



Università di Trieste
Dipartimento di Ingegneria e Architettura

**Corso di
Costruzioni in Legno**
a.a. 2018-2019

Prof. Ing. Natalino Gattesco

BIBLIOGRAFIA

G. Giordano, “Tecnica delle costruzioni in legno”, Hoepli, Quarta Edizione, 1993.

Piazza M., Tomasi R., Modena R., “Strutture in legno. Materiale, calcolo e progetto secondo le nuove normative europee”, Hoepli, 2005.

AA.VV., “Timber Engineering – STEP 1”, Centrum Hout, The Netherlands, 1995.

AA.VV., “Timber Engineering – STEP 2”, Centrum Hout, The Netherlands, 1995.

EN 1995-1-1, “Eurocodice 5. Progettazione delle strutture di legno. Parte 1.1: Regole generali e regole per gli edifici”, 2004.

CNR 206/2007, “Istruzioni per la Progettazione, Esecuzione e Controllo delle Strutture di Legno”, 2007.

D.M. 14.01.2008 “Norme tecniche per le costruzioni”.

NORMATIVA UNI

UNI EN 335-2:1993

Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno. Definizione delle classi di rischio di attacco biologico. Applicazione al legno massiccio.

UNI EN 350-2:1996

Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno. Durabilità naturale del legno massiccio. Guida alla durabilità naturale e trattabilità di specie legnose scelte di importazione in Europa.

UNI EN 336:1997

Legno strutturale. Conifere e pioppo. Dimensioni, scostamenti ammissibili.

UNI EN 338:1997

Legno strutturale. Classi di resistenza.

UNI EN 384:1997

Legno strutturale. Determinazione dei valori caratteristici delle proprietà meccaniche e della massa volumica.

UNI EN 385:1997

Legno strutturale con giunti a dita. Requisiti prestazionali e requisiti minimi di produzione.

UNI EN 386:1997

Legno lamellare incollato. Requisiti prestazionali e requisiti minimi di produzione.

UNI EN 390:1997

Legno lamellare incollato. Dimensioni. Scostamenti ammissibili.

UNI EN 392:1997

Legno lamellare incollato. Prova di resistenza a taglio delle superfici di incollaggio.

UNI EN 518:1997

Legno strutturale. Classificazione. Requisiti per le norme di classificazione a vista secondo la resistenza.

UNI EN 408:1997

Strutture di legno. Legno massiccio e legno lamellare incollato. Determinazione di alcune proprietà fisiche e meccaniche.

UNI EN 391:1997

Legno lamellare incollato. Prova di delaminazione delle superfici di incollaggio.

UNI EN 1193:1999

Strutture di legno - Legno strutturale e legno lamellare incollato - Determinazione della resistenza a taglio e delle proprietà meccaniche perpendicolari alla fibratura.

UNI EN 1912:2000

Legno strutturale - Classi di resistenza - Assegnazione delle categorie visuali e delle specie.

prEN 1194

Legno lamellare incollato - Classi di resistenza e determinazione dei valori caratteristici.

PREMESSA

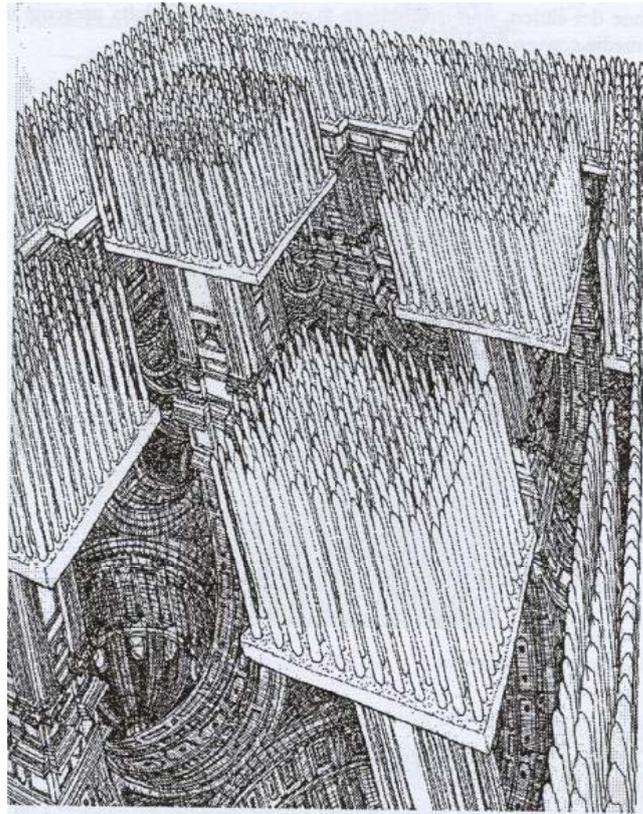
LEGNO ➡ **Materiale naturale di origine biologica**

Primo materiale da costruzione usato dall'uomo

- **facilmente approvvigionabile**
- **leggero**
- **lavorabile**

IMPIEGO DEL LEGNO NEL PASSATO

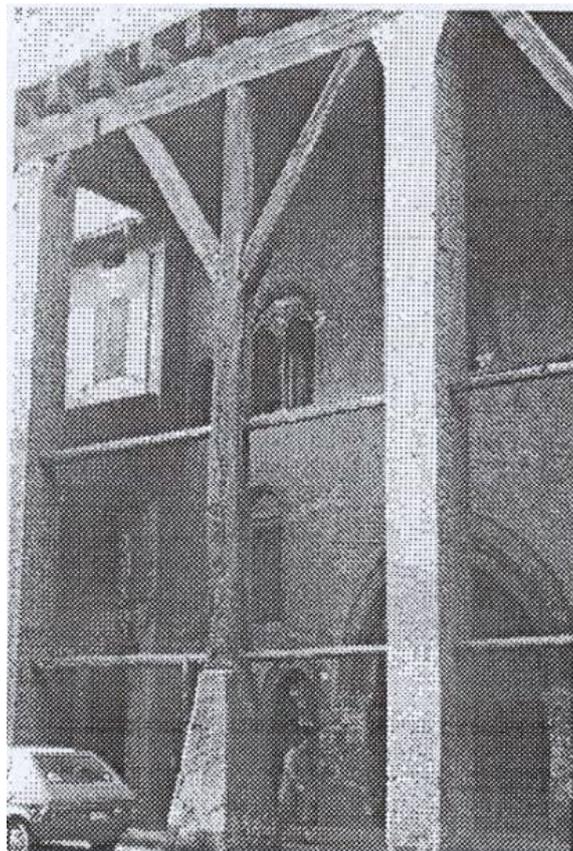
Fondazioni



IMPIEGO DEL LEGNO NEL PASSATO

Elevazioni

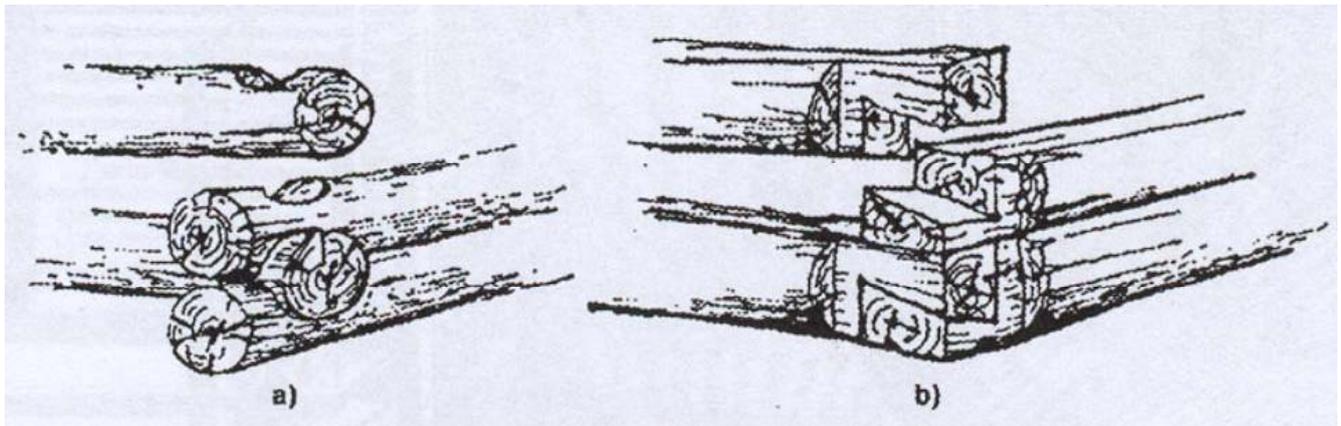
Pilastro in legno
di Palazzo Isolani
a Bologna



