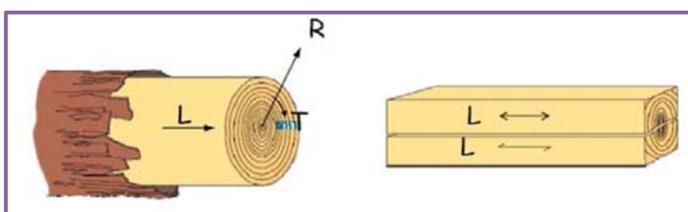
DIREZIONE DEL CARICO RISPETTO ALLA DIREZIONE DELLE FIBRE

LIVELLO DI TRONCO

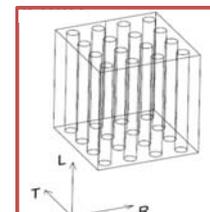


IL LEGNO PRESENTA CARATTERISTICHE DIVERSE NELLE TRE DIREZIONI (Longitudinale – Radiale – Tangenziale) INDIPENDENTEMENTE DAL LIVELLO DI STRUTTURA CHE SI CONSIDERA

LIVELLO MACROSCOPICO

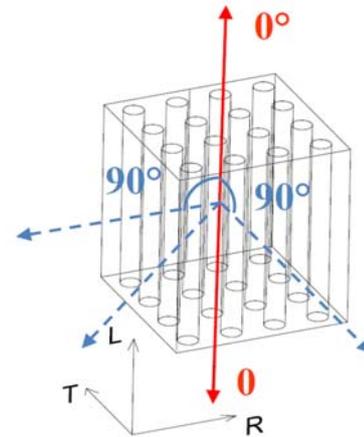


LIVELLO MICROSCOPICO

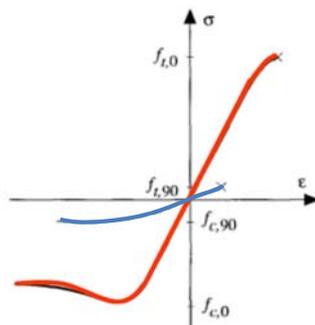


DIREZIONE DEL CARICO RISPETTO ALLA DIREZIONE DELLE FIBRE

- Principalmente le differenze si hanno tra la direzione longitudinale (definita **parallela alle fibre**) ed una qualunque direzione trasversale
- Le direzioni R e T non mostrano apprezzabili differenze e pertanto sono trattate assieme e definite **perpendicolare alle fibre**



- NOTAZIONE: $f_T = f_R = f_{90}$ $f_L = f_0$



DIREZIONE LONGITUDINALE: la resistenza a trazione è maggiore di quella a compressione

DIREZIONE TRASVERSALE: abbiamo migliori prestazioni in compressione che non in trazione in quanto le fibre sono schiacciate una sull'altra

LA DIFFERENZA DI RESISTENZA TRA LE DUE DIREZIONI E' DI CIRCA UN ORDINE DI GRANDEZZA

PRESENZA DI DIFETTI

DIFETTI

- **nodi** (residui di rami rimasti inclusi)
- **cipollature** (fessure anulari)
- **fibratura spiralata o torta** (causata dal vento)
- **spessori da accrescimento e smussi**
- **fessure e distorsioni da ritiro** (per la riduzione dell'umidità)
- **fratture da vento** (rotture parziali di fibre)
- **tasche di resina** (cavità schiacciate tra due anelli)

EFFETTO DEI DIFETTI SULLA RESISTENZA DEL LEGNO

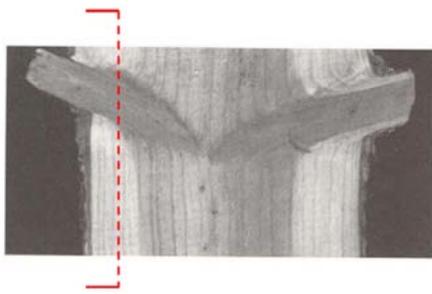
CARATTERISTICA	LEGNO NETTO	LEGNO CON DIFETTI
TRAZIONE PARALLELA ALLE FIBRE $f_{t,0}$	80-100 MPa	10-35 MPa
TRAZIONE ORTOGONALE ALLE FIBRE $f_{t,90}$	1-2 MPa	0.5-1 MPa
COMPRESSIONE PARALLELA ALLE FIBRE $f_{c,0}$	40-50 MPa	25-40 MPa
COMPRESSIONE ORTOGONALE ALLE FIBRE $f_{c,90}$	2-4 MPa	2-4 MPa

La riduzione di resistenza dovuta ai difetti è:

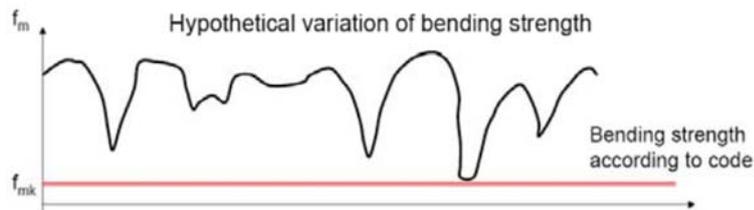
1. **più rilevante in trazione che in compressione sia parallelamente che ortogonalmente alle fibre**
2. **più rilevante parallelamente alle fibre che ortogonale**

