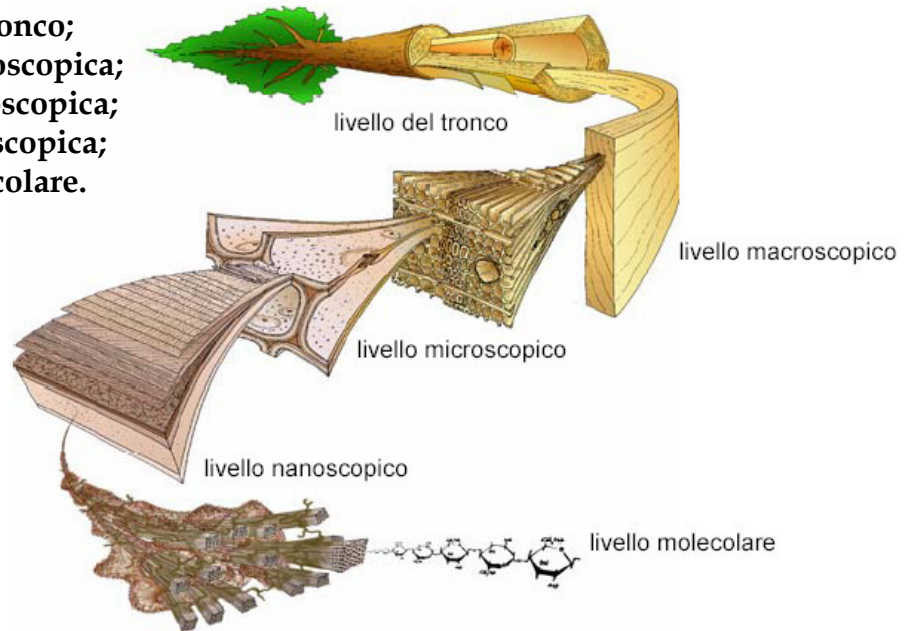


# Il legno

## • La struttura del legno

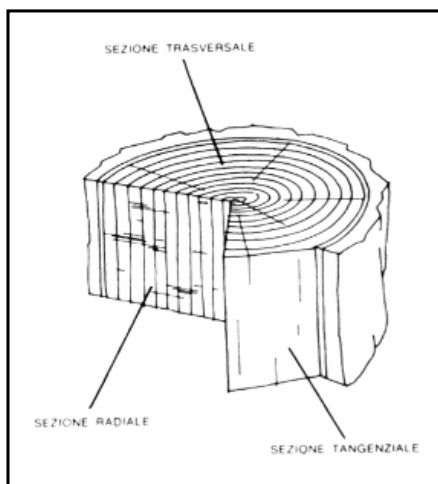
Fondamentalmente la struttura del legno può essere esaminata a cinque livelli:

- a livello della struttura del tronco;
- a livello della struttura macroscopica;
- a livello della struttura microscopica;
- a livello della struttura nanoscopica;
- a livello della struttura molecolare.



Dal punto di vista ingegneristico interessa principalmente la struttura del legno a livello del tronco e a livello macroscopico.

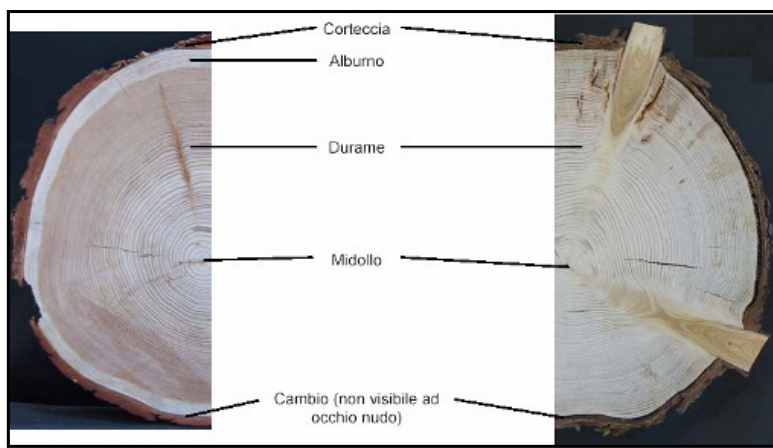
### ➤ Struttura del legno a livello del tronco



Con riferimento al tronco, si possono individuare tre sezioni:

- **TRASVERSALE** → perpendicolare all'asse del tronco
- **RADIALE** → parallelo all'asse del tronco e parallelo ai raggi midollari
- **TANGENZIALE** → parallelo all'asse del tronco e ortogonale ai raggi midollari

ad ognuna delle quali sono legate particolari proprietà: il legno fornisce infatti una risposta diversa a seconda che le azioni agiscano in un piano o in un altro.



Latifolia

Conifera

Le uniche cellule vive del tronco sono concentrate in un anello sottile detto **CAMBIO** che ha la funzione di generare le cellule dei tessuti legnosi verso l'interno (**XILEMA**) che hanno la funzione di sostegno e di trasporto della linfa da radici a chioma e di tessuti legnosi verso l'esterno (**CORTECCIA**) con funzione di trasporto di linfa da chioma a radici e di protezione.

Lo xilema è ulteriormente suddiviso in due zone: il durame e l'alburno. Il **DURAME** è la porzione più interna ed estesa del tronco nella quale si trovano le cellule morte cui sono associati fenomeni degenerativi che impediscono la circolazione dei liquidi e determinano la deposizione di sostanze spesso colorate. L'**ALBURNO** è costituito da cellule con funzione di trasporto della linfa grezza ha estensione più ridotta e si caratterizza con un colore più chiaro.

Tra le zone caratteristiche dell'accrescimento, la parte più resistente è il durame, mentre l'alburno, più esterno, rappresenta la parte fisiologicamente attiva e costituisce una zona facilmente putrescibile. Le zone periferiche non hanno interesse per l'impiego strutturale.

## ➤ La struttura del legno a livello macroscopico

Struttura, disposizione, forma e grandezza dei tessuti o degli insiemi risultanti da diversi tipi di cellule (da cui risulta l'aspetto di una specie legnosa) hanno carattere macroscopico, ovvero sono riconoscibili ad occhio nudo o per lo meno con una lente d'ingrandimento.

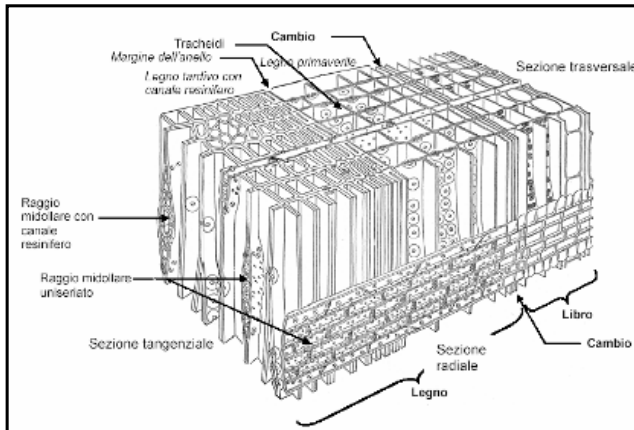
- Gli **ANELLI** si formano in seguito all'accrescimento del fusto interrotto da periodi di stasi. Nelle aree climatiche con pause invernali nell'attività vegetativa (regioni temperato-fredde), gli anelli di accrescimento corrispondono all'accrescimento arboreo annuale. Negli alberi sempreverdi delle regioni tropicali gli anelli sono quasi del tutto assenti. Gli anelli di accrescimento sono visibili perché si formano cellule di differente tipo e dimensione, all'inizio e verso la fine del periodo di attività vegetativa. Di conseguenza, si distingue all'interno di un anello tra **LEGNO PRIMAVERILE** (primaticcio) e **LEGNO TARDIVO**. Mentre il legno primaverile assicura il rapido trasporto della linfa all'inizio della stagione vegetativa, al legno tardivo formatosi in estate spetta principalmente il compito del sostegno. La struttura ad anelli di accrescimento risulta più evidente nel legno di **CONIFERA** e meno evidente nel legno di **LATIFOGLIA**.

- I **RAGGI MIDOLLARI** sono presenti in tutte le conifere e latifoglie ma presentano caratteristiche diverse da specie a specie. Sono linee chiare molto sottili orientate a raggiera dalla periferia del tronco fino al midollo. Servono per la conduzione radiale e l'immagazzinamento delle sostanze prodotte dall'albero.

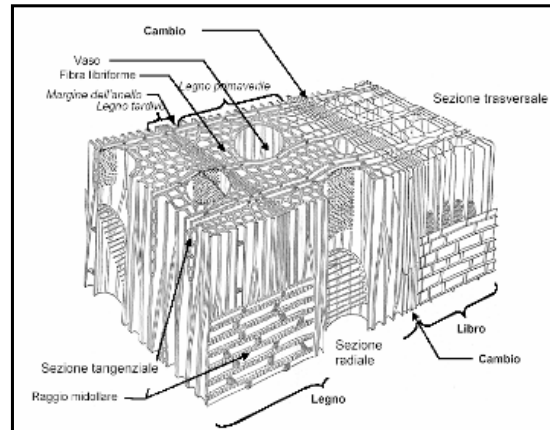
## ➤ La struttura del legno a livello microscopico

La struttura delle cellule del legno può essere osservata mediante un microscopio. La maggior parte delle cellule del legno sono disposte parallelamente all'asse del tronco o meglio "in direzione della fibratura".