IMPIEGO DEL LEGNO NEL PASSATO

Elevazioni

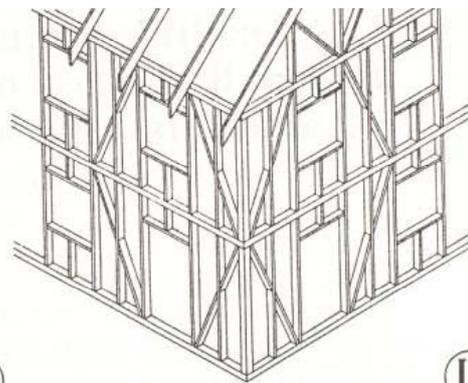
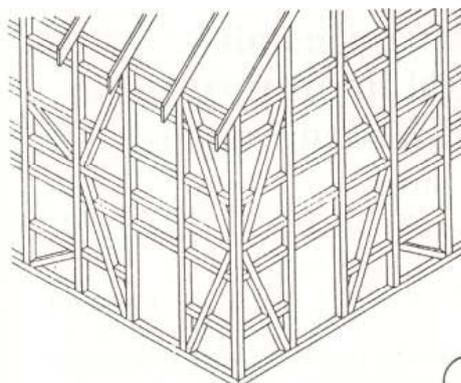
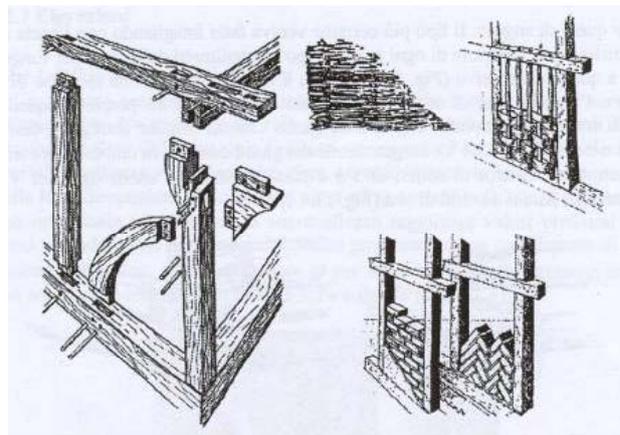
Pareti in legno con tronchi disposti orizzontalmente



IMPIEGO DEL LEGNO NEL PASSATO

Elevazioni

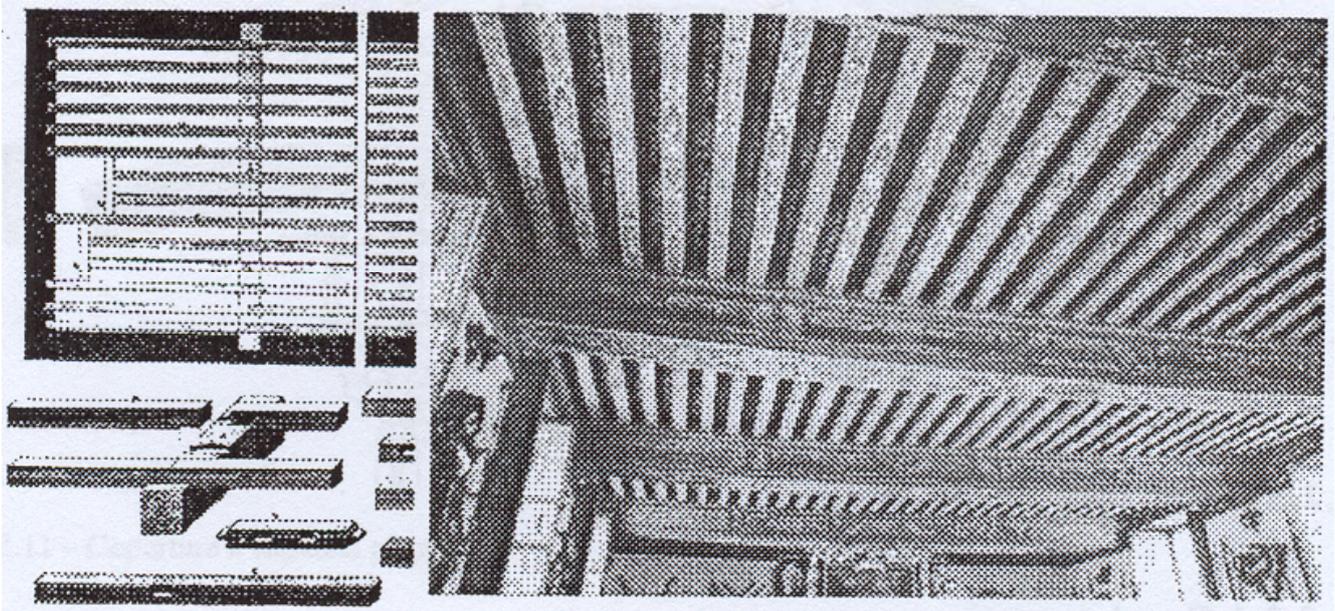
Sistemi
intelaiati



IMPIEGO DEL LEGNO NEL PASSATO

Orizzontamenti

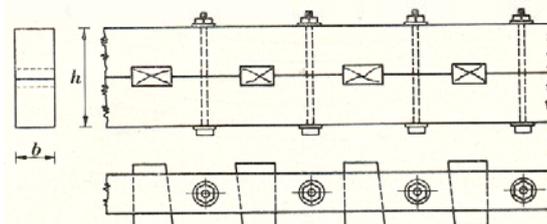
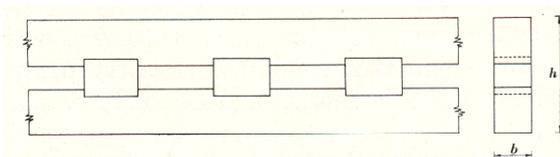
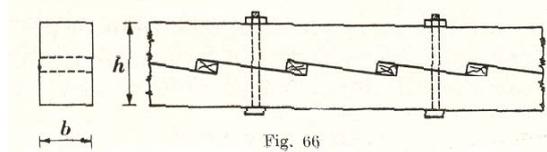
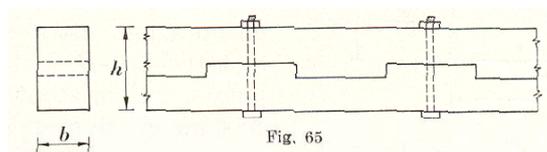
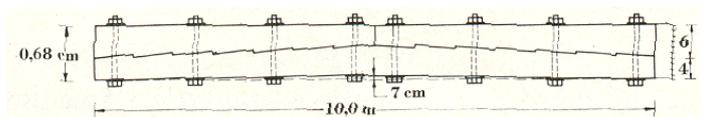
Solai



IMPIEGO DEL LEGNO NEL PASSATO

Orizzontamenti

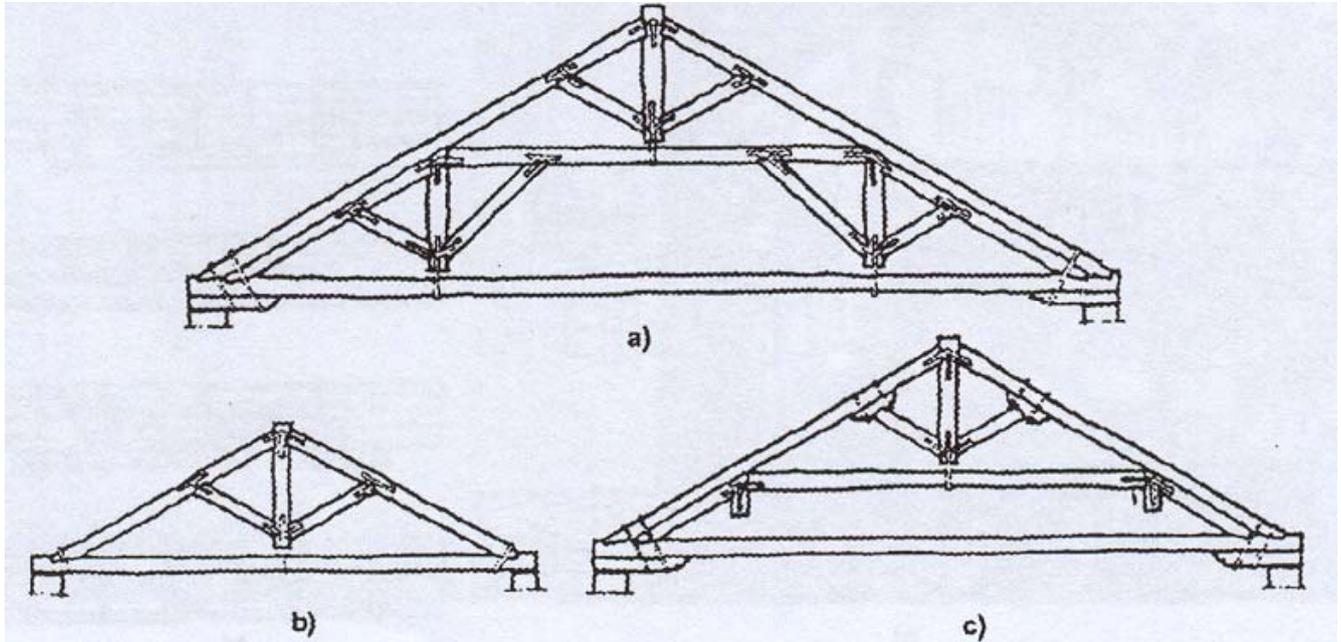
Travi composte
per coprire
grandi luci



IMPIEGO DEL LEGNO NEL PASSATO

Coperture

Capriate



IMPIEGO DEL LEGNO NEL PASSATO

Coperture



arco tipo a

CARATTERISTICHE DEL MATERIALE

Il legno si ricava dai tronchi degli alberi e viene utilizzato

- per segagione (travi, listelli, tavole, ecc.)
- per sfogliatura (compensati)
- per sfibratura (pannelli di fibre di dimensioni varie)

CARATTERISTICHE DEL MATERIALE

I legnami vengono identificati in base alla specie legnosa

| SPECIE LEGNOSA | | VALORE MEDIO DELLA MASSA VOLUMICA E RELATIVO CAMPO DI VARIAZIONE |
|----------------|----------------|--|
| CONIFERE | ABETE ROSSO | 450 300 - 620 |
| | ABETE BIANCO | 440 310 - 610 |
| | LARICE | 650 380 - 930 |
| | PINO SILVESTRE | 550 380 - 660 |
| | DOUGLASIA | 510 390 - 720 |
| LATIFOGIE | QUERCO FAGGIO | 760 500 - 1000 |
| | ROBINIA | 750 600 - 870 |
| | CASTAGNO | 580 370 - 700 |
| | PIOPPO | 500 400 - 630 |

SPECIE LEGNOSE A USO STRUTTURALE

ABETE ROSSO - PICEA ABIES KARST (Conifera)

è il più comune in Europa, dove cresce in tutte le regioni centrali e meridionali, molto diffuso sulle Alpi e sugli Appennini, è un albero imponente ed attraente, alto fino a 50 metri

CARATTERI MACROSCOPICI DELLA STRUTTURA:

“Durame chiaro”: alburno e durame da biancastri (giallognoli) a giallo paglierino-rossastri; con l'esposizione alla luce cambiamento in giallastrobruno scuro. Anelli annuali ben distinti; legno tardivo giallorossastro, legno primaverile biancastro; transizione prevalentemente graduale tra zona primaverile e zona tardiva; tenero, canali resiniferi poco numerosi (caratteristica essenziale che lo differenzia dall'abete bianco). Le zone tardive formano venature. La struttura è rigata.