PRESENZA DI DIFETTI

NODI: parte dei rami inglobata nel tronco



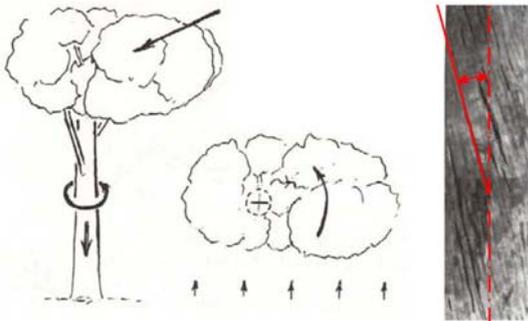
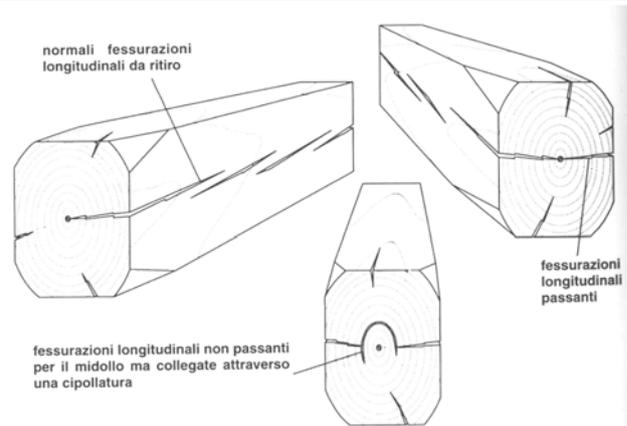
Sawn timber beam with knots



PRESENZA DI DIFETTI

ALTRI DIFETTI:

- Fessurazioni
- Smussi
- Lesioni
- Cipollature
- Sacche di resina
- Deviazione delle fibre



gli alberi crescono spiralmente a causa dell'azione del vento



LEGNO LAMELLARE

Legno massiccio

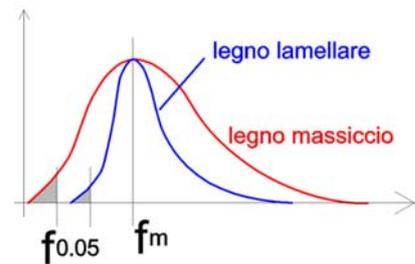
Limiti dimensionali dovuti alla dimensione degli alberi

Limiti di resistenza dovuti alla presenza dei difetti

Queste limitazioni sono state superate con l'invenzione del **LEGNO LAMELLARE**

Difetti → vengono rimossi i difetti maggiori e si ha una maggiore uniformità del materiale (sia a livello di sezione che di elemento strutturale)

Dal punto di vista probabilistico la curva di distribuzione diventa più stretta e il valore caratteristico è più vicino al valore medio.

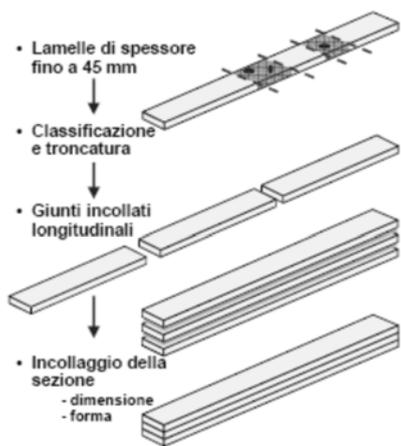


LEGNO LAMELLARE

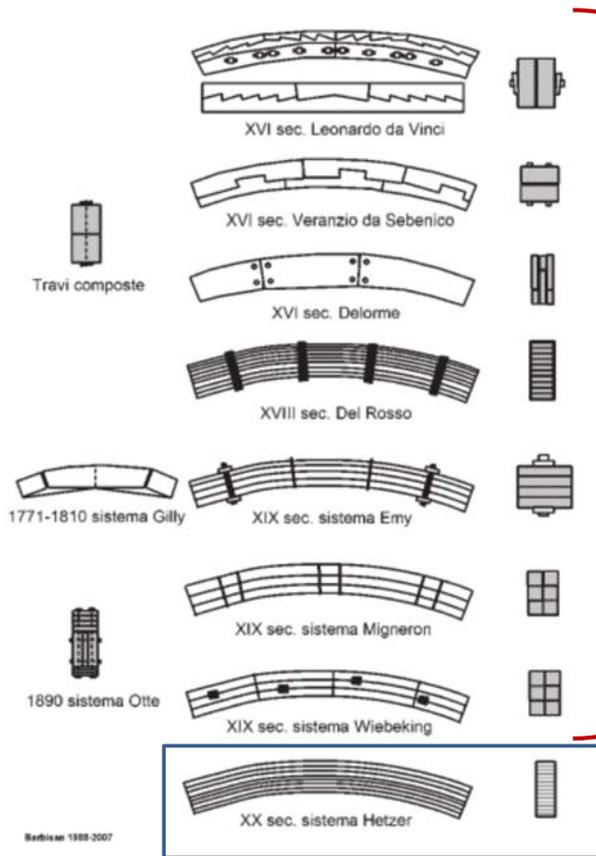
Il legno lamellare nasce da due tecniche

lamellazione ⇒ diminuire i limiti della materia prima
(ridurre i difetti)

incollaggio ⇒ aumentare i limiti dell'elemento finito
(larghezza, altezza, lunghezza, forma)