In relazione alle tre funzioni principali del legno (sostegno, conduzione ed immagazzinamento), i tessuti (insiemi di cellule dalle medesime caratteristiche) si dividono in: **TESSUTO DI SOSTEGNO, TESSUTO CONDUTTORE E TESSUTO DI RISERVA.**

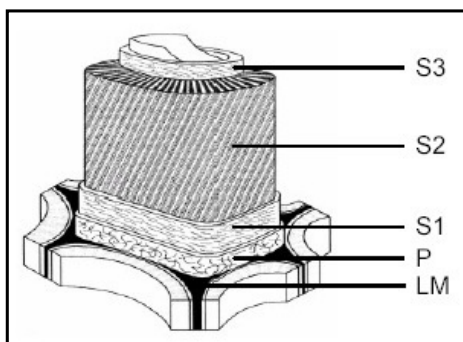


Conifera



Latifoglia

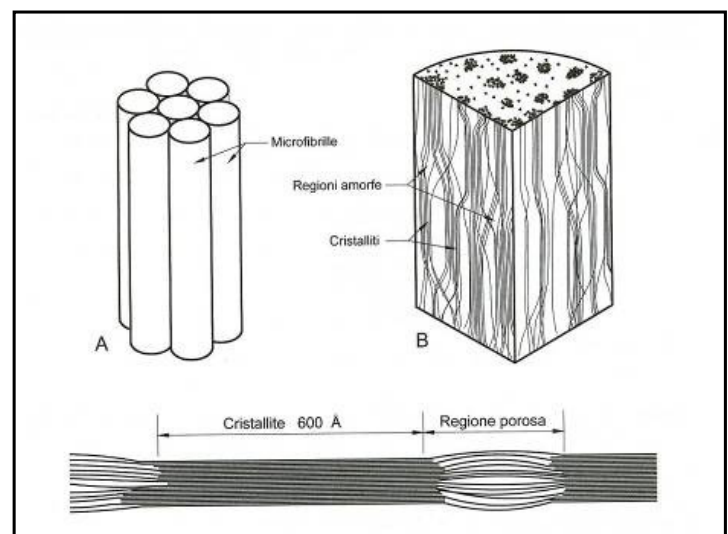
## ➤ La struttura del legno a livello nanoscopico



Dal punto di vista ingegneristico la parete cellulare può essere pensata come un materiale fibroso composto: tante lamelle di fibrille di cellulosa (ad alta resistenza meccanica) sono disposte in una matrice di lignina.

La disposizione delle fibrille di cellulosa prevalentemente parallelo all'asse della fibra legnosa determina l'elevata resistenza a trazione nella direzione della fibre.

### La struttura delle pareti cellulari.



La struttura del legno ai diversi livelli determina le **CARATTERISTICHE FISICHE** e **MECCANICHE** del legno.

# • Caratteristiche fisiche del legno

## ➤ Umidità del legno

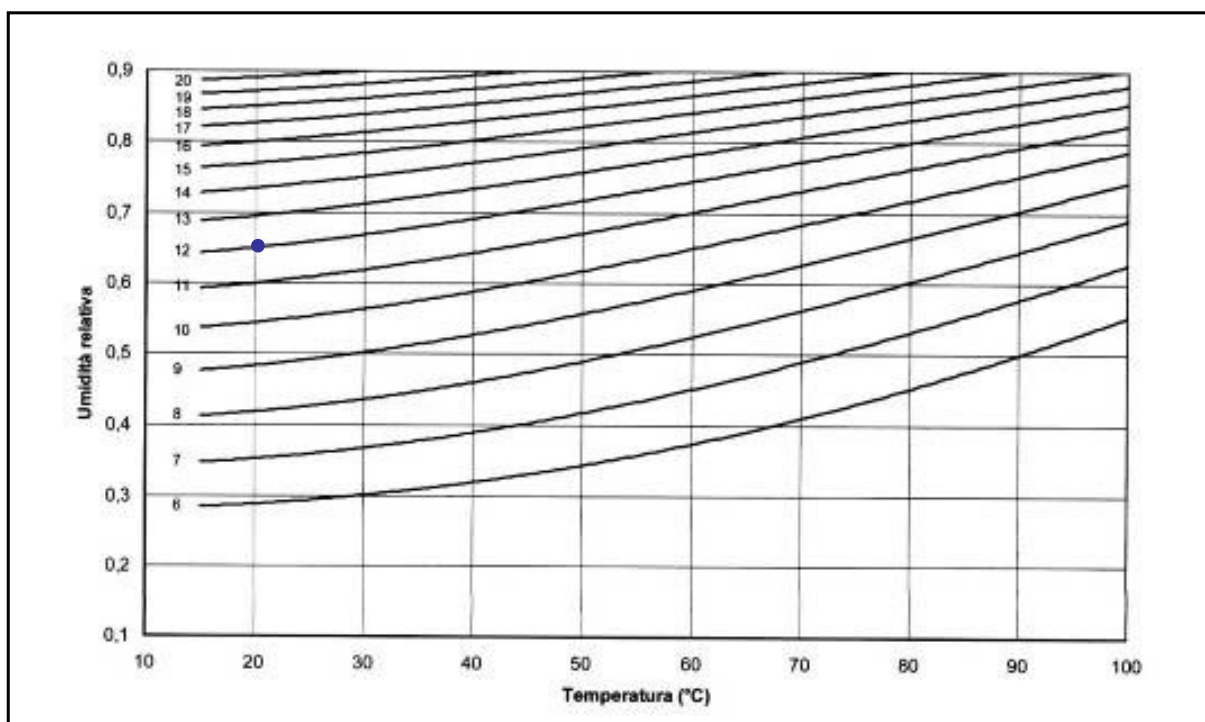
Il legno è un **MATERIALE IGROSCOPICO** nel senso che mostra una spiccata affinità con l'acqua. Ne può contenere in quantità variabili. Tali variazioni dipendono dalla struttura fisica del materiale poroso e dalla sua natura chimica.

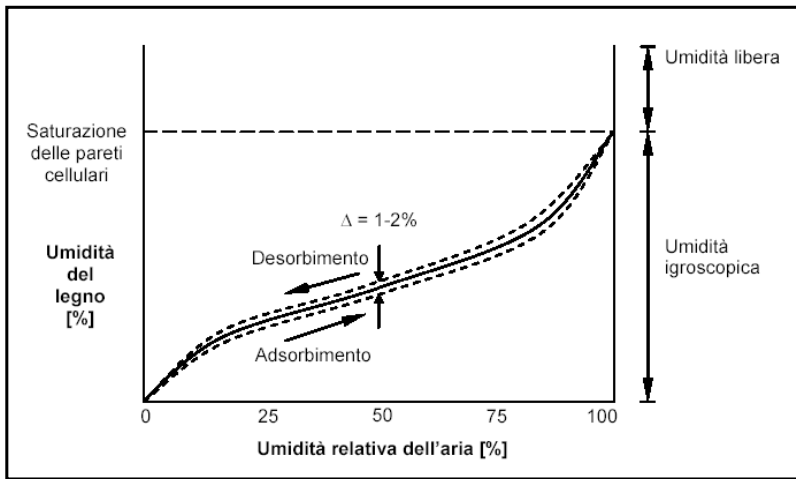
L'umidità del legno influenza notevolmente quasi tutte le caratteristiche fisiche e meccaniche del legno, inoltre dal grado di umidità dipende l'attaccabilità da parte di parassiti; per questo motivo è particolarmente importante la sua determinazione e la valutazione della stabilità del contenuto d'acqua.

Variazioni di umidità nel materiale dipendono direttamente dalle condizioni climatiche dell'ambiente e quindi da **TEMPERATURA** e **UMIDITÀ RELATIVA** dell'**AMBIENTE**, infatti un elemento ligneo per qualsiasi condizione iniziale, posto in ambiente con temperatura e umidità relativa costanti raggiunge un determinato valore di umidità quando raggiunge **L'EQUILIBRIO IGROSCOPICO CON L'AMBIENTE**. L'umidità di equilibrio dipende anche da specie legnosa e da storie di variazione di umidità precedenti.

Per un impiego corretto del legno strutturale è fondamentale che il materiale subisca un **PROCESSO DI STAGIONATURA** atto a portarlo all'umidità media di equilibrio con l'ambiente in cui saranno utilizzati i manufatti.

In **CONDIZIONI NORMALI** si assume un'umidità del 12 %. Tali condizioni sono assunte convenzionalmente in Italia per legno di conifera in condizioni ambientali di 20°C e 65% di umidità relativa. Alcuni grafici permettono di ricavare umidità del legno per condizioni ambientali differenti.





Se l'umidità del legno si trova al di sopra del **PUNTO DI SATURAZIONE**, l'acqua si trova allo stato liquido nel lume delle cellule come cosiddetta "acqua libera" o "di imbibizione" (perché del tutto indipendente dalle pareti cellulari). Variazioni di umidità in questo intervallo influenzano pochissimo le caratteristiche fisico-meccaniche del legno.