DURABILITÀ E LAVORAZIONE:

Durame poco resistente agli attacchi fungini. Alburno difficilmente impregnabile, durame da difficilmente a molto difficilmente impregnabile. Buona essiccazione. Buon incollaggio. Abbastanza resistente agli acidi deboli ed agli alcali.

IMPIEGHI PRINCIPALI:

Edilizia (come legno da costruzione, strutture di copertura, costruzioni di legno incollato, ecc.) e come materiale per costruzioni ausiliarie (casseri e ponteggi). Finiture di interni ed esterni (mobili, pannellature, porte, finestre, scale, profilati, ecc.). In grandi quantità come legno per la produzione industriale di cellulosa, pasta di legno e pannelli a base legno. Il legno di abeti delle zone di montagna, con anelli di crescita molto sottili è impiegato per la produzione di strumenti musicali.



SPECIE LEGNOSE A USO STRUTTURALE

ABETE BIANCO - ABIES ALBA MILL. (Conifera)

è il più comune in Europa, dove cresce in tutte le regioni centrali e meridionali, molto diffuso sulle Alpi e sugli Appennini, è un albero imponente ed attraente, alto fino a 50 metri

CARATTERI MACROSCOPICI DELLA STRUTTURA:

“Durame chiaro”: alburno e durame di colore uguale biancastro-giallognolo (come nell'abete rosso, ma spesso con un luccichio da grigio a grigiiovioletto). Anelli annuali ben distinti; legno tardivo giallo-roseo opaco; transizione graduale tra zona primaverile e zona tardiva; senza canali resiniferi e senza sacche di resina (caratteristica essenziale che lo differenzia dall'abete rosso). Venature linguiformi. Struttura rigata. Talvolta durame scuro e “umido” (u fino a 160%) con debole odore acidulo.

DURABILITÀ E LAVORAZIONE:

Durame poco resistente agli attacchi fungini. Alburno moderatamente impregnabile, durame da moderatamente a difficilmente impregnabile. Buona essiccazione (a causa del durame umido l'essiccazione insieme all'abete rosso può essere problematica, e/o richiedere una essiccazione successiva). Buon incollaggio. Abbastanza resistente agli acidi ed agli alcali.

IMPIEGHI PRINCIPALI:

Generalmente impiegato come l'abete rosso; spesso nessuna differenza tra abete bianco e rosso nell'utilizzo; in alcuni casi sono disponibili solo assortimenti misti. È preferibile laddove non è gradita la presenza di resina dell'abete rosso. Legno da costruzione per finiture di interni e per costruzioni. Strumenti musicali (casse armoniche, canne d'organi). Contenitori di sostanze chimiche. Industria della carta e della cellulosa.



SPECIE LEGNOSE A USO STRUTTURALE

PINO SILVESTRE - PINUS SYLVESTRIS L. (Conifera)

nativo della Gran Bretagna si trova in tutta l'Europa, nelle regioni montuose, alto fino a 40 metri, ha caratteristiche simili all'abete

CARATTERI MACROSCOPICI DELLA STRUTTURA:

“Durame differenziato obbligatoriamente”: durame bruno-rossastro distinto nettamente dall'alburno giallo chiaro. Anelli annuali ben distinti. Transizione da graduale fino a piuttosto brusca tra zona primaverile e zona tardiva. Canali resiniferi nettamente riconoscibili (più grandi che nell'abete rosso e nel larice). Venature decorative; i canali resiniferi appaiono come linee sottili da gialle a brune. Fortemente rigato.

DURABILITÀ E LAVORAZIONE:

Durame da moderatamente a poco resistente agli attacchi fungini. Alburno ben impregnabile, durame da difficilmente a molto difficilmente impregnabile. Buona essiccazione. Buon incollaggio (in caso di non eccessiva presenza di resina).

IMPIEGHI PRINCIPALI:

Legno da costruzione per finiture di interni ed esterni, nell'industria mineraria, nelle costruzioni navali e di carrozze. Legno di piallacci, legno compensato. Mobili e ristrutturazione di interni (con tocco “rustico”). Piloni e traversine. Industria dei prodotti a base legno (soprattutto pannelli truciolari).



SPECIE LEGNOSE A USO STRUTTURALE

LARICE (EUROPEO) - LARIX DECIDUA MILL. (Conifera)

è un albero europeo con rami che si stendono verso il basso per poi rivoltarsi verso l'alto, allo stato selvatico arriva fino a 35 metri d'altezza

CARATTERI MACROSCOPICI DELLA STRUTTURA:

“Durame differenziato obbligatoriamente”: di regola durame rossastro-bruno intenso, diventa molto scuro; alburno abbastanza sottile, da giallastro a bianco-rossastro. Anelli annuali ben distinti; transizione piuttosto netta tra zona primaverile e zona tardiva; nonostante l'elevata presenza di resina i canali resiniferi sono non particolarmente numerosi, molto piccoli e si trovano primariamente nella zona tardiva. Rilevanti venature decorative. Struttura ad evidenti rigature.

DURABILITÀ E LAVORAZIONE:

Durame da moderatamente a poco resistente agli attacchi fungini. Alburno moderatamente impregnabile, durame molto difficilmente impregnabile. Buona essiccazione (in caso di legno più resinoso eventualmente più difficile). Buon incollaggio.

IMPIEGHI PRINCIPALI:

Legno da costruzione per finiture di interni ed esterni o a contatto con il terreno; industria mineraria, imbarcazioni, costruzioni idrauliche e di ponti (per es. pali infissi), sili e torri di raffreddamento. Finestre e porte. Piloni e traversine. Mobili, rivestimenti interni ed esterni. Botti, tini e contenitori particolari per soluzioni chimiche.



SPECIE LEGNOSE A USO STRUTTURALE

DOUGLASIA STRUTTURALE, PSEUDOTSUGA MENZIESII FRANCO (Conifera)

un'elegante conifera, tra le più alte in Europa, fino a 50 metri

CARATTERI MACROSCOPICI DELLA STRUTTURA:

“Durame differenziato obbligatoriamente”: durame giallastro-bruno e rossastro-bruno tendente ad inscurirsi se esposto alla luce (molto simile al legno di larice); albarno chiaro, giallastro e sottile. Anelli annuali ben distinti da sottili a molto ampi; transizione tra zona primaverile e zona tardiva distinta o non distinta; canali resiniferi distinti. Con venature decorative. Fortemente rigato.

DURABILITÀ E LAVORAZIONE:

Durame da moderatamente a poco resistente agli attacchi fungini. Albarno da moderatamente a difficilmente impregnabile, durame molto difficilmente impregnabile. Facile da essiccare (evitare la fuoriuscita di resina!). Buon incollaggio. Abbastanza resistente agli acidi deboli ed agli alcali.

IMPIEGHI PRINCIPALI:

Legno da costruzione per finiture di interni ed esterni (balconi, portoni, finestre). Costruzioni idrauliche, di ponti, navali, di carrozze, di imbarcazioni e di aeroplani. Piallacci sfogliati per legno compensato. Botti, serbatoi, sili.



SPECIE LEGNOSE A USO STRUTTURALE

FAGGIO - FAGUS SYLVATICA L. (Latifoglia)

è un grande albero molto vistoso, che può raggiungere i 30-40 metri con un'enorme chioma, prospera ovunque anche su terreni asciutti e rocciosi

CARATTERI MACROSCOPICI DELLA STRUTTURA:

“Durame chiaro”: durame ed albarno normalmente ugualmente da biancorossastri a bruno-rossastri. **Eventualmente durame differenziato facoltativamente** (in età avanzata) (“falso durame”): durame bruno-rosso, per lo più non chiaramente distinto o irregolarmente a stella. Diffuso-poroso; anelli annuali ben distinti per zone povere di pori (→ legno tardivo più scuro); vasi riconoscibili solo con una lente d'ingrandimento; grandi raggi midollari ben distinti e chiaramente visibili ad occhio nudo. Grandi raggi midollari chiaramente visibili ad occhio nudo come trattini caratteristici, sottili, di colore bruno. Grandi raggi midollari chiaramente visibili ad occhio nudo leggermente rigato.