LEGNO LAMELLARE



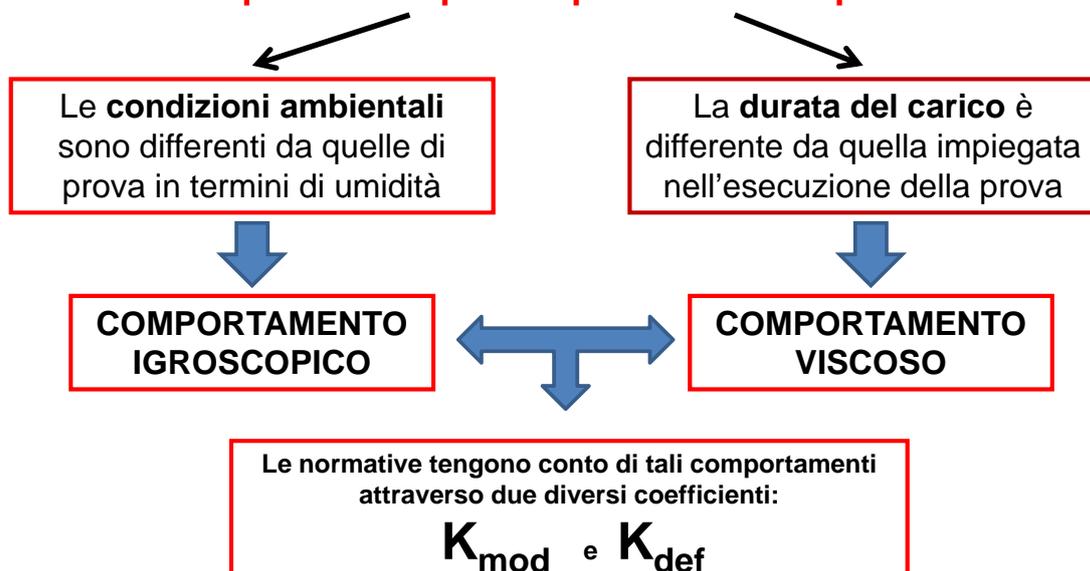
Fino al XX secolo gli elementi lignei venivano connessi in modo «meccanico» attraverso intagli di carpenteria o connessioni metalliche

Nel 1905 brevetto Hetzer e nascita del legno lamellare incollato

RESISTENZA DEL LEGNO

Le caratteristiche meccaniche del legno in dimensione d'uso sono definite mediante prove sperimentali realizzate con modalità di applicazione del carico e in condizioni ambientali standard.

Il legno in esercizio si trova ad operare in condizioni differenti da quelle delle prove sperimentali in quanto:



INFLUENZA DELL'UMIDITA'

UMIDITA' DEL LEGNO

Ritiro – Rigonfiamento

Deformazioni – Distorsioni

Prestazioni → resistenza
→ deformabilità

L'umidità del legno è in funzione della stagionatura che può essere naturale o artificiale

...né avanti tre anni saranno ben secchi per uso de'
palchi, e delle porte, e delle fenestre ...

(Andrea Palladio, libro I, Quattro Libri dell'Architettura)

*Pare che Teofrasto fosse del parere che il legname non sia
mai seccato a sufficienza, ..., prima di un periodo di tre anni*

(Leon Battista Alberti: De Re edificatoria, libro II, cap. VI)

INFLUENZA DELL' UMIDITA'

Al contrario dell'acciaio e del calcestruzzo, **il comportamento del legno dipende dal contenuto di umidità ω** :

$$\omega = 100 \frac{\text{peso dell'acqua}}{\text{peso del legno}}$$

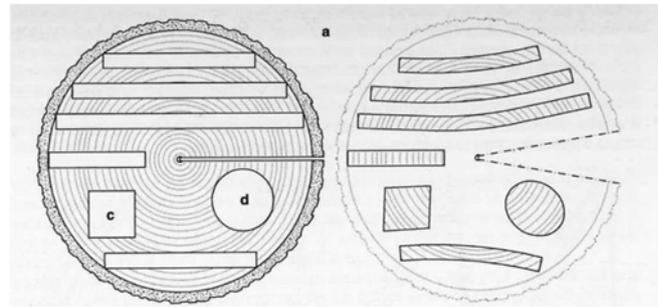
ω dipende dall'umidità relativa ambientale, dalla stagionatura del legno, e dalla sezione trasversale dell'elemento legno.