L'umidità di saturazione dipende dalla specie legnosa e per la maggior parte di esse si trova nell'intervallo 24% - 32%. In prima approssimazione si può considerare un valore medio pari al 28%.

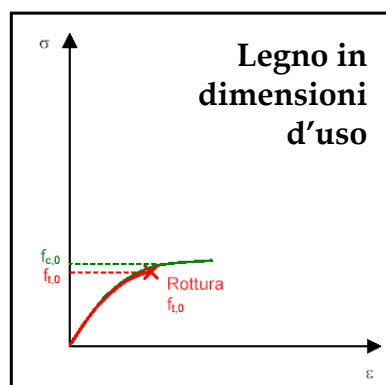
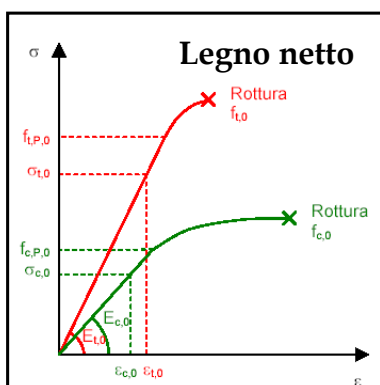
Per umidità del legno al di sotto del punto di saturazione, l'acqua viene **ADSORBITA O DESORBITA** solo dalle pareti cellulari come cosiddetta "acqua legata". In questo intervallo, l'acqua immagazzinata ha un'influenza decisiva sulle caratteristiche fisico-meccaniche del legno. In particolare si verifica il fenomeno del **RITIRO** (desorbimento → diminuzione del volume) o del **RIGONFIAMENTO** (adsorbimento → aumento del volume).

## • Proprietà meccaniche del legno

### ➤ Legno netto e legno in dimensioni d'uso

E' molto importante tener conto della differenza tra i vari livelli di "struttura" del materiale e della loro influenza sul comportamento meccanico. Ciò è dovuto al fatto che per il **LEGNO in DIMENSIONI d'USO** risulta particolarmente importante la presenza dei **DIFETTI** per la determinazione delle proprietà meccaniche.

Si definisce **LEGNO NETTO** un materiale ideale privo di difetti. Realizzando le prove di caratterizzazione meccanica su provini molto piccoli e privi di difetti si ottengono le grandezze meccaniche relative al legno netto.

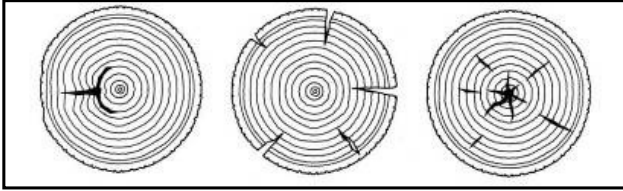


La presenza dei difetti influenza molto più marcatamente il comportamento a trazione

Si osserva la diversità di comportamento del materiale a **TRAZIONE** (elastico-fragile) e a **COMPRESSIONE** (elastico-duttile)

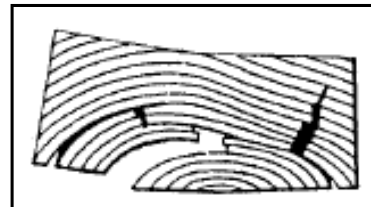
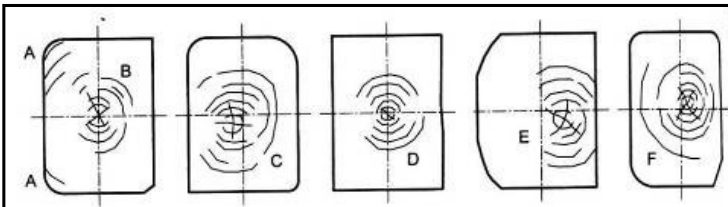
## ➤ I difetti del legno

Le proprietà meccaniche del legno in dimensioni d'uso dipendono dalle caratteristiche del **LEGNO NETTO** e dai **DIFETTI** in esso presenti. Tali difetti, come già accennato, sono singolarità inevitabilmente presenti in un materiale naturale quale il legno, ma influenzano notevolmente le caratteristiche meccaniche del materiale.

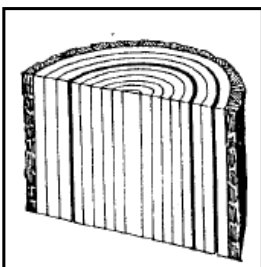
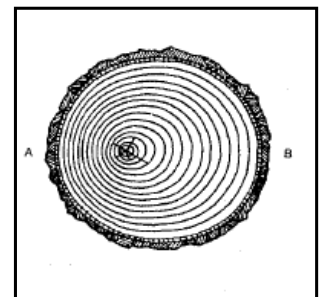


Diverse tipologie di **FESSURAZIONI** dovute a fulmini, gelo o perdita repentina di umidità dalle testate. (Lesioni rimarginate, cretti periferici o centrali )

Le **CIPOLLATURE** sono separazioni parziali o totali fra due anelli di accrescimento, causate da gelo o eccessivo calore, forte vento o cattiva manutenzione.



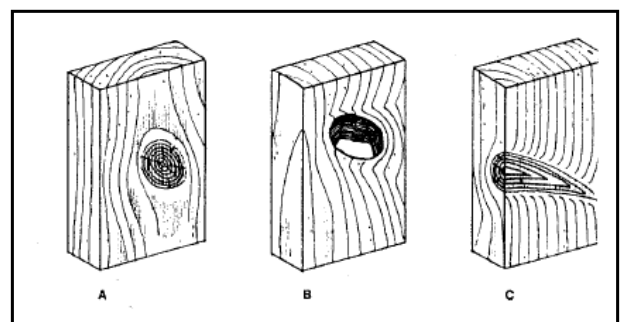
Il **CUORE ECCENTRICO** si manifesta negli alberi che crescono su terreno fortemente inclinato. Può anche dipendere da irregolare ripartizione della luce, vicinanza di una costruzione, irregolarità delle radici o della chioma. E' un'imperfezione da non sottovalutare in quanto presenta zone con struttura diversa (una con anelli stretti e una con anelli larghi) e il legno che deriva reagisce in modo differente agli agenti fisico-meccanici



La **LUNATURA** si verifica negli alberi che hanno sofferto il gelo. Rimane colpita la parte interna dell'alburno, i cui strati per la morte delle cellule, non si trasformano in durame. Gli strati esterni invece, rimasti vitali con il cambio si trasformano gradatamente in durame e ricoprono la zona atrofizzata. Si riscontra, così, un doppio alburno: quello interno morto e quello esterno vivo. Questo difetto è di grave pregiudizio nei confronti della compattezza, dell'omogeneità e della durata del legname.

I **NODI FISSI** sono porzioni di rami giovani incluse all'interno della pianta durante il processo di accrescimento.

I **NODI MOBILI** sono prodotti da piccoli monconi di rami morti rotti o potati che nell'accrescimento dell'albero furono rivestiti o coperti  
**NODI A BAFFO**



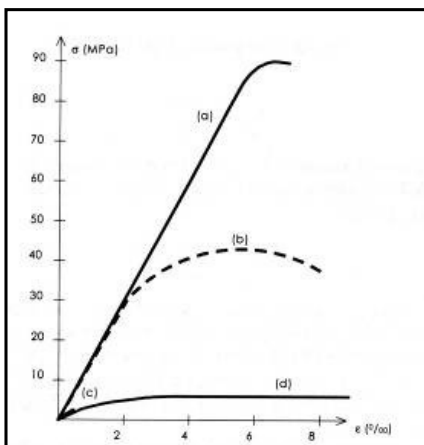
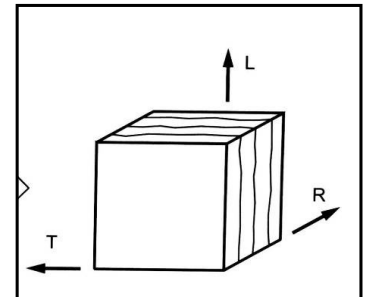
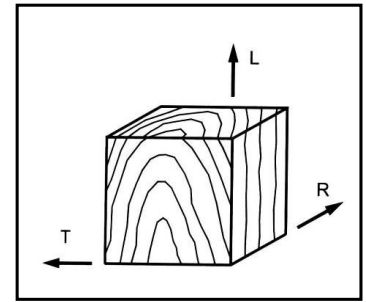
## ➤ Anisotropia

In virtù della sua struttura, il legno possiede caratteristiche meccaniche che assumono ordini di grandezza differenti nelle tre direzioni anatomiche fondamentali (**ANISOTROPIA**):

- longitudinale (L);
- radiale (R);
- tangenziale (T).