DURABILITÀ E LAVORAZIONE:

Durame non resistente agli attacchi fungini. Albarno e durame chiaro ben impregnabili, eventuale falso durame molto difficilmente impregnabile. Essiccazione possibile senza problemi, richiede comunque particolare attenzione.

IMPIEGHI PRINCIPALI:

Specie legnosa locale dalle più molteplici possibilità di applicazione. Piallacci sfogliati per legno compensato e stratificato, piallacci tranciati per mobili. Mobili e finiture per interni (anche quale legno piegato). Costruzione di aeroplani e di macchine, attrezzi, piccoli apparecchi e giocattoli di legno. Traversine ferroviarie (a causa della modesta stabilità dimensionale non per gli scambi). Costruzioni idrauliche. Prodotti a base legno (soprattutto legno compensato e stratificato, ma anche pannelli truciolari e di fibre), cellulosa e carta. Carbone.



SPECIE LEGNOSE A USO STRUTTURALE

QUERCIA; PROPRIAMENTE: FARNIA, QUERCUS ROBUR L. E ROVERE, QUERCUS PETREA LIEBL (Latifoglia)

si trova in tutta l'Europa, estremamente variabile per forma e dimensioni

CARATTERI MACROSCOPICI DELLA STRUTTURA:

(Farnia e Rovere non distinguibili con sicurezza a livello macroscopico e microscopico). “Durame differenziato obbligatoriamente”: durame bruno-rossastro fresco, bruno chiaro asciutto in seguito tendente ad inscurirsi; albarno sottile e bianco-giallastro. Poroso-zonato, perciò anelli annuali distinti; vasi della zona primaverile e grandi raggi midollari chiaramente visibili ad occhio nudo. Struttura a venature; evidenti venature da pori. Grandi raggi vistosi. Rigature molto evidenti

DURABILITÀ E LAVORAZIONE:

Durame resistente agli attacchi fungini. Albarno ben impregnabile, durame molto difficilmente impregnabile. Moderatamente buona essiccazione; tende a fessurarsi, ad imbarcarsi ed a cambiare colore → necessaria essiccazione lenta ed a bassa temperatura. Incollaggio per usi strutturali problematico. Reazione degli acidi tanninici con il ferro in caso di contatto con il legno di quercia “fresco” di metalli a base ferro (→ macchioline blu scuro).

IMPIEGHI PRINCIPALI:

Legno per costruzioni edili, sottostrutture e costruzioni idrauliche (p. es. fondazioni su pali di legno di quercia), traversine (scambi). Costruzioni navali, di macchine e di aeroplani. Botti.



SPECIE LEGNOSE A USO STRUTTURALE

FRASSINO, FRAXINUS EXCELSIOR L. (Latifoglia)

è un albero diffuso in tutta l'Europa con chioma fogliare piuttosto irregolare, spesso con numerosi rami morti; è alto 20-25 metri, cresce su terreni freschi e ricchi.

CARATTERI MACROSCOPICI DELLA STRUTTURA:

“Durame chiaro o legno intermedio”: albarno e durame, di regola, non sono distinti – albarno giallo chiaro, durame dello stesso colore, esposto alla luce tende leggermente ad inscurirsi; eventuale durame differenziato facoltativamente (in età più adulta) (“durame bruno”): albarno da chiaro a bruno scuro, talvolta anche di color oliva (“frassino-oliva”). Poroso-zonato, perciò anelli annuali distinti; i vasi nella zona primaverile e la parenchima longitudinale visibili ad occhio nudo, i vasi nella zona tardiva ed i raggi midollari visibili solo con una lente d’ingrandimento. Con venature; evidenti venature da pori nella zona primaverile. Rigato, evidenti rigature nella zona primaverile, raggi midollari riconoscibili anche senza una lente d’ingrandimento.

DURABILITÀ E LAVORAZIONE:

Durame non resistente agli attacchi fungini. Albarno e durame chiaro moderatamente impregnabili, durame facoltativo molto difficilmente impregnabile. Buona essiccazione. Buon incollaggio

IMPIEGHI PRINCIPALI:

Mobili e finiture per interni (anche elementi di forma curva). Attrezzature sportive (un tempo per produzione di sci), manici di utensili, scale di legno. Tempo fa: costruzione di apparecchi, macchine, veicoli, vagoni, barche ed aeroplani.



SPECIE LEGNOSE A USO STRUTTURALE

ROBINIA, ROBINIA PSEUDOACACIA L.

CARATTERI MACROSCOPICI DELLA STRUTTURA:

“Durame differenziato obbligatoriamente”: durame da giallo-verde a giallobruno e oro-bruno scuro tendente ad inscurirsi; albarno sottile da giallo a bianco-verdastro. Grazie alla porosità zonata, anelli annuali distinti e vasi nella zona primaverile visibili ad occhio nudo; raggi midollari e vasi nella zona tardiva riconoscibili solo con una lente d’ingrandimento. Con venature; evidenti venature da pori. Anelli annuali decisamente delimitati → evidente formazione di striature, canali porosi evidenti, raggi midollari visibili.

DURABILITÀ E LAVORAZIONE:

Durame da resistente a molto resistente agli attacchi fungini. Albarno ben impregnabile, durame molto difficilmente impregnabile. Essiccazione moderatamente buona, lenta e condotta con cautela, altrimenti tende a fessurarsi ed imbarcarsi. Lavorabilità difficile ma soddisfacente. Incollaggio moderatamente buono. Impiego nell’industria mineraria

IMPIEGHI PRINCIPALI:

Industria mineraria, costruzioni idrauliche e nel suolo, mulini, macchine agricole, veicoli, costruzioni navali e ferroviarie. Mobili da giardino, palizzate, rivestimenti esterni, giochi e mobili da giardino, pali e piloni. Botti e botticelle.



SPECIE LEGNOSE A USO STRUTTURALE

CASTAGNO, CASTANEA SATIVA MILL. (Latifolia)

è un albero imponente che cresce fino ai 30 metri, un po' ovunque, introdotto in tutta l'Europa dai Romani

CARATTERI MACROSCOPICI DELLA STRUTTURA:

Durame differenziato obbligatoriamente: durame da bruno pallido a bruno scuro; albarno stretto e da quasi bianco a bianco giallastro. Grazie alla porosità zonata, anelli annuali distinti e vasi nella zona primaverile visibili ad occhio nudo; raggi midollari e vasi nella zona tardiva riconoscibili solo con una lente d’ingrandimento. Evidenti venature da pori. Struttura rigata.

DURABILITÀ E LAVORAZIONE:

Durame resistente agli attacchi fungini. Albarno moderatamente impregnabile, durame molto difficilmente impregnabile. Essiccazione difficile e lenta; tendenza marcata al collasso cellulare, leggera tendenza ad imbarcarsi. Incollaggio da soddisfacente a buono. In presenza di elevata umidità del legno possibile corrosione dei metalli e azzuramenti del legno.

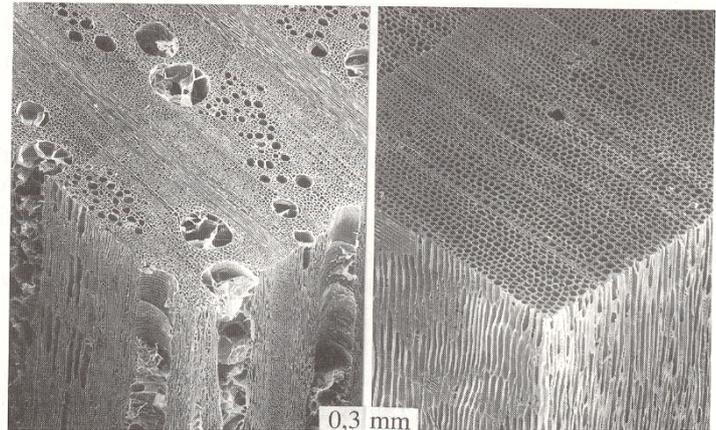
IMPIEGHI PRINCIPALI:

Legno da costruzione per finiture interne ed esterne, costruzioni idrauliche e navali. Legno da arredamento per mobili rustici e rivestimenti (spesso come piallaccio tranciato), parquet. In Francia come doghe per le botti.



STRUTTURA DEL MATERIALE LEGNO

La struttura del legno è costituita da elementi cellulari sottili ed allungati con orientamento generale (fibratura) parallelo all'asse del tronco.



STRUTTURA DEL MATERIALE LEGNO

IL MATERIALE LEGNO

Il legno è un materiale **FORTEMENTE ANISOTROPO**, a causa della differente forma delle cellule che lo compongono nelle tre direzioni, e delle differenti dimensioni delle cellule durante la stagione di accrescimento.