Più che il valore assoluto dell'umidità sono rilevanti le **VARIAZIONI DI UMIDITA'** del legno

RITIRO → ESPULSIONE DELL'ACQUA
RIGONFIAMENTO → ASSORBIMENTO DELL'ACQUA

INFLUENZA DELL'UMIDITA'

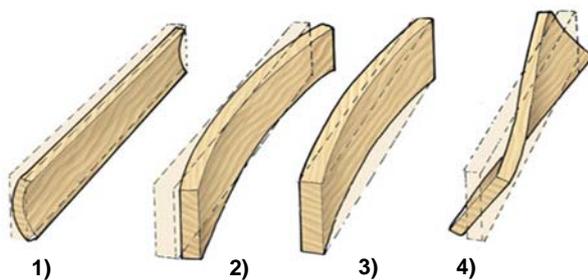
Gli effetti del ritiro sono differenti a seconda della posizione in cui è stato eseguito il taglio dell'elemento all'interno del tronco: ad esempio una tavola radiale si imbarcherà meno rispetto ad una tangenziale



Le principali deformazioni sul segato sono:

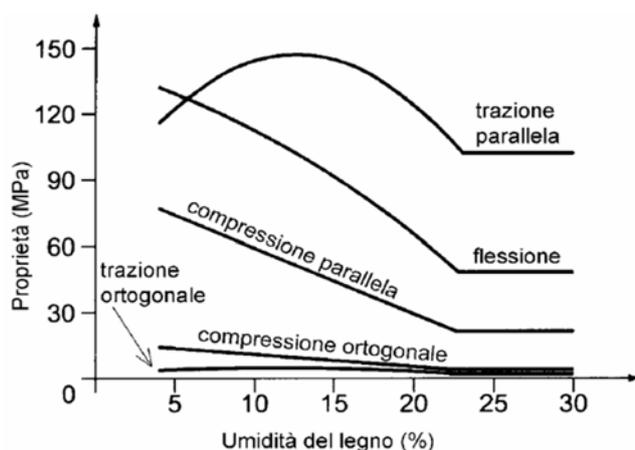
1) imbarcamento, 2) arcatura, 3) falcatura, 4) svergolamento

I valori accettabili di tali deformazioni sono indicati dalle norme per le classificazioni a vista e a macchina



TIPO DI DEFORMAZIONE	CATEGORIA CORRISPONDENTE ALLA CLASSE DI RESISTENZA	
	C18 E CLASSI PIÙ BASSE	CLASSI PIÙ ALTE
Arcatura	20	10
Falcatura	12	8
Svergolamento	2 mm / 25 mm di larghezza	1 mm / 25 mm di larghezza
Imbarcamento	nessuna limitazione	

INFLUENZA DELL'UMIDITA'



Le **proprietà meccaniche** del legno sono influenzate dall'umidità in quanto l'acqua, quando penetra nella parete cellulare, indebolisce i legami che tengono appressata la parete cellulare.

Le variazioni di umidità al di sopra del punto di saturazione ($\omega > 25-30\%$) non hanno effetto sulle proprietà meccaniche in quanto riguardano solo l'acqua libera presente nei lumi.

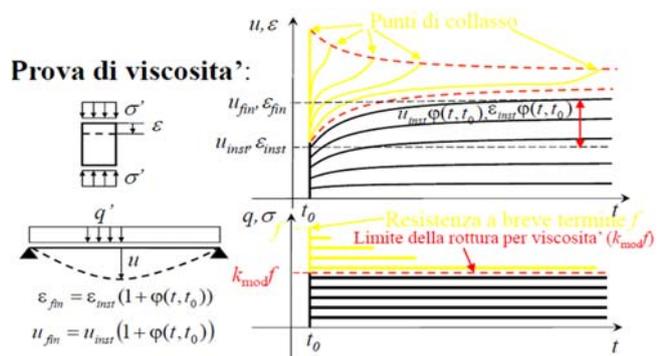
Ad un aumento di umidità del legno corrispondono valori di resistenza e modulo di elasticità più bassi. Tuttavia non tutte le proprietà meccaniche sono influenzate allo stesso modo dall'umidità.

Variazione (%) delle proprietà meccaniche per una variazione percentuale di umidità (valori base riferiti ad una umidità del 12%)

Proprietà meccanica	Variazione %
COMPRESSIONE PARALLELA ALLE FIBRE $f_{c,0}$	5
COMPRESSIONE ORTOGONALE ALLE FIBRE $f_{c,90}$	5
RESISTENZA A FLESSIONE f_m	4
TRAZIONE PARALLELA ALLE FIBRE $f_{t,0}$	2.5
TRAZIONE ORTOGONALE ALLE FIBRE $f_{t,90}$	2

DURATA DI APPLICAZIONE DEL CARICO

La resistenza del legno – a differenza dell'acciaio – dipende dalla durata di applicazione del carico



Il comportamento dei materiali derivati dal legno nei confronti della durata del carico varia in modo molto ampio:

- Compensato strutturale: si comporta come il legno massiccio.
- Pannelli di particelle: il comportamento è influenzato dall'orientamento delle fibre e dalla **quantità di colla**. In generale l'effetto della durata del carico è più rilevante rispetto al legno massiccio.