Negli impieghi strutturali, le caratteristiche meccaniche sono definite in base a due sole direzioni ortogonali e il legno è assimilato a materiale **ORTOTROPO**:

- parallelamente alla fibratura
- perpendicolarmente alla fibratura

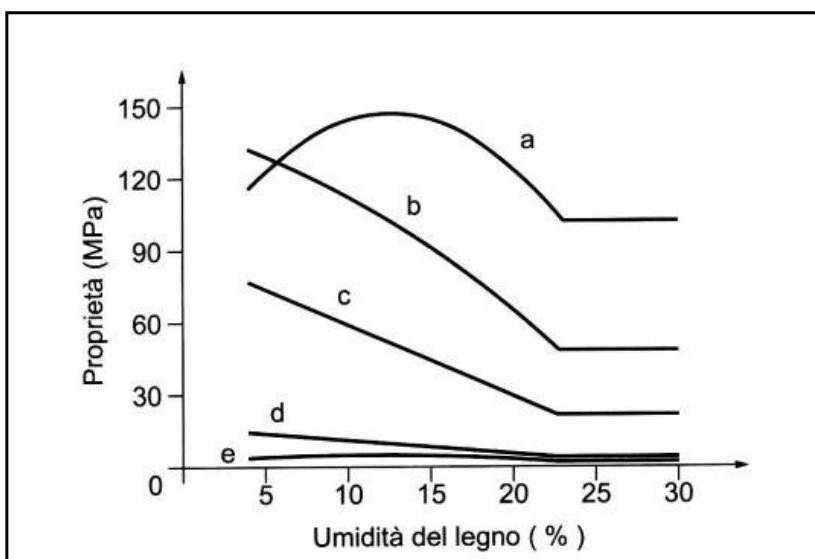


Si osservano curve tipiche di tensione deformazione per legno netto di conifera per tensioni di trazione (a) e compressione (b) parallele alla direzione delle fibre e di trazione (c) e compressione (d) ortogonali alla direzione delle fibre.

I valori di resistenza e deformabilità nella direzione ortogonale alla fibratura sono circa 1/10 di quelle nella direzione parallela.

## ➤ Influenza dell'umidità

L'umidità del legno, che dipende dalle condizioni ambientali (temperatura e umidità relativa) influenza notevolmente le proprietà meccaniche del legno come si può notare nel grafico seguente.



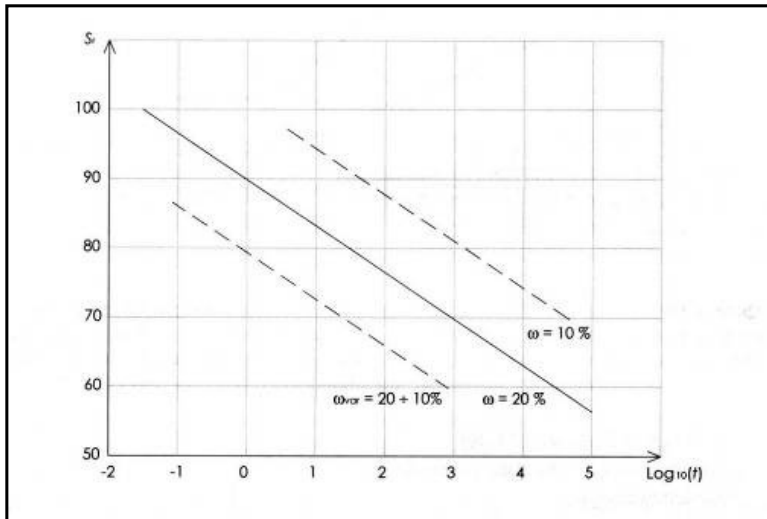
In particolare per le resistenze a trazione (a), flessione (b) e compressione (c) parallela alla fibratura si osserva una notevole diminuzione al crescere dell'umidità del legno. Tale diminuzione è, invece, meno marcata per resistenza a compressione (d) e a trazione (e) ortogonali alla fibratura.

Ci si riferisce alle **CONDIZIONI NORMALI** dell'ambiente caratterizzate da una temperatura ambientale di 20°C e un'umidità relativa del 65% che nelle conifere portano ad un'umidità del legno del 12%.

## ➤ Influenza della durata del carico

La durata del carico ha un effetto rilevante sulla resistenza del legno a causa del **COMPORTAMENTO VISCOSO** del materiale. Le normative riducono con dei coefficienti la resistenza del materiale quando è soggetto a carichi di lunga durata.

Il comportamento viscoso del legno provoca la nascita di deformazioni differite (fenomeno del **CREEP**) a carico costante. Questo in particolare per azioni combinate di taglio flessione e per azioni di compressione. Nelle verifiche di deformabilità bisogna tener conto di tali deformazioni differite.



Nel grafico a fianco è mostrato come influisce la durata del carico ( $t$ ) sulla resistenza a flessione del legno netto in differenti situazioni di umidità. In particolare tale resistenza diminuisce (con andamento logaritmico) al variare del tempo.

## • Comportamento a trazione parallela alla fibratura

### LEGNO NETTO

La trazione parallela alla fibratura è la proprietà che raggiunge i più alti valori di resistenza. La legge tensione-deformazione è lineare fino a rottura. Valori di riferimento:

Resistenza: 80 - 100 MPa

Modulo elastico: 14000 - 15000 MPa

### LEGNO STRUTTURALE

I difetti riducono notevolmente la capacità resistente e le proprietà di rigidezza a trazione assiale anche se la linearità della curva tensione-deformazioni rimane fino a rottura. Ciò deriva dal fatto che i nodi hanno una resistenza a trazione quasi nulla

Resistenza: 10 - 40 MPa

Modulo elastico: 10000 - 13000 MPa



### LEGNO IN OPERA

E' difficile raggiungere il cedimento di elementi per trazione parallela alle fibre in quanto si raggiunge prima cedimento delle unioni.



- **Comportamento a trazione ortogonale alla fibratura**

## LEGNO NETTO

Nel legno senza difetti, la trazione perpendicolare alla fibratura è la caratteristica di sollecitazione che raggiunge i valori resistenti minimi. È difficile elencare valori medi anche indicativi, a causa della varietà di forma dei provini utilizzati dalle norme dei diversi Paesi per eseguire la prova di rottura.

## LEGNO STRUTTURALE

Le fessurazioni, i nodi, le brusche variazioni di accrescimento diametrico contribuiscono a ridurre ulteriormente la tensione di rottura. Per questa proprietà i dati sperimentali indicano un sensibile "effetto di volume": più grande è il volume sollecitato tanto più probabile è incontrare un difetto che inneschi la rottura prematuramente. Valori medi orientativi riportati in letteratura:

- tensione di rottura (riferita a un volume  $V_0 = 0,02 \text{ m}^3$ )  
 $\approx 0,5 \div 0,6 \text{ MPa}$ ;
- rigidità  $\approx 300 \div 500 \text{ MPa}$ ;
- dilatazione a rottura  $\approx 1 \div 1,5\%$ .



## LEGNO IN OPERA

Questa sollecitazione si incontra soprattutto nelle connessioni dove si possono generare stati di coazione in corrispondenza di connettori meccanici (bullonature, staffature, ...) per variazioni di umidità in legno non correttamente stagionato; oppure alle estremità di travi intagliate

- **Comportamento a compressione parallela alla fibratura**

## LEGNO NETTO

Rispetto alla trazione assiale già considerata, il legno senza difetti evidenzia una minore resistenza e una certa plasticità prima di giungere a rottura. Valori medi riportati in letteratura:

- resistenza  $\approx 40 \div 50 \text{ MPa}$ ;
- modulo di elasticità = come a trazione assiale;
- dilatazione a rottura  $\approx 3,5\%$ ;  
(con escursione però in campo plastico fino al doppio e più).

## LEGNO STRUTTURALE

La presenza di difetti porta il legno strutturale ad avere un comportamento resistente elastico-lineare a rottura anche a compressione assiale. Analogamente a quanto già riportato per la trazione assiale, parte della riduzione della resistenza è dovuta alla modalità di prova adottata nelle Norme tecniche, in cui il carico (in presenza di difetti del legno), finisce per essere applicato eccentricamente rispetto al baricentro della sezione effettiva. Valori medi orientativi riportati in letteratura:

- tensione di rottura  $\approx 25 \div 40 \text{ MPa}$ ;
- rigidità  $\approx$  come a trazione assiale;
- dilatazione a rottura  $\approx 3\%$ .



## LEGNO IN OPERA

È raro che si manifestino in opera cedimenti per compressione pura senza l'insorgenza di fenomeni di instabilità.

## • Comportamento a compressione ortogonale alla fibratura

### LEGNO NETTO

Il comportamento del legno a compressione perpendicolare alla fibratura diverge sostanzialmente da quanto finora visto, poiché invece di una rottura netta si riscontra una deformazione plastica che inizia fin da carichi modesti e prosegue indefinitamente. Il limite di rottura è quindi determinato su base convenzionale, usando un particolare metodo di interpretazione della curva tensione-deformazione. Fatta pari al 100% la resistenza quando il carico agisce in direzione tangenziale (anelli di accrescimento paralleli alla retta di azione della forza), si ha una riduzione all'80% in direzione radiale (anelli perpendicolari alla retta di azione), e fin al 60% in direzione intermedia (anelli al 45°). Valori medi riportati in letteratura:

- resistenza = 8 ÷ 10 MPa;
- modulo di elasticità = come a trazione trasversale;
- v dilatazione a rottura = 10% e oltre.



### LEGNO STRUTTURALE

I difetti del materiale hanno scarsa influenza sulla già modesta capacità resistente: i nodi posso a volte ridurre la deformabilità.