Inoltre è **FORTEMENTE ETEROGENEO**, a causa della presenza di "DIFETTI", quali nodi, tasche di resina, ecc.:

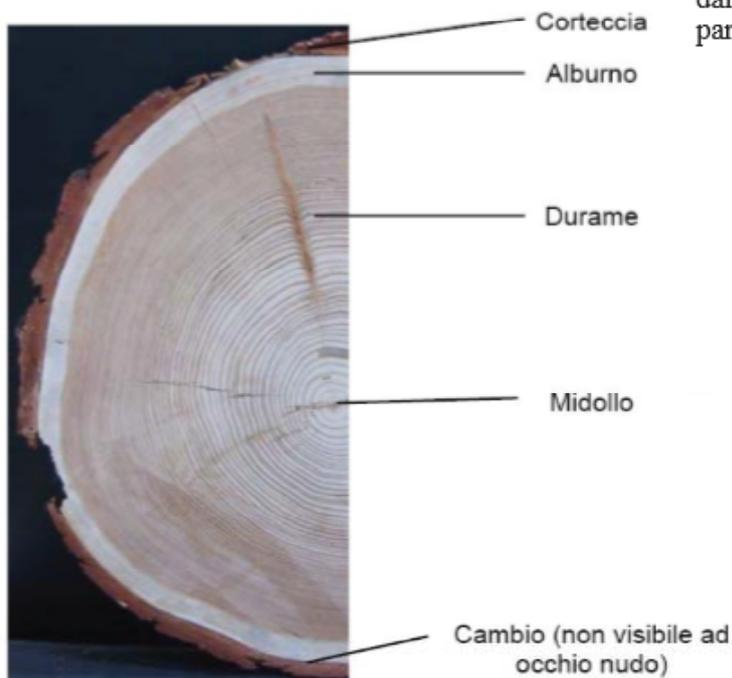
Le differenti specie legnose possono raggrupparsi in due grandi categoria:

- CONIFERE (Softwood): abete rosso, bianco, ecc.
- LATIFOGIE (Hardwood): quercia, pioppo, ecc.



STRUTTURA DEL MATERIALE LEGNO

COSTITUZIONE DEL TRONCO

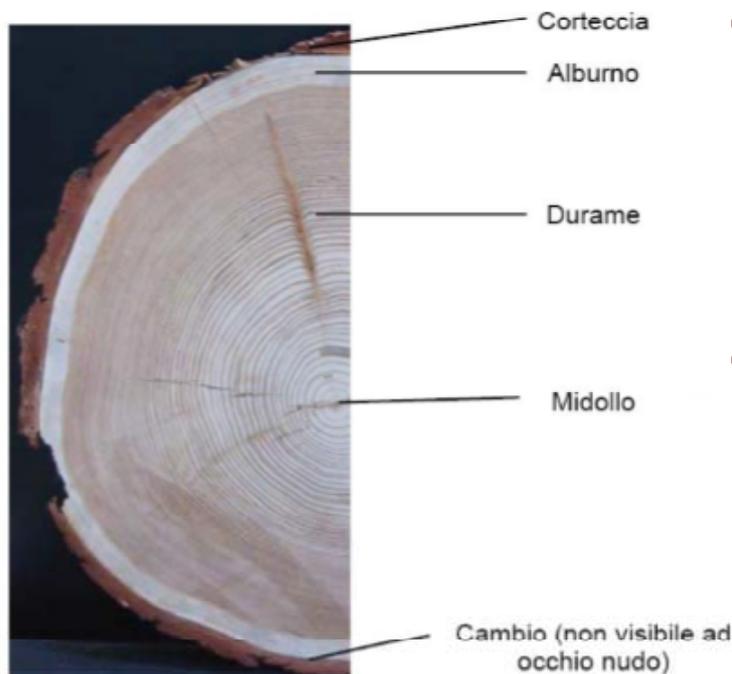


Osservando una sezione di tronco dall'albero possiamo notare le varie parti che lo formano:

- **CORTECCIA** fisiologicamente è morta, serve come protezione alla pianta e consente gli scambi gassosi necessari alla vita della pianta. Questa parte dell'albero non ha molte applicazioni e usi. Con la corteccia del sughero si fanno turaccioli e materiali isolanti, oggettini di artigianato e, affettata molto sottile, si usa anche nelle tappezzerie per pareti.

STRUTTURA DEL MATERIALE LEGNO

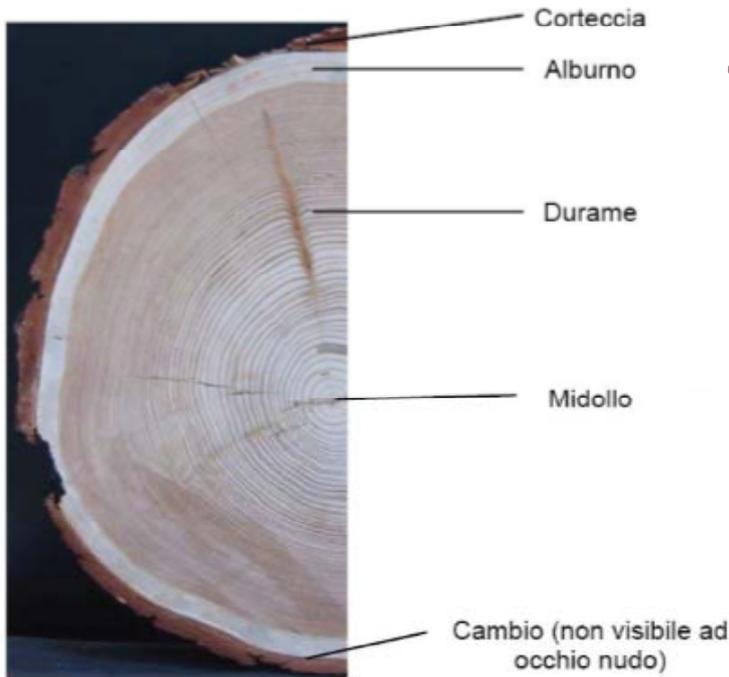
COSTITUZIONE DEL TRONCO



- **ALBURNO:** è formata da cellule vive che costituiscono l'apparato circolatorio della pianta consentendo la conduzione dei sali minerali dalle radici alle foglie. Si distingue dall'interno durame dal colore più chiaro.
- **DURAME:** è il legno vero e proprio, quello che si lavora per molti usi e si distingue dal resto per colore e compattezza.

STRUTTURA DEL MATERIALE LEGNO

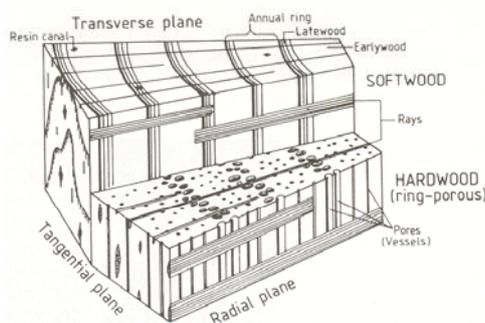
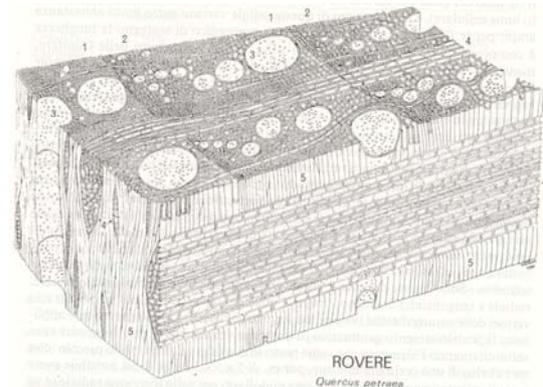
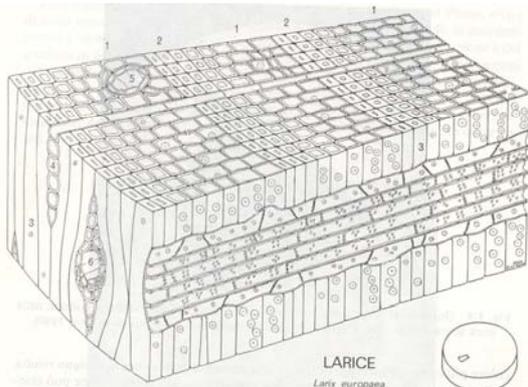
COSTITUZIONE DEL TRONCO



● **MIDOLLO:** al centro di tutti gli anelli concentrici, come asse dell'albero, c'è il midollo che varia di dimensione e di densità secondo gli alberi e che, col tempo, può anche seccarsi, polverizzarsi, sparire.

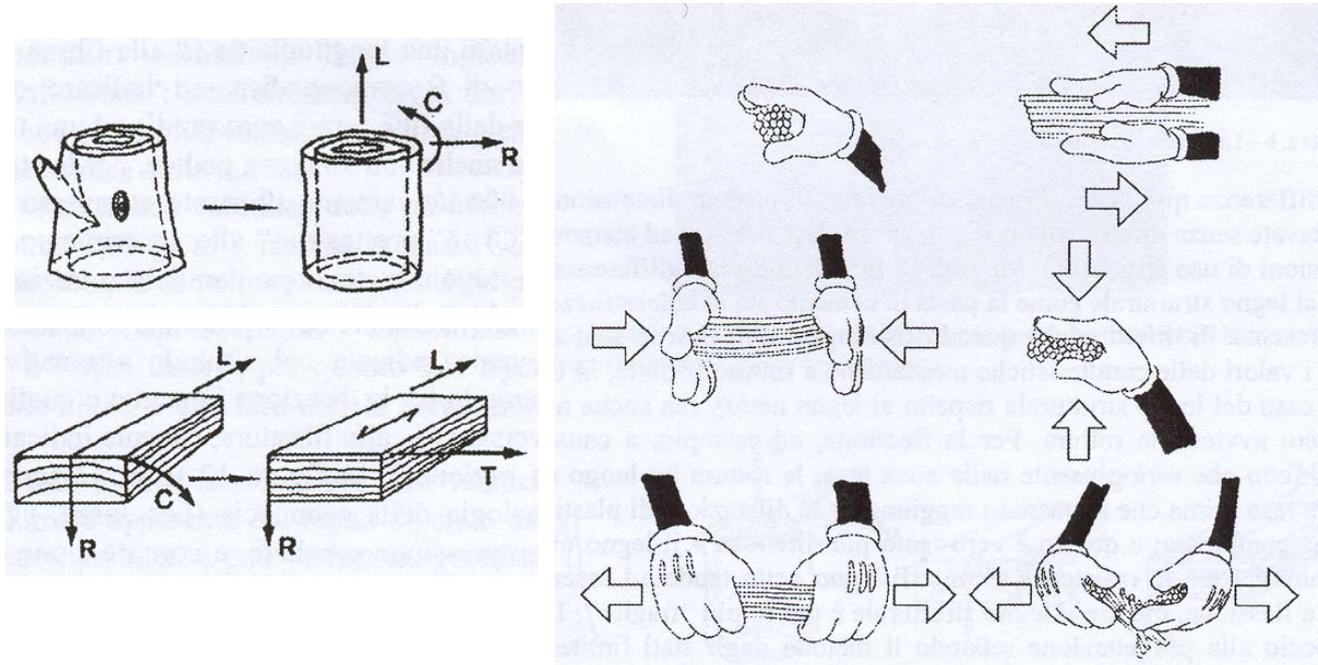
CONIFERE E LATIFOGIE

La struttura e l'accrescimento del legno di conifera è diverso da quello di latifoglia



LEGNO MATERIALE ORTOTROPO

La struttura fibrosa conferisce alla maggior parte delle proprietà del legno una spiccata ortotropia.