APPROCCIO NORMATIVO

Le verifiche di resistenza di un elemento strutturale possono essere condotte seguendo due diverse criteri di verifica:

1. APPROCCIO ALLE TENSIONI AMMISSIBILI - **TA**
2. APPROCCIO AGLI STATI LIMITE - **SL**

L'APPROCCIO ALLE TENSIONI AMMISSIBILI APPLICA:

- dei coefficienti riduttivi alla resistenza dei materiali
- lascia invariata l'entità dei carichi di progetto

L'APPROCCIO AGLI STATI LIMITE APPLICA:

- dei coefficienti riduttivi alla resistenza dei materiali
- dei coefficienti amplificativi dei carichi di progetto

↓ Resistenze ridotte
= Carichi di progetto } **TA**

↓ Resistenze ridotte
↑ Carichi amplificati } **SL**

Faremo riferimento al metodo degli SL per coerenza con l'approccio normativo sulla valutazione dell'influenza dell'umidità e della durata del carico sulla resistenza dei materiali

APPROCCIO NORMATIVO

LA NORMATIVA TIENE CONTO DELL'EFFETTO COMBINATO DELL'UMIDITA' E DELLA DURATA DEL CARICO:

1. ASSEGNANDO LE STRUTTURE LIGNEE A CLASSI DI SERVIZIO
2. ASSEGANDO LE AZIONI A CLASSI DI DURATA DEL CARICO

NELLE VERIFICHE DI RESISTENZA VIENE UTILIZZATO IL COEFFICIENTE CORRETTIVO DELLA RESISTENZA DEL MATERIALE K_{mod}

NELLE VERIFICHE DI DEFORMABILITA' VIENE UTILIZZATO IL COEFFICIENTE CORRETTIVO DEL MODULO ELASTICO DEL MATERIALE $1/(1+K_{def})$

MATERIALE
CLASSE DI SERVIZIO
DURATA DEL CARICO } K_{mod}

MATERIALE
CLASSE DI SERVIZIO } K_{def}

La definizione delle classi di servizio e della durata dei carichi e dei coefficienti correttivi K_{mod} e K_{def} è indicata dalla normativa

APPROCCIO NORMATIVO – durata del carico

4.4.4 CLASSI DI DURATA DEL CARICO

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

Tabella 4.4.I - Classi di durata del carico

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

Le classi di durata del carico si riferiscono a un carico costante attivo per un certo periodo di tempo nella vita della struttura. Per un'azione variabile la classe appropriata deve essere determinata in funzione dell'interazione fra la variazione temporale tipica del carico nel tempo e le proprietà reologiche dei materiali.

Ai fini del calcolo in genere si può assumere quanto segue:

- il **peso proprio** e i carichi non rimovibili durante il normale esercizio della struttura, appartengono alla **classe di durata permanente**;
- i **carichi permanenti** suscettibili di cambiamenti durante il normale esercizio della struttura e i carichi variabili relativi a magazzini e depositi, appartengono alla classe di **lunga durata**;
- i **carichi variabili** degli edifici, ad eccezione di quelli relativi a magazzini e depositi, appartengono alla classe di **media durata**;
- il sovraccarico da **neve** riferito al suolo q_{sk} , calcolato in uno specifico sito ad una certa altitudine, è **da considerare in relazione alle caratteristiche del sito**;
- l'azione del **vento** e le azioni eccezionali in genere, appartengono alla classe di durata **istantanea**.

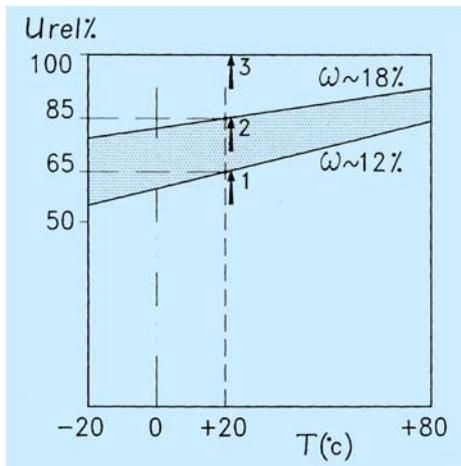
APPROCCIO NORMATIVO – classi di servizio

4.4.5 CLASSI DI SERVIZIO

Le strutture (o parti di esse) devono essere assegnate ad una delle 3 classi di servizio elencate nella Tab. 4.4.II.

Tabella 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.



Possono appartenere alla classe di servizio 1 gli elementi lignei protetti contro le intemperie come quelli posti all'interno di edifici.

Possono appartenere alla classe di servizio 2 gli elementi lignei posti all'esterno degli edifici ma protetti, almeno parzialmente, dalle intemperie e dall'irraggiamento solare.

Possono appartenere alla classe di servizio 3 gli elementi lignei posti all'esterno direttamente esposti alle intemperie.

APPROCCIO NORMATIVO – coefficiente K_{mod}

Valori di K_{mod} : tabella 4.4.IV NTC 2008

Tabella 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 Legno lamellare incollato	EN 14081-1 EN 14080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90	
Compensato	EN 636	Parti 1, 2, 3	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	
		Parti 2, 3	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	
		Parte 3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90	
Pannello di scaglie orientate (OSB)	EN 300	OSB/2	0,30	0,45	0,65	0,85	1,00	
		OSB/3 - OSB/4	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,00
			2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Pannello di particelle	EN 312	Parti 4, 5	0,30	0,45	0,65	0,85	1,00	
		Parte 5	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80	

Non vi è differenza tra legno massiccio e legno lamellare

L'influenza della colla è rilevante per i carichi permanenti

Tabella 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 Legno lamellare incollato	EN 14081-1 EN 14080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

APPROCCIO NORMATIVO – coefficiente K_{def}

4.4.7 STATI LIMITE DI ESERCIZIO

Le deformazioni di una struttura, dovute agli effetti delle azioni applicate, degli stati di coazione, delle variazioni di umidità e degli scorrimenti nelle unioni, devono essere contenute entro limiti accettabili, sia in relazione ai danni che possono essere indotti ai materiali di rivestimento, ai pavimenti, alle tramezzature e, più in generale, alle finiture, sia in relazione ai requisiti estetici ed alla funzionalità dell'opera.