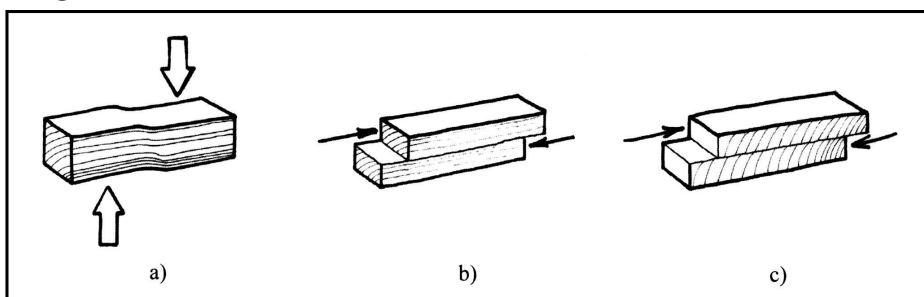
### LEGNAME IN OPERA

La bassa resistenza a compressione ortogonale alle fibrature può determinare la rottura localizzata in dentature di unioni.

## • Comportamento a taglio

### LEGNO NETTO

Bisogna distinguere fra resistenza a tranciatura delle fibre per taglio lungo una sezione trasversale dell'elemento; resistenza a scorrimento rispetto a piani radiale o tangenziale. Si fa riferimento al valore minimo fra i tre che coincide con lo scorrimento lungo i piani tangenziali. Valore di riferimento di resistenza: 8 MPa.



### LEGNO STRUTTURALE

Certi tipi di difetti, quali ad esempio le fessurazioni da ritiro e le cipollature, riducono sensibilmente la capacità resistente allo scorrimento; i nodi, invece, possono rappresentare un elemento di rinforzo. Nell'Eurocodice i valori non risentono di un effetto di volume, e tengono conto delle normali fessurazioni da ritiro, ma non delle eventuali cipollature, che nel legno strutturale nuovo non sono di norma ammesse o sono comunque soggette a severe limitazioni. Valori medi orientativi di tensione di rottura a scorrimento si aggirano intorno ai 2 ÷ 4 MPa.

## • Comportamento a flessione

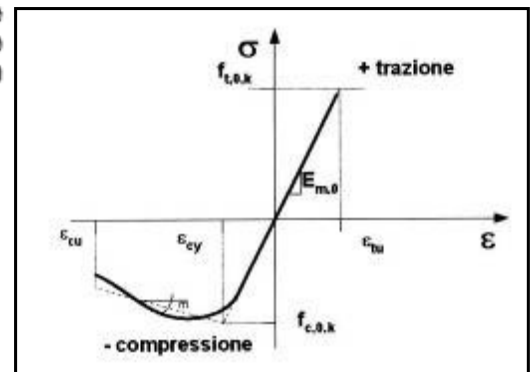
### LEGNO NETTO

La resistenza viene determinata sulla base di una serie di ipotesi semplificative:

- la legge tensione-deformazione si assume di tipo elastico-lineare fino a rottura per la componente di trazione, e di tipo elastico, perfettamente plastico, per la componente di compressione;
- la rottura si considera completa quando si supera la resistenza per trazione dal lato delle fibre tese (sperimentalmente si constata che a quel punto in realtà si è spesso già verificata una plasticizzazione significativa del materiale all'estradosso, dato che la resistenza a compressione assiale del legno è pari a circa la metà di quella a trazione assiale);
- è valido il principio di conservazione delle sezioni piane (convalidato sperimentalmente).

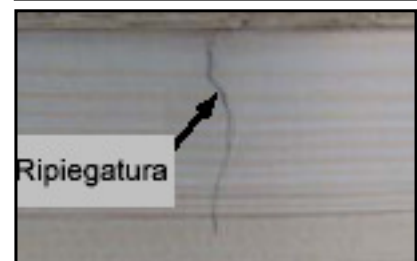
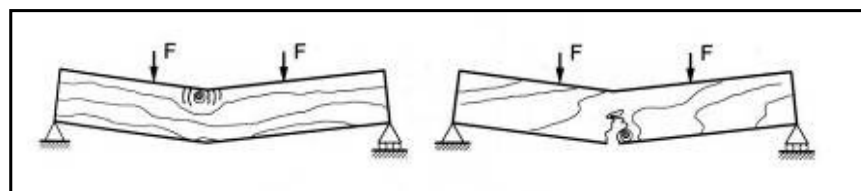
Con tali premesse si arriva a determinare una resistenza a flessione convenzionale che può essere espressa, per una trave omogenea a sezione rettangolare, come combinazione delle resistenze a compressione e a trazione. Valori medi riportati in letteratura:

- resistenza  $\approx 60 \div 90 \text{ MPa}$ ;
- modulo di elasticità  $\approx$  come a trazione assiale.



### LEGNO STRUTTURALE

Il comportamento a flessione del legno strutturale risulta condizionato dalla presenza dei nodi che, innescando una rottura prematura a trazione, impediscono il raggiungimento delle dilatazioni di plasticizzazione a compressione, per cui la sezione resta quasi sempre nel campo lineare della relazione tensioni-deformazioni. "Quasi" perché talvolta l'assenza di difetti in grado di innescare la rottura fragile della trave (sul bordo teso) a carichi relativamente bassi può consentire l'innalzamento delle tensioni a livelli tali da superare il limite di rottura a compressione assiale per il legno all'estradosso mentre il bordo opposto, teso, è ancora all'interno del campo di elasticità del materiale (vedi "Tipologie principali di cedimento negli elementi strutturali lignei", pag. 70). I codici di calcolo ipotizzano un comportamento a flessione del legno strutturale lineare-elastico fino a rottura.



### LEGNO IN OPERA

Il comportamento a flessione del legname in opera è fortemente compromesso dalla presenza di zone degradate. Tale peggioramento risulta particolarmente sensibile per riduzioni anche modeste dell'altezza nominale (ad esempio per la presenza di zone di alborno attaccate da insetti), dato che questa dimensione entra al quadrato nel calcolo della capacità portante dell'elemento inflesso.

# • Classificazione del legname da costruzione

In base alla quantità e qualità di difetti presenti nell'elemento strutturale è possibile definire 4 categorie di legname. Le prime due sono quelle raccomandabili per l'impiego strutturale:

**1ª CATEGORIA:** Legname assolutamente sano, immune da alterazioni cromatiche e da perforazioni o guasti provocati da insetti o funghi; esclusione di tasche di resina, di cipollature e di qualsiasi altra lesione; fibratura regolare con deviazione massima rispetto all'asse longitudinale di 1/15; nodi con diametro non superiore a 1/5 della dimensione minima di sezione e frequenza molto bassa.

**2ª CATEGORIA:** Legname sano, immune da perforazioni e guasti provocati da insetti o funghi, con tolleranza di lievi alterazioni cromatiche; esclusione di cipollature e altre lesioni, con tolleranza di tasche di resina di spessore non superiore a 3 mm; andamento delle fibre con deviazione massima di 1/8 rispetto all'asse longitudinale; nodi con diametro non superiore a 1/3 della dimensione minima di sezione e frequenza bassa; tolleranza di lievi fessurazioni alle estremità.

In base a tali categorie i manuali relativi alle costruzioni in legno (Giordano) forniscono i valori di riferimento per le proprietà meccaniche del legno.

Tali tabelle, comunemente utilizzate nelle verifiche di consolidamento di strutture lignee esistenti, forniscono i valori delle **TENSIONI AMMISSIBILI** relative alle differenti essenze.

Valori in  $\square$  g/cm<sup>2</sup>

Specie legnosa	Categoria	Compressione		Flessione	Trazione	Taglio
		lungo la fibratura	perpendicolare alla fibratura			
Abete rosso	1ª	100	20	110	110	10
	2ª	80	20	90	90	9
	3ª	60	20	70	60	8
Abete bianco	1ª	110	20	115	110	9
	2ª	90	20	100	90	8
	3ª	70	20	75	60	7
Larice	1ª	120	25	130	120	11
	2ª	100	22	110	95	10
	3ª	75	20	85	70	9
Pino silvestre	1ª	110	20	120	110	10
Pino nero	2ª	90	20	100	90	9
Pino montano	3ª	70	20	80	60	8
Pino silano	1ª	110	20	130	110	10
	2ª	90	20	110	90	9
	3ª	70	20	80	60	8
Pino marittimo	1ª	110	20	120	110	10
	2ª	90	20	100	90	9
	3ª	70	20	80	60	8
Pino domestico	1ª	100	20	110	110	10
	2ª	80	20	90	90	9
	3ª	60	20	70	60	8
Pino d'Aleppo	1ª	120	25	130	120	11
	2ª	100	22	110	95	10
	3ª	75	20	85	70	9
Castagno	1ª	110	20	120	110	8
Frassino	2ª	90	20	100	90	7
Olmo	3ª	70	20	80	60	6
Ontano	1ª	100	15	110	100	6
	2ª	80	15	890	80	5
	3ª	60	15	70	50	4
Pioppo	1ª	100	15	105	90	6
	2ª	80	15	85	70	5
	3ª	60	15	65	45	4
Quercie e faggio	1ª	120	30	130	120	12
	2ª	100	25	110	100	10
	3ª	75	22	85	70	9
Robinia	1ª	120	30	135	130	12
	2ª	100	25	115	110	10
	3ª	75	22	90	70	9

Per poter svolgere le verifiche di sicurezza delle strutture lignee esistenti utilizzando il metodo degli **METODO SEMIPROBABILISTICO AGLI STATI LIMITE** è possibile riferirsi alle seguenti normative:

➤ Normativa europea: **UNI EN 1995 (Eurocodice 5)**

➤ Il **DM 14/01/2008 - Norme tecniche per le costruzioni** contiene una parte dedicata alle costruzioni in legno (Parte 4.4) che prende in esame i requisiti di resistenza meccanica, comportamento in esercizio e durabilità delle strutture lignee. Tali requisiti possono essere utilizzati per le verifiche di strutture esistenti purché si provveda ad una corretta valutazione delle **caratteristiche del legno in funzione degli stati di degrado**.