LEGNO MATERIALE CON DIFETTI

Il legno è un materiale che presenta delle caratteristiche noi chiamiamo “difetti” perché peggiorano le prestazioni del materiale

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

PROFILO PRESTAZIONALE

Il legno per usi strutturali è caratterizzato dai seguenti parametri meccanici e fisici

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 | ρ_k |
| Trazione parallela | $f_{t,0,k}$ | Modulo elastico parallelo caratteristico | $E_{0,05}$ | Massa volumica media *,** | ρ_{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.

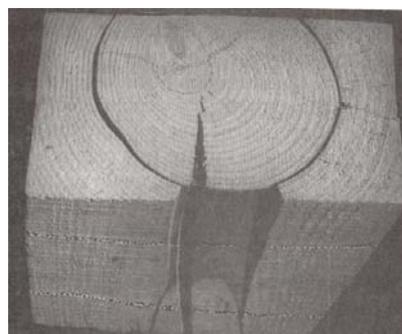
** Il pedice *mean* può essere abbreviato con *m*

LEGNO MATERIALE CON DIFETTI

- nodi

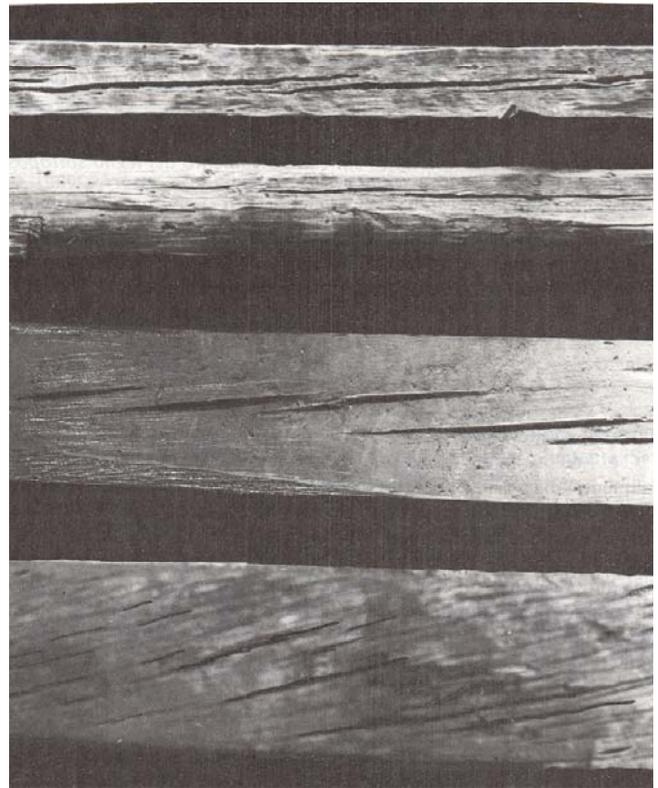
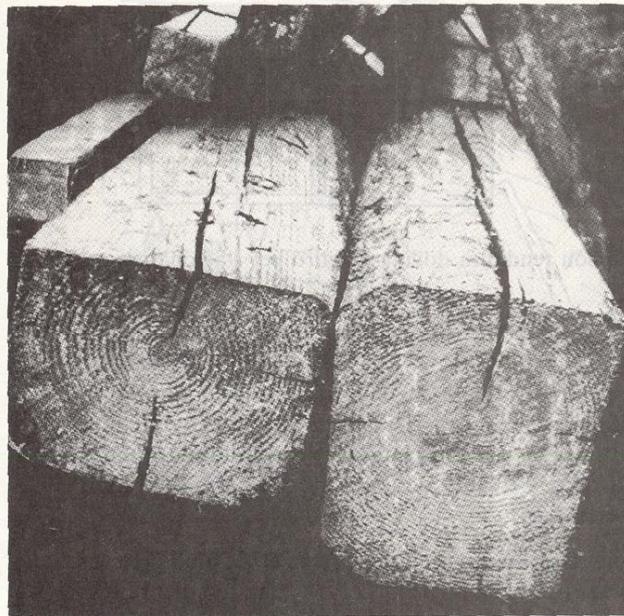


- cipollature



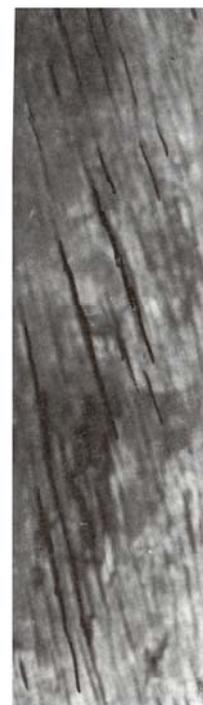
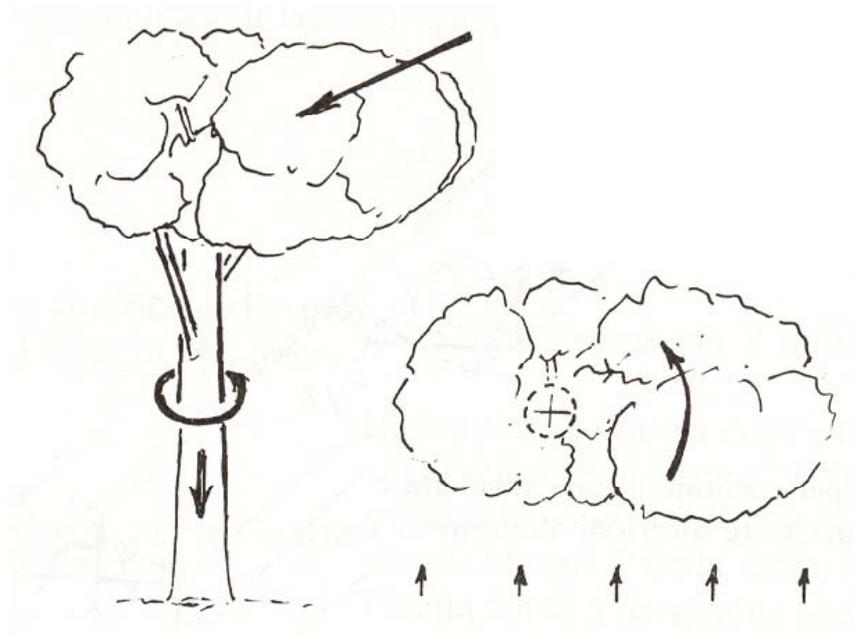
LEGNO MATERIALE CON DIFETTI

- fessure da ritiro



LEGNO MATERIALE CON DIFETTI

- fibratura spiralata

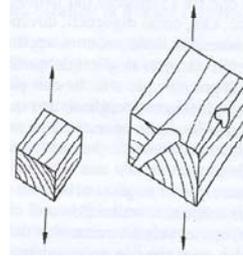


DIMENSIONE E RESISTENZA

La presenza di difetti influisce sensibilmente sui parametri meccanici del materiale

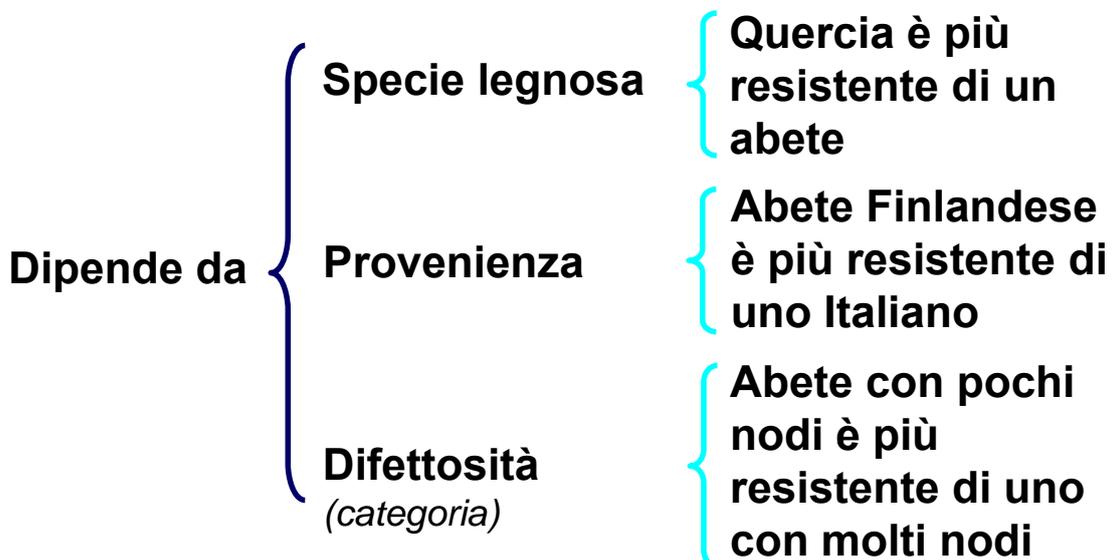
Prove su piccoli campioni privi di difetti (legno netto) danno resistenze molto più elevate di prove su campioni grandi di legno strutturale (con difetti)