In generale nella valutazione delle deformazioni delle strutture si deve tener conto della deformabilità dei collegamenti.

Considerando il particolare comportamento reologico del legno e dei materiali derivati dal legno, si devono valutare sia la deformazione istantanea sia la deformazione a lungo termine.

La deformazione istantanea si calcola usando i valori medi dei moduli elastici per le membrature e il valore istantaneo del modulo di scorrimento dei collegamenti.

La deformazione a lungo termine può essere calcolata utilizzando i valori medi dei moduli elastici ridotti opportunamente mediante il fattore $1/(1+k_{def})$, per le membrature, e utilizzando un valore ridotto nello stesso modo del modulo di scorrimento dei collegamenti.

Il coefficiente k_{def} tiene conto dell'aumento di deformabilità con il tempo causato dall'effetto combinato della viscosità e dell'umidità del materiale. I valori di k_{def} sono riportati nella Tab. 4.4.V.

APPROCCIO NORMATIVO – coefficiente K_{def}

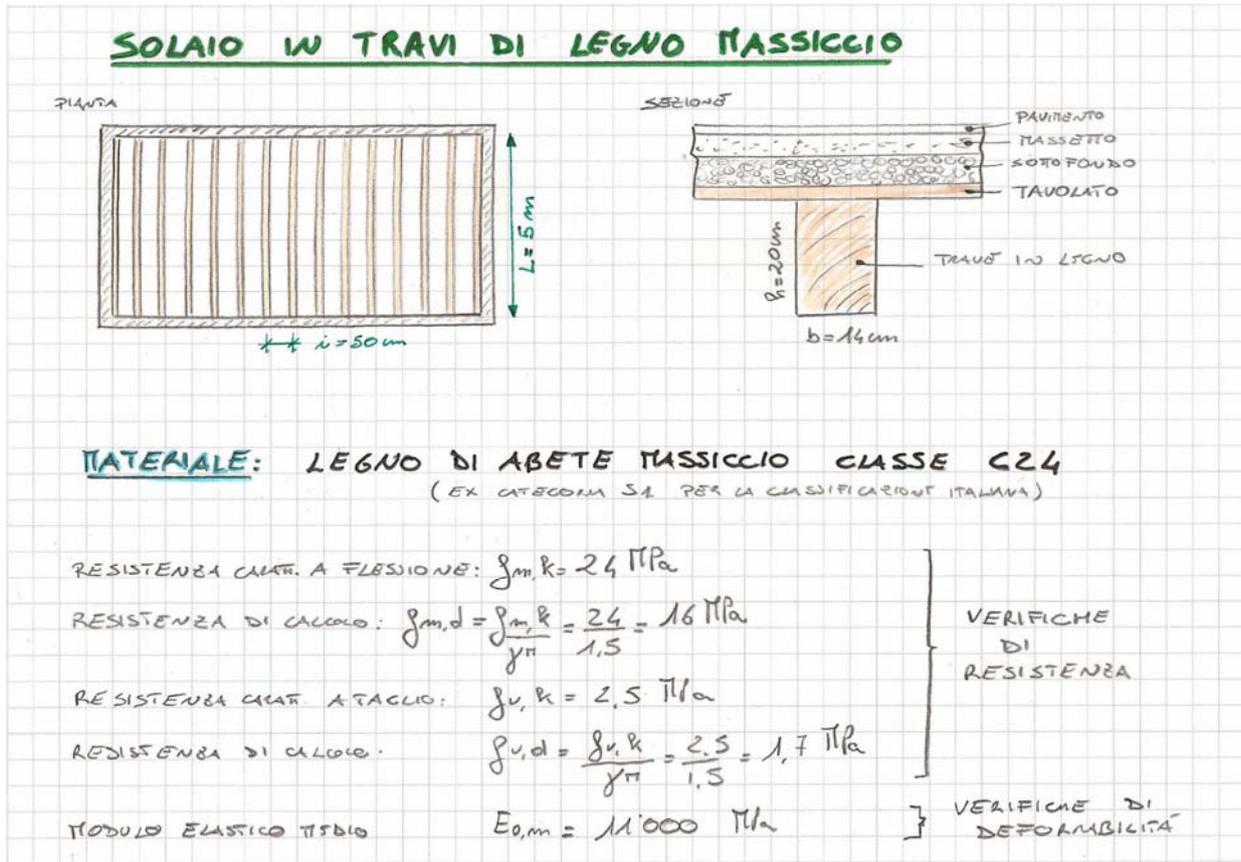
Tabella 4.4.V - Valori di k_{def} per legno e prodotti strutturali a base di legno