➤ **CNR DT 206-2007 - Istruzioni per il progetto, l'esecuzione e il controllo delle strutture di legno** E' un documento che fornisce delle istruzioni (non è una normativa prescrittiva) per la progettazione delle strutture lignee di nuova concezione. Nell'Appendice D dice che è possibile applicare le istruzioni contenute nel documento per effettuare le verifiche di sicurezza di strutture esistenti a patto di valutare le **caratteristiche meccaniche del legno** e di quantificare l'eventuale **stato di degrado** degli elementi. Il documento evidenzia che le regole in esso indicate rappresentano condizioni sufficienti per la sicurezza di manufatti antichi ma non obbligatoriamente necessari. E' necessario quindi porre attenzione a non eseguire interventi troppo cautelativi che compromettano la conservazione dei manufatti storici.

Secondo il metodo agli stati limite la classificazione del legname strutturale avviene secondo il criterio delle **CLASSI DI RESISTENZA** per le quali sono definiti dei **PROFILI CARATTERISTICI** per diverse specie legnose (**UNI 11035**)

Tale classificazione nasce per il legname da utilizzare nelle costruzioni nuove ma può essere estesa ai legnami in opera considerando che la resistenza del legno non varia molto con l'invecchiamento.

**Tabella 1.14** Classificazione dell'abete e larice italiano, secondo UNI 11035

Valori caratteristici di resistenza e modulo elastico		Abete (Nord)			Abete (Centro Sud)			Larice (Nord)		
		S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
<b>Resistenze (MPa)</b>										
flessione	$f_{m,0,k}$	29	23	17	32	28	21	42	32	26
trazione parallela alla fibratura	$f_{t,0,k}$	17	14	10	19	17	13	25	19	16
trazione perpendicolare alla fibratura	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,6	0,6	0,6
compressione parallela alla fibratura	$f_{c,0,k}$	23	20	18	24	22	20	27	24	22
compressione perpendicolare alla fibratura	$f_{c,90,k}$	2,9	2,9	2,9	2,1	2,1	2,1	4,0	4,0	4,0
taglio	$f_{v,k}$	3,0	2,5	1,9	3,2	2,9	2,3	4,0	3,2	2,7
<b>Modulo elastico (GPa)</b>										
modulo elastico medio parallelo alle fibre	$E_{0,mean}$	12	10,5	9,5	11	10	9,5	13	12	11,5
modulo elastico caratteristico parallelo alle fibre	$E_{0,05}$	8	7	6,4	7,4	6,7	6,4	8,7	8	7,7
modulo elastico medio perpendicolare alle fibre	$E_{90,mean}$	0,40	0,35	0,32	0,37	0,33	0,32	0,43	0,40	0,38
modulo di taglio medio	$G_{mean}$	0,75	0,66	0,59	0,69	0,63	0,59	0,81	0,75	0,72
<b>Massa volumica (kg/m<sup>3</sup>)</b>										
massa volumica caratteristica	$\rho_k$	380	380	380	280	280	280	550	550	550
massa volumica media	$\rho_m$	415	415	415	305	305	305	600	600	600

# • Riconoscimento della specie legnosa

La norma UNI 11118 (Beni culturali - Manufatti lignei - Criteri per l'identificazione delle specie legnose) descrive i criteri e i limiti per l'identificazione della specie legnosa su manufatti di interesse storico e artistico a partire da un **ESAME MACROSCOPICO** e procedendo eventualmente con un **ESAME MICROSCOPICO** mediante il prelievo di campioni.

Una tecnica di riconoscimento macroscopico della specie legnosa molto utilizzato è il **METODO VISIVO DEL GIORDANO**

LEGNO SENZA VASI: (o non poroso) CONIFERE	A) Senza canali secretori	I) con durame indifferenziato	Abete bianco
		II) con durame per lo più differenziato	Cipresso Ginepri Tasso Cedri
	B) Con canali secretori	I) con durame indifferenziato	Abete rosso Douglasia
		II) con durame differenziato	Larice Pini
LEGNO CON VASI, NON SEMPRE PERÒ VISIBILI A O.N.: (legno poroso) LATI-FOGLIE	A) Grossi vasi visibili ad occhi nudo costituenti un cerchio poroso nella zona primaverile degli anelli annuali. (Specie a legno poroso-zonato).	a) Raggi molto grandi	Rovere Farnia Cerro
		b) Raggi visibili a o.n., ma non cospicui	Ailanto Bagolaro Gelso Olmo Robinia Maggiociondolo
		c) Raggi non visibili a o.n.	Frassino Castagno
	B) I vasi, per lo più non singolarmente visibili a occhio nudo, e di diametro poco variabile, costituiscono per la loro maggior frequenza in determinati tratti zone a tessuto meno compatto e più chiaro. (Specie a legno semi poroso-zonato)	a) Zone più chiare anulari	Ciliegio e Marasca Frugnolo Albicocco, Pesco e Mandorlo Susino Ciliegio camino Sambuco Corbezzolo
		b) Zone più chiare oblique o a fiamma	Lillatro Alaterno Lentisco Terebinto e Pistacchio
	C) I vasi, pressoché egualmente ripartiti e di diametro poco variabile, non costituiscono né cerchio poroso, né zone meno compatte o più chiare. (Specie a legno poroso-diffuso).	a) Raggi non visibili a o.n.	Noce
		b) Raggi percettibili a o.n.	Fico Carrubo Tamerice
		c) Raggi ben visibili a o.n.	Platano
		d) Raggi pressoché uguali e ben visibili a o.n.	Leccio Sughera Faggio
		e) Raggi ineguali, di cui i maggiori cospicui o ben visibili a o.n.	Nocciolo Carpino bianco Ontano Carpino nero
		f) Raggi piccolissimi, in parte accostati a formare raggi aggregati visibili a o.n.	Aceri Tiglio Agrifoglio Erica Corniolo Alloro
		g) Raggi uguali, piccoli, ma ancor percettibili a o.n.	Mirto Fusaggine Bosso Olivio Pero Melo Biancospino Sorbi Frangolo
	Vasi visibili a occhio nudo, almeno in parte.	1) Legni colorati e duri	Oleandro Ippocastano Salici Faggi Betulla
	Vasi non distinguibili a occhio nudo.	e) Raggi non visibili a o.n.	2) Legni biancastri e teneri

# • Ispezione *in situ* per la diagnosi di elementi in opera

La norma UNI 11119 (Beni culturali - Manufatti lignei - Strutture portanti degli edifici - Ispezione *in situ* per la diagnosi degli elementi in opera) definisce procedure e requisiti per la diagnosi dello stato di conservazione e la stima della resistenza e rigidità di elementi lignei in opera attraverso l'uso di ispezioni *in situ* e l'impiego di tecniche e metodologie di prove non distruttive.

Definisce le condizioni necessarie e la procedura per poter applicare il metodo della classificazione secondo le classi di resistenza nel caso di elementi lignei in opera.

Le informazioni ricercate mediante l'ispezione sono relative a:

- riconoscimento della specie legnosa
- umidità del legno
- rischio di attacco biologico
- geometria e morfologia dell'elemento con indicazione di estensione e posizione di principali difetti, degradamento e danni
- posizione, forma e dimensioni di eventuali zone critiche
- classificazione secondo la resistenza

## • Degradamento del legno (UNI 11130)

Per la sua natura fisica il legno è soggetto ad attacchi ambientali in cui si realizzano condizioni atte ad alterare la natura del materiale (attacchi abiotici) e ad attacchi distruttivi da parte di organismi viventi (attacchi biotici).

### ➤ Attacchi abiotici

Escluso il **FUOCO** tali attacchi non compromettono in maniera grave le funzioni strutturali dei manufatti lignei ma possono essere causa d'innescio di altri tipi di degrado. Il legno è resistente agli **ATTACCHI CHIMICI**. È sensibile all'azione dei **RAGGI DEL SOLE** che danno luogo, in combinazione con l'effetto di umidità, ad invecchiamento.

### ➤ Attacchi biotici

Tali attacchi avvengono per opera di organismi viventi quali funghi, insetti e organismi marini. Alcuni di essi inducono a fenomeni di degrado che non influenzano sostanzialmente le proprietà meccaniche delle strutture, mentre in altri casi l'azione di tali organismi è veramente pericolosa. Ci si sofferma su tali tipi di organismi.