Al crescere della dimensione del campione di prova si riduce la resistenza del materiale, effetto maggiormente evidente per prove di trazione perpendicolare alla fibratura



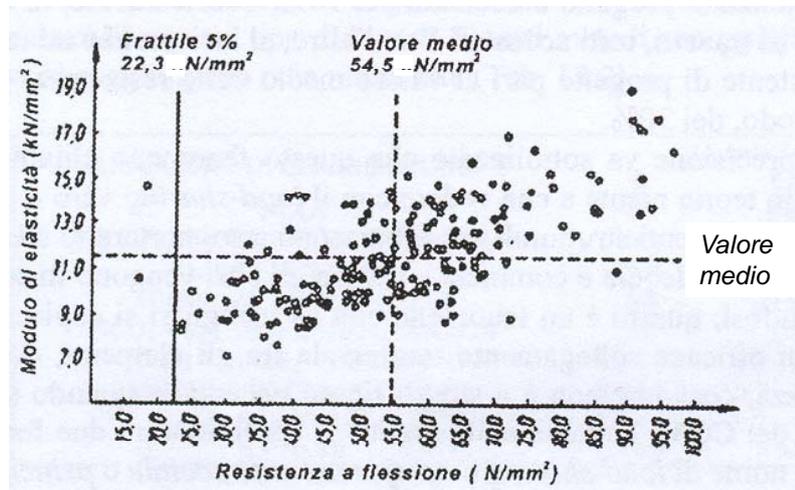
LEGNO MATERIALE VARIABILE

Il legno presenta una elevata variabilità di tutte le sue caratteristiche



VARIABILITA' DA DIFETTOSITA'

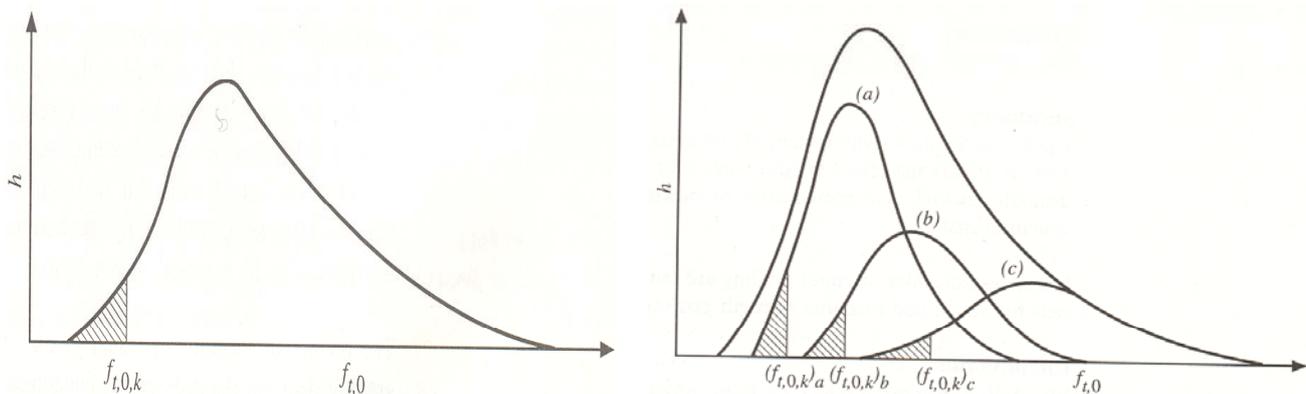
Eseguendo prove su numerosi campioni di legno della stessa specie e provenienza si ottiene



Il rapporto fra la resistenza del campione più resistente e quella del più debole è quasi quattro

VARIABILITA' DA DIFETTOSITA'

E' quindi indispensabile, per garantire la sicurezza e l'economicità dell'opera, selezionare gli elementi migliori da quelli peggiori. In particolare si possono fare tre mucchi: peggiori (a), intermedi (b), migliori (c)

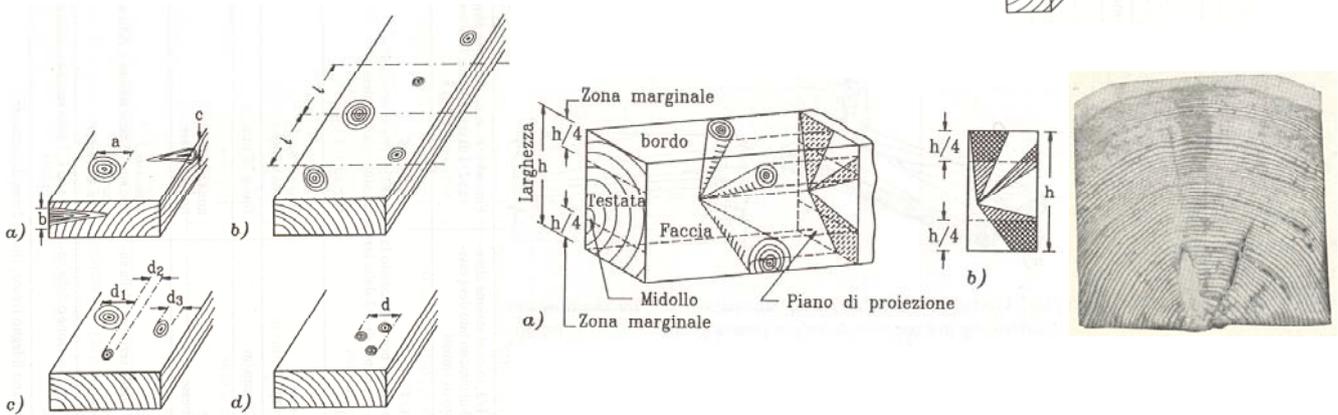
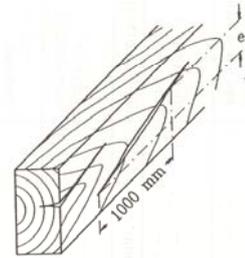


Si ottengono valori caratteristici diversi per gli elementi dei tre mucchi

CLASSIFICAZIONE SECONDO LA RESISTENZA

Il criterio adottato nella classificazione può essere esclusivamente a vista UNI EN 518

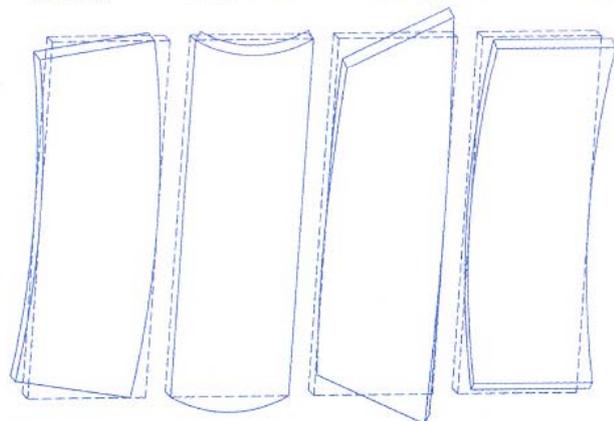
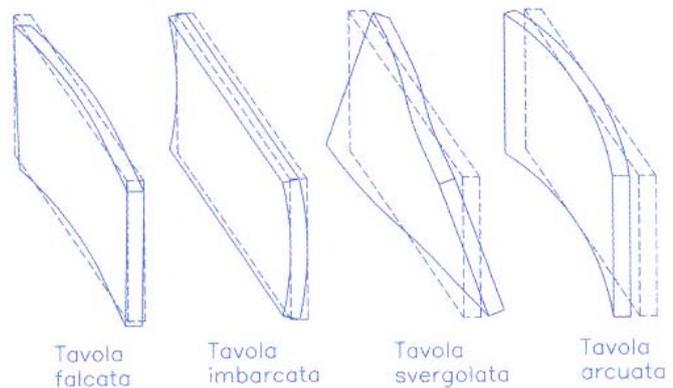
- dimensione e distribuzione nodi
- inclinazione fibratura
- spessore degli anelli di crescita



CLASSIFICAZIONE SECONDO LA RESISTENZA

Deformazioni del legno:

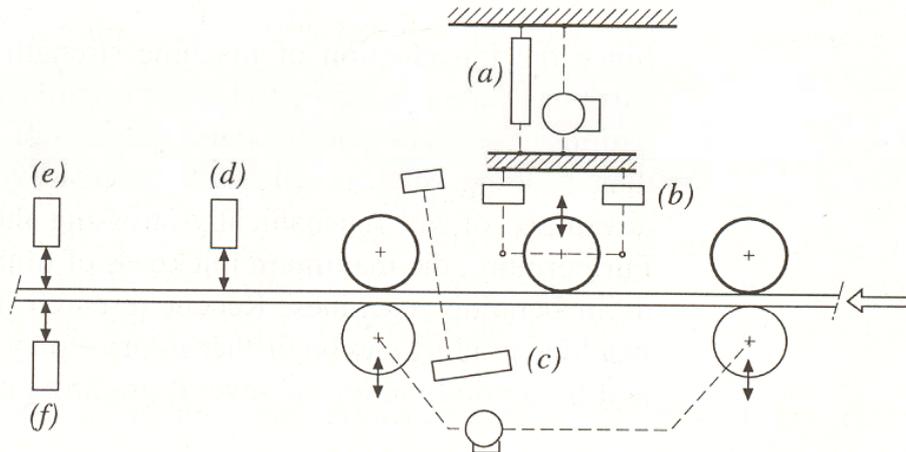
- *falcatura*
- *imbarcamento*
- *svergolamento*
- *arcuatura*



CLASSIFICAZIONE SECONDO LA RESISTENZA

Oppure la classificazione utilizza anche metodi meccanici UNI EN 519

- massa volumica
- modulo di elasticità



Richiede ispezione a vista supplementare

CLASSIFICAZIONE SECONDO LA RESISTENZA

Secondo la UNI EN 11035-2 il legno di conifera italiano può essere suddiviso in tre categorie S1, S2, S3 ed il legno di latifoglia in un'unica categoria S

Profilo prestazionale {

- Specie legnosa
- Provenienza
- Categoria

Può allora succedere che la resistenza di un larice di categoria S2 sia uguale o maggiore della resistenza di un abete rosso di categoria S1.

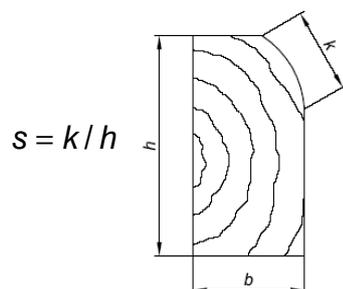
Il legno di Douglasia è suddiviso in due categorie S1 e S2/S3

Regole di classificazione da adottare per i diversi tipi di legname italiani

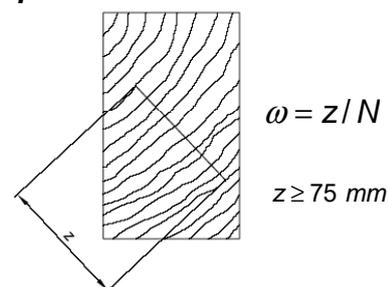
| Specie/Provenienza | Sigla | Regola di classificazione | Categoria |
|-------------------------|-------|---------------------------|-------------|
| Conifere | | | |
| UNI EN 11035-2 | | | |
| Abete/Nord | A/N | Conifere 1 | S1 |
| | | | S2 |
| | | | S3 |
| Abete/Centro Sud | A/C | Conifere 1 | S1 |
| | | | S2 |
| | | | S3 |
| Larice/Nord | L/N | Conifere 1 | S1 |
| | | | S2 |
| | | | S3 |
| Douglasia/Italia | D/I | Conifere 2 | S1 S2/S3 |
| Altre conifere/Italia | CON/I | Conifere 1 | S1 |
| | | | S2 |
| | | | S3 |
| Latifoglie | | | |
| Castagno/Italia | C/I | Latifoglie | S |
| Querce/Italia | Q/I | Latifoglie | S |
| Pioppo e Ontano/Italia | P/I | Latifoglie | S |
| Altre latifoglie/Italia | LAT/I | Latifoglie | S |

CARATTERISTICHE CHE RIDUCONO LA RESISTENZA

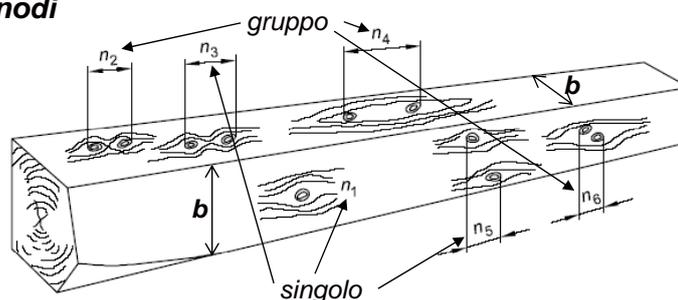
smussi



Spessore anelli

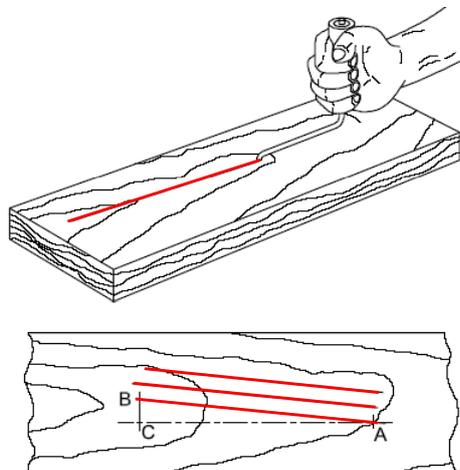


nodi

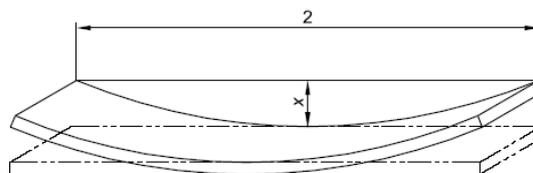


CARATTERISTICHE CHE RIDUCONO LA RESISTENZA

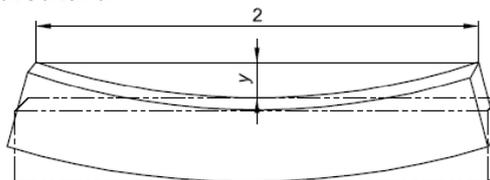
Inclinazione fibratura



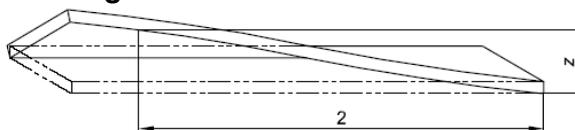
arcuatura



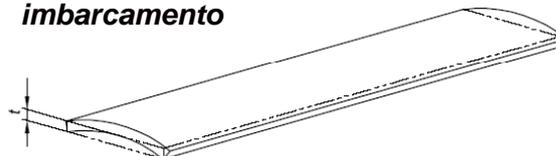
falcatura



svergolamento



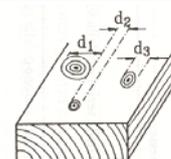
imbarcamento



prospetto 2

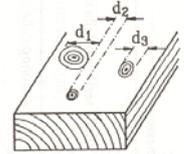
Regola per la classificazione a vista secondo la resistenza dei segati di Conifera corrispondenti alla definizione "Conifere 1" del prospetto 1

| "Conifere 1" | | | |
|--|--|---|--|
| Criteri per la classificazione | Categorie | | |
| | S1 | S2 | S3 |
| Smussi ¹⁾ | $s \leq 1/8$ e comunque ciascun lato della sezione, per almeno 2/3, non deve essere interessato da smussi | $s \leq 1/3$ e comunque ciascun lato della sezione, per almeno 1/3, non deve essere interessato da smussi | $s \leq 1/2$ e comunque ciascun lato della sezione, per almeno 1/4, non deve essere interessato da smussi |
| Nodi singoli ²⁾ | $A \leq 1/5$ e comunque $d < 50$ mm | $A \leq 2/5$ e comunque $d < 70$ mm | $A \leq 3/5$ $A = d / b$ |
| Nodi raggruppati ³⁾ (No Abete e Larice Nord) | $A_g \leq 2/5$ | $A_g \leq 2/3$ | $A_g \leq 3/4$ $A_g = \sum d_i / b$ |
| Ampiezza anelli | ≤ 6 mm | nessuna limitazione | |
| Inclinazione fibratura | $\leq 1:14$ | $\leq 1:8$ | $\leq 1:6$ |
| Fessurazioni: - da ritiro - cipollatura - da fulmine, gelo, lesioni | ammesse, se non passanti non ammessa non ammesse | ammesse senza limitazioni ammessa con limitazioni ⁴⁾ non ammesse | |
| Degrado da funghi: - azzurramento - carie bruna e bianca | ammesso non ammesse | | |
| Legno di compressione (elevato ritiro longitudinale) | fino a 1/5 della superficie o della sezione | fino a 2/5 della superficie o della sezione | fino a 3/5 della superficie o della sezione |
| Attacchi di insetti | non ammessi | ammessi con limitazioni ⁵⁾ | |
| Vischio | non ammesso | | |
| Deformazioni: (l=2 m) - Arcuatura - Falcatura - Svergolamento - Imbarcamento | 10 mm ogni 2 m di lunghezza 8 mm ogni 2 m di lunghezza 1 mm ogni 25 mm di larghezza nessuna restrizione | 20 mm ogni 2 m di lunghezza 12 mm ogni 2 m di lunghezza 2 mm ogni 25 mm di larghezza nessuna restrizione | |



Regola per la classificazione a vista secondo la resistenza dei segati di Conifera corrispondenti alla definizione "Conifere 2" del prospetto 1

| "Conifere 2" | | |
|--|--|--|
| Criteri per la classificazione | Categorie | |
| | S1 | S2/S3 |
| Smussi ¹⁾ | $s \leq 1/8$ e comunque ciascun lato della sezione, per almeno 2/3, non deve essere interessato da smussi | $s \leq 1/2$ e comunque ciascun lato della sezione, per almeno 1/2, non deve essere interessato da smussi |
| Nodi singoli