Materiale	Riferimento	Classe di servizio			
		1	2	3	
Legno massiccio	EN 14081-1	0,60	0,80	2,00	
Legno lamellare incollato	EN 14080	0,60	0,80	2,00	
Compensato	EN 636	Parte 1	0,80	-	-
		Parte 2	0,80	1,00	-
		Parte 3	0,80	1,00	2,50
Pannelli di scaglie orientate (OSB)	EN 300	OSB/2	2,25	-	-
		OSB/3 OSB/4	1,50	2,25	-
Pannello di particelle (truciolare)	EN 312	Parte 4	2,25	-	-
		Parte 5	2,25	3,00	-
		Parte 6	1,50	-	-
		Parte 7	1,50	2,25	-
Pannelli di fibre, alta densità	EN 622-2	HB.LA	2,25	-	-
		HB.HLA1, HB.HLA2	2,25	3,00	-
Pannelli di fibre, media densità (MDF)	EN 622-3	MBH.LA1, MBH.LA2	3,00	-	-
		MBH.HLS1, MBH.HLS2	3,00	4,00	-
	EN 622-5	MDF.LA	2,25	-	-
		MDF.HLS	2,25	3,00	-

Per legno massiccio posto in opera con umidità prossima al punto di saturazione, e che possa essere soggetto a essiccazione sotto carico, il valore di k_{def} dovrà, in assenza di idonei provvedimenti, essere aumentato a seguito di opportune valutazioni, sommando ai termini della tabella un valore comunque non inferiore a 2,0.

Prestare molta attenzione quando si mettono in opera travi non essiccate $\omega > 20\%$

Applicazione – verifica di un solaio in legno



Applicazione – verifica di un solaio in legno

Note generali sulle modalità di esecuzione dell'applicazione:

- In via semplificata non si è tenuto conto dei differenti coefficienti di sicurezza da applicare ai carichi permanenti g_1 e g_2 ma si è applicato un unico coefficiente amplificativo.
- Si è effettuata la verifica per la sola combinazione SLU che considera i carichi accidentali con coefficiente riduttivo delle resistenze K_{mod} relativo alle azioni di media durata. A rigore dovrebbe essere effettuata anche la verifica considerando la combinazione SLU con soli carichi permanenti e coefficiente riduttivo delle resistenze K_{mod} relativo alle azioni permanenti.
- La verifica di deformabilità a lungo termine è stata condotta in maniera semplificata trascurando il contributo dato dalla porzione dei carichi accidentali che rientrano nella combinazione quasi permanente mediante il coefficiente Ψ_2 .

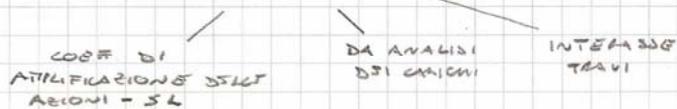
Applicazione – verifica di un solaio in legno

CARICHI DI PROGETTO:

PAVIMENTO	0,40 kN/mq	} CARICO PERMANENTE	$g = 2 \text{ kN/mq}$
MASSETTO	0,70 kN/mq		
SOTTOFONDO	0,65 kN/mq		
TAUOLATO	0,15 kN/mq		
INC. TRAVI	0,30 kN/mq	} CARICO ACCIDENTALE $q = 2 \text{ kN/mq}$	
CARICO DI CALPESTIO	2,00 kN/mq		
TOT 4,00 kN/mq			

• CARICO DI PROGETTO PER LE VERIFICHE DI RESISTENZA:

$$Q_{RESISTENZA} = \gamma \cdot (g+q) \cdot \dot{\gamma} = 1,5 \cdot 4 \cdot 0,5 = 3 \text{ kN/m}$$



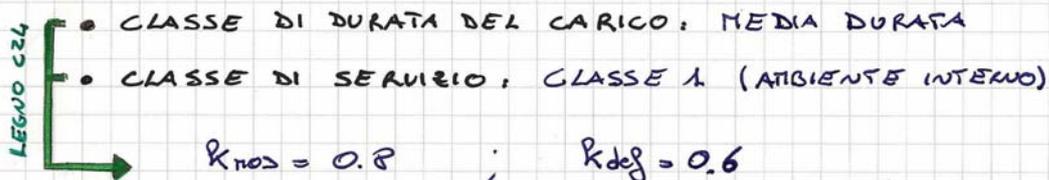
• CARICO DI PROGETTO PER LE VERIFICHE DI DEFORMABILITÀ:

CALCOLO DELLA FRECCIA INSTANTANEA $Q_{DEF-IST} = (g+q) \cdot \dot{\gamma} = 4 \cdot 0,5 = 2 \text{ kN/m}$