## • Insetti

Esistono diversi tipi di insetti che attaccano il legno, si distingue tra **INSETTI LIGNIVORI** che si nutrono di legno, **INSETTI LIGNICOLI** che scavano delle gallerie nel legno per abitarvi e deporvi le uova. I sintomi, in entrambi i casi si riconoscono in fori di piccole o grandi dimensioni.

## • Funghi

Ai fini pratici è possibile distinguere schematicamente tre gruppi di funghi a seconda dell'aspetto della zona danneggiata:

**FUNGHI DELLA CARIE BRUNA:** attaccano il tronco a partire dalla superficie che viene ricoperta da micelio (lanugine biancastra). Il materiale attaccato assume un colore bruno e in fase avanzata presenta delle fessure perpendicolari fra loro dette carie a cubetti.

**FUNGHI DELLA CARIE BIANCA:** attaccano i costituenti della parete fibrosa e in fase avanzata il materiale è chiaro e si separa in masse di aspetto fibroso.

**FUNGHI DELLA CARIE SOFFICE:** richiedono umidità elevate ed è generalmente un attacco superficiale. Il materiale degradato si presenta umido con piccole fenditure e consistenza spugnosa.



In ogni caso le conseguenze dell'attacco sono perdita di massa e caduta quasi totale della resistenza meccanica in corrispondenza della zona degradata.

- **Alcune metodologie di indagine**



Per prelevare campioni cilindrici di legno *in situ* è possibile utilizzare uno strumento detto **SUCCHIELLO DI PRESSLER** o **SONDA INCREMENTALE**.

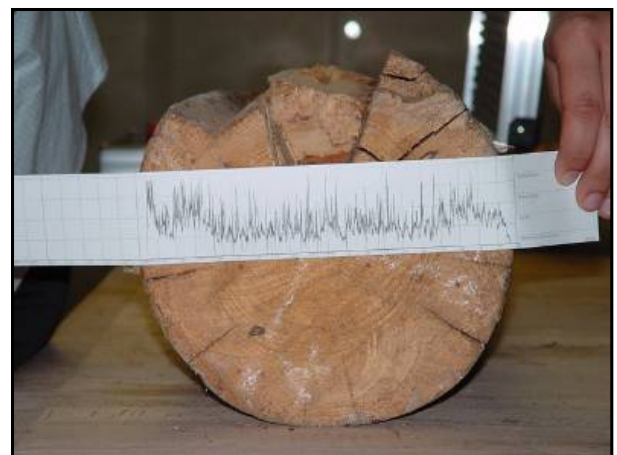


Il **PYLODIN** è uno strumento analogo allo sclerometro da roccia o da calcestruzzo. E' costituito da una punta metallica che viene infissa all'interno dell'elemento ligneo con energia costante. E' possibile misurare la profondità di penetrazione di tale punta su una scala graduata posta nella cassa metallica dello strumento determinando il livello di degrado e la riduzione di sezione resistente degli elementi indagati.



Il **PENETROMETRO DA LEGNO** o **RESISTOGRAPH** è uno strumento in grado di misurare la resistenza opposta dal legno alla perforazione eseguita mediante un ago sottile. I valori di resistenza al progredire della perforazione sono meccanicamente evidenziati su una striscia di carta chimica (scala 1:1) e registrati nella centralina elettronica di acquisizione dati di cui è dotato lo strumento.

Lo strumento permette di valutare le variazioni di densità tra legno "sano" e legno "degradato" e quindi di effettuare una diagnosi di aree di decadimento interne del materiale ligneo in esame.





### MISURATORI ELETTRICI DI UMIDITA':

La maggioranza degli igrometri elettrici si basano sulla misurazione della resistenza ohmica o della conducibilità elettrica dipendenti dall'umidità del legno. La resistenza elettrica aumenta al diminuire dell'umidità. La dipendenza dalla specie legnosa e dalla temperatura necessita di tabelle correttive allegate allo strumento di misura; spesso lo strumento stesso è dotato di interruttori per la scelta della specie legnosa e della temperatura. Lo strumento è dotato di chiodi che permettono la misura dell'umidità del legno in profondità.



### INDAGINI ULTRASONICHE:

mediante la misurazione della velocità di propagazione delle onde ultrasoniche nell'elemento ligneo è possibile determinare l'omogeneità del materiale e il modulo di elasticità dinamico:

$$E_{\text{din}} = \rho v^2 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] massa volumica  
 $v$  [m/s] velocità di propagazione degli ultrasuoni



## • Istruzioni CNR-DT 206/2007

### ➤ Metodi di analisi e verifica (punto 6.3)

La sicurezza deve essere valutata secondo il metodo degli **STATI LIMITE**.

Un aspetto fondamentale riguarda la scelta dei **MODELLI MECCANICI E STRUTTURALI** atti a descrivere in maniera appropriata il comportamento dei materiali e dei sistemi strutturali.

Elementi lignei in dimensioni d'uso presentano, per sollecitazioni di flessione comportamento **ELASTO-FRAGILE** e ciò è da tenere in considerazione nel calcolo delle sollecitazioni e nella determinazione dei valori di resistenza.

Quindi per fare l'**ANALISI GLOBALE** della struttura, e cioè per determinare le azioni esterne sotto i carichi esterni si ipotizza un comportamento **ELASTICO LINEARE** dei materiali utilizzando i valori medi dei parametri di rigidità.

I giunti meccanici che vengono utilizzati nella tecnica delle costruzioni in legno solitamente possono essere schematizzati come **VINCOLI CERNIERA** e quindi le tipologie strutturali più comuni determinano uno schema **ISOSTATICO**.

## ➤ Proprietà dei materiali

Si definiscono **VALORI CARATTERISTICI** (frattile al 5%) e i **VALORI MEDI** dei parametri meccanici di un tipo di legno, ottenuti sulla base dei risultati di prove sperimentali su provini all'umidità di equilibrio del legno corrispondente alla temperatura di 20°C ed umidità relativa dell'aria del 65%.

**Tabella 4-1-Profilo resistente del legno massiccio e dei prodotti strutturali derivati dal legno**

Proprietà di resistenza		Proprietà di modulo elastico		Massa volumica	
Flessione	$f_{m,k}$	Modulo elastico parallelo medio **	$E_{0,mean}$	Massa volumica caratteristica	$\rho_k$
Trazione parallela	$f_{t,0,k}$	Modulo elastico parallelo caratteristico	$E_{0,05}$	Massa volumica media	$\rho_{mean}$
Trazione perpendicolare	$f_{t,90,k}$	Modulo elastico perpendicolare medio **	$E_{90,mean}$	* **	
Compressione parallela	$f_{c,0,k}$	Modulo elastico tangenziale medio **	$G_{mean}$		
Compressione perpendicolare	$f_{c,90,k}$				
Taglio	$f_{v,k}$				

\* La massa volumica media può non essere dichiarata.

\*\* Il pedice *mean* può essere abbreviato con *m*

La definizione dei **VALORI DI PROGETTO** per le proprietà del materiale è necessario tener conto dell'effetto della durata del carico e dell'umidità del legno. Di conseguenza si definiscono le classi di durata del carico e le classi di resistenza.

### CLASSI DI DURATA DEL CARICO (6.1):

si riferiscono a un carico costante attivo per un certo periodo di tempo nella vita della struttura:

**Tabella 6-1-Classi di durata del carico**

Classe di durata del carico	Durata del carico	
Permanente	più di 10 anni	peso proprio carichi non rimovibili
Lunga durata	6 mesi -10 anni	carichi permanenti suscettibili di cambiamenti sovraccarichi variabili relativi a magazzini
Media durata	1 settimana – 6 mesi	sovraccarichi variabili
Breve durata	meno di 1 settimana	sovraccarico da neve riferito al suolo $q_{sk}$ fino a 2,0 kN/m <sup>2</sup> eventuale parte rimanente del sovraccarico della neve
Istantaneo	-	carico del vento azioni eccezionali

In caso di combinazioni di carichi di durata differente ci si riferirà al carico con la durata più breve per la determinazione della classe di durata della combinazione.

## CLASSI DI SERVIZIO (6.2)

tengono conto delle condizioni climatiche dell'ambiente in cui si trova l'elemento

Tabella 6-2 - 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 ed un'umidità relativa dell'aria circostante che non superi il 65% se non per poche settimane all'anno.	Tutti gli elementi che si trovano interamente all'interno di una costruzione dotata di riscaldamento
Classe di servizio 2	È caratterizzata da un'umidità dei materiali in equilibrio con l'ambiente a una temperatura di 20°C ed un'umidità relativa dell'aria circostante che superi l'85% solo per poche settimane all'anno.	Elementi che pur non essendo all'interno di una costruzione chiusa non sono esposti al contatto diretto con gli agenti atmosferici
Classe di servizio 3	È caratterizzata da umidità più elevata di quella della classe di servizio 2.	Elementi che non rientrano nelle altre due classi o che sono esposti al contatto diretto con le intemperie

Si definisce il valore di calcolo di una **PROPRIETÀ DI RESISTENZA** del materiale  $X_d$  nel seguente modo (equazione 6.1)

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

$X_k$       valore caratteristico della proprietà di resistenza del materiale;

$\gamma_M$       coefficiente parziale di sicurezza relativo al materiale;

$k_{\text{mod}}$     coefficiente di correzione che tiene conto dell'effetto, sui parametri di resistenza, sia della durata del carico sia dell'umidità della struttura.

Tabella 4.4.III NTC 2008 - Coefficienti di sicurezza parziali per le proprietà dei materiali

Stati limite ultimi	$\gamma_M$
- combinazioni fondamentali	
legno massiccio	1,50
legno lamellare incollato	1,45
pannelli di particelle o di fibre	1,50
compensato, pannelli di scaglie orientate	1,40
unioni	1,50
- combinazioni eccezionali	1,00

Tabella 4.4.IV NTC 2008 - Valori di  $\gamma_{mod}$  per legno e prodotti 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	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
		Parti 2, 3	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
		Parte 3	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Pannello di scaglie orientate (OSB)	EN 300	OSB/2	1	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 (truciolare)	EN 312	Parti 4, 5	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,00
		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	1,00
		Parte 7	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Pannello di fibre, alta densità	EN 622-2	HB.LA, HB.HLA 1 o 2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,00
		HB.HLA 1 o 2	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
Pannello di fibre, media densità (MDF)	EN 622-3	MBH.LA1 o 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
		MBH.HLS1 o 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
			2	-	-	-	0,45	0,80
	EN 622-5	MDF.LA, MDF.HLS	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
MDF.HLS		2	-	-	-	0,45	0,80	

Si definisce il valore di calcolo di una **PROPRIETÀ DI DEFORMABILITÀ** del materiale  $E_d$  o  $G_d$  nel seguente modo:

$$E_d = \frac{E_{mean}}{\gamma_M}$$

dove:

$E_{mean}$  valore medio del modulo di elasticità

$G_{mean}$  valore medio del modulo taglio

$$G_d = \frac{G_{mean}}{\gamma_M}$$

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 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.

$$E_{mean, fin} = \frac{E_{mean}}{(1+k_{def})}$$

$$G_{mean, fin} = \frac{G_{mean}}{(1+k_{def})}$$

Il coefficiente  $k_{def}$  tiene conto dell'aumento di deformabilità con il tempo causato dall'effetto combinato della viscosità e dell'umidità del materiale.

Tabella 4.4.V NTC 2008 - Valori di  $k_{def}$  per legno e prodotti 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.

### ➤ Verifiche di sicurezza agli Stati Limite Ultimi

$$R_d \geq S_d$$

$R_d$                       **Resistenza di progetto**  
 $S_d$                       **Sollecitazione di progetto**

Sollecitazione	Tensione	Resistenza	Indicazione
Trazione parallela alla fibratura	$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_d}{A_n}$	$f_{t,0,d}$	Resistenza a trazione assiale
Compressione parallela alla fibratura	$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A_n}$	$f_{c,0,d}$	Resistenza a compressione assiale
Flessione e taglio	$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W_n}$	$f_{m,d}$	Resistenza a flessione
	$\tau_d = \frac{V_d \cdot S_n}{I_n \cdot b}$	$f_{v,d}$	Resistenza a taglio
Torsione	$\tau_{tor,d} = \frac{M_{T,d}}{W_{T,n}}$	$f_{v,d}$	Resistenza a torsione
Compressione perpendicolare alla fibratura (pressioni di contatto sugli appoggi)	$\sigma_{c,90,d} = \frac{N_d}{A}$	$f_{c,90,d}$	Resistenza a compressione trasversale
Trazione perpendicolare alla fibratura (elementi di collegamento)	$\sigma_{t,90,d} = \frac{N_d}{A}$	$f_{t,90,d}$	Resistenza a trazione trasversale
Scorrimento da taglio - "rotolamento delle fibre"	$\tau_{r,d}$	$f_{r,k}$	Resistenza a taglio trasversale
	$\tau_{a,d}$	$f_{v,k}$	Resistenza a taglio longitudinale

## ➤ Verifiche di sicurezza agli Stati Limite di Esercizio

La **DEFORMABILITÀ DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI** risultante dagli effetti delle azioni applicate, dagli stati di coazione o da variazioni di umidità del materiale, **DEVE ESSERE LIMITATA** entro limiti accettabili al fine di garantire l'efficienza degli stessi in condizioni di esercizio, con particolare attenzione ai danni che possono essere indotti a materiali di rivestimento, pavimenti, tramezzature, finiture e ai requisiti funzionali ed estetici.

Per elementi lignei è necessario tenere in considerazione anche la **DEFORMABILITÀ A TAGLIO** nel calcolo della freccia, in quanto il modulo  $G$  è piccolo rispetto a  $E_0$ .

Il comportamento deformativo degli elementi lignei è caratterizzato solo inizialmente da un andamento elastico e all'avanzare del tempo esso diventa **VISCO-ELASTICO** cioè la deformazione aumenta pur rimanendo costante il carico, questo in modo particolare per ambienti molto umidi.

Per questo motivo è necessario limitare non solo la **FRECCIA ISTANTANEA**, ma anche la **FRECCIA DIFFERITA**, soprattutto quando le azioni permanenti sono percentualmente elevate rispetto al carico totale.

### • Deformazione iniziale e deformazione finale (6.4.1)

La **deformazione istantanea**, provocata da una certa condizione di carico, si calcola usando il valore medio dei moduli di elasticità normale e tangenziale del materiale.

La **deformazione a lungo termine** può essere calcolata utilizzando i valori medi dei moduli elastici ridotti opportunamente mediante il fattore  $1/(1+k_{def})$

Pertanto per il calcolo della **deformazione iniziale** ( $u_{in}$ ) occorre valutare la deformazione istantanea con riferimento alla combinazione di carico rara.

Per il calcolo della **deformazione finale** ( $u_{fin}$ ):

$$u_{fin} = \mathfrak{S} \left( \left[ G_k + \psi_{21} Q_{1k} + \sum_{i=2}^{i=n} (\psi_{2i} Q_{ik}) \right] \cdot (1 + k_{def}) + Q_{1k} (1 - \psi_{21}) \right)$$

Deformazione a lungo termine della combinazione di carico quasi permanente

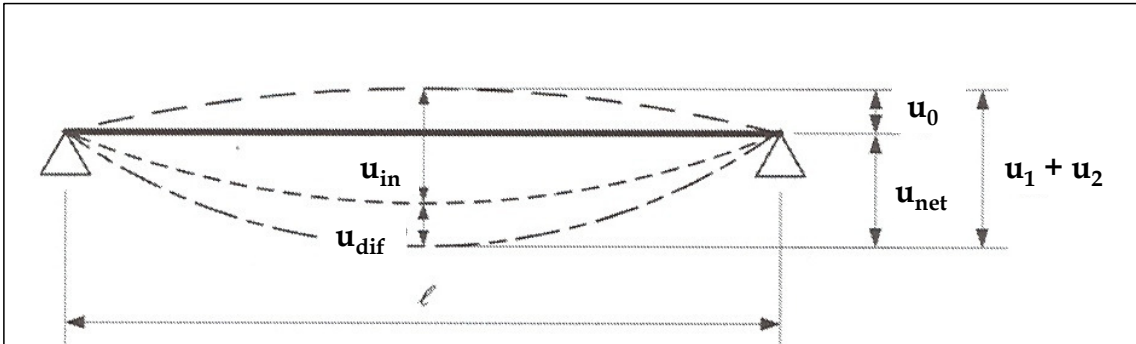
Deformazione istantanea dovuta alla sola aliquota mancante, nella combinazione quasi permanente, del carico accidentale prevalente

- **Norme specifiche per elementi inflessi (6.4.3)**

La freccia netta di un elemento inflesso, riferita alla corda congiungente i punti della trave in corrispondenza degli appoggi,  $u_{net}$  è data da:

$$u_{net} = u_1 + u_2 - u_0$$

- $u_0$  è la contrefreccia (qualora presente);
- $u_1$  è la freccia dovuta ai soli carichi permanenti;
- $u_2$  è la freccia dovuta ai soli carichi variabili.



Nei casi in cui sia opportuno limitare la **freccia istantanea dovuta ai soli carichi variabili**, si raccomanda il seguente valore, a meno che condizioni speciali non impongano altri requisiti:

$$u_{2,in} < L/300 \quad \text{dove } u_{2,in} \text{ è calcolata a partire dalla combinazione di carico rara depurata della parte dei carichi permanenti.}$$

Nei casi in cui sia opportuno limitare la **freccia finale**,  $u_{fin}$ , si raccomandano i seguenti valori limite, a meno che condizioni speciali non impongano altri requisiti:

$$u_{2,fin} < L/200$$

$$u_{net,fin} < L/250 \quad \text{dove } u_{2,fin} \text{ e } u_{net,fin} \text{ sono calcolate secondo uno dei due metodi presentati nel paragrafo B 2.4.1 - depurati o meno della parte dei carichi permanenti.}$$

Per gli sbalzi i limiti precedenti devono essere riferiti ad una lunghezza  $L$  pari a due volte la lunghezza dello sbalzo stesso.