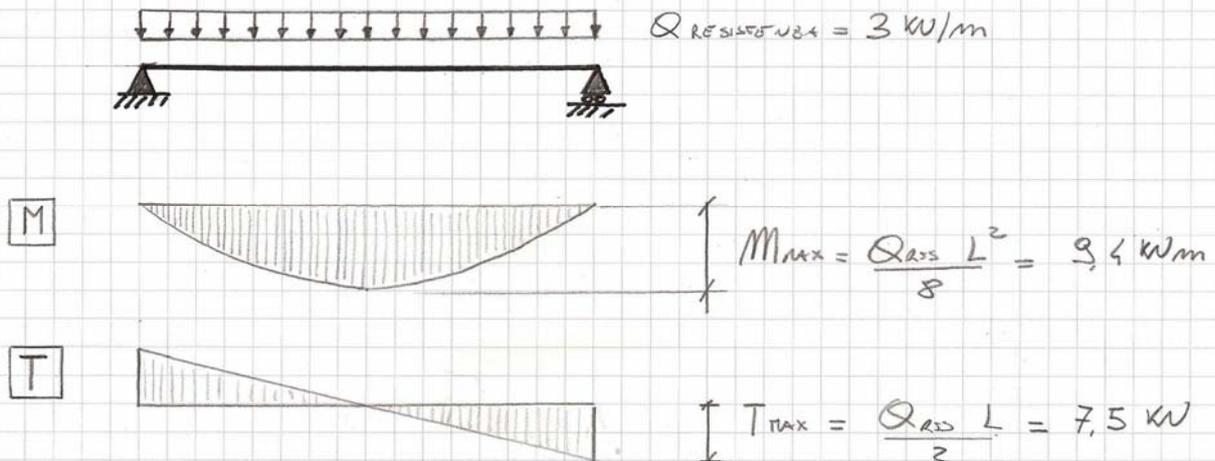
CALCOLO DELL'INCRISTATO DI FRECCIA DOVUTO AGLI EFFETTI VISCOSI $Q_{DEF-DIF} = g \cdot \dot{\gamma} = 2 \cdot 0,5 = 1 \text{ kN/m}$

Applicazione – verifica di un solaio in legno

COEFFICIENTI CORRETTIVI k_{mod} E k_{def} :

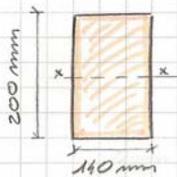


CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI:



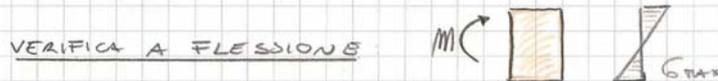
Applicazione – verifica di un solaio in legno

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE



AREA: $A = b \cdot h = 28 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$
 MODULO DI RESISTENZA: $W_{xx} = b h^2 / 6 = 9,3 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$
 MOMENTO D'INERZIA: $J_{xx} = b h^3 / 12 = 9,3 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$

VERIFICHE DI RESISTENZA



TENSIONE SUL MATERIALE: $\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_{xx}} = \frac{94 \cdot 10^6}{9,3 \cdot 10^5} = 10,1 \text{ MPa}$

TENSIONE LIMITE: $\sigma_{m,lim} = k_{mod} \cdot \sigma_{m,d} = 0,8 \cdot 16 = 12,8 \text{ MPa}$

$\sigma_{max} = 10,1 \text{ MPa} < \sigma_{m,lim} = 12,8 \text{ MPa} \rightarrow$ VERIFICA SOBBISSATA



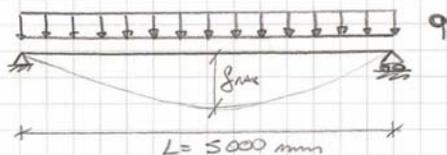
TENSIONE SUL MATERIALE: $\tau_{max} = T_{max} / A = 7,5 \cdot 10^3 / 28 \cdot 10^3 = 0,26 \text{ MPa}$

TENSIONE LIMITE: $\tau_{v,lim} = k_{mod} \cdot \tau_{v,d} = 0,8 \cdot 1,67 = 1,34 \text{ MPa}$

$\tau_{max} = 0,26 \text{ MPa} < \tau_{v,lim} = 1,34 \text{ MPa} \rightarrow$ VERIFICA SOBBISSATA

Applicazione – verifica di un solaio in legno

VERIFICHE DI DEFORMABILITÀ



$$f_{max} = \frac{5}{384} \frac{q L^4}{E J}$$

CALCOLO DELLA DEFORMAZIONE ISTANTANEA:

$$f_{ist} = \frac{5}{384} \frac{q_{ist} L^4}{E J} = \frac{5}{384} \frac{2 \cdot 5000^4}{11000 \cdot 9,3 \cdot 10^7} = 15,8 \text{ mm}$$

CALCOLO DELL'INCREMENTO DI FRECCA DOVUTO ALLA VISCOSITÀ:

$$f_{vis} = \frac{5}{384} \frac{q_{vis} L^4}{E J} \cdot k_{deg} = \frac{5}{384} \frac{1 \cdot 5000^4}{11000 \cdot 9,3 \cdot 10^7} \cdot 0,6 = 4,8 \text{ mm}$$

DEFORMAZIONE ISTANTANEA = $f_{ist} = 15,8 \text{ mm} = L/316 < L/300$ OK!

DEFORMAZIONE A LUNGO TERMINE = $f_{tot} = f_{ist} + f_{vis} = 15,8 + 4,8$

$= 20,6 \text{ mm} = \frac{L}{243} < \frac{L}{200}$ OK!

GRAZIE PER L'ATTENZIONE

Verifica di resistenza e di deformabilità di un solaio in legno

aspetti normativi ed applicazione

ing. Luca Pozza

e.mail: pozza@dic.unipd.it

VENEZIA - 8 Marzo 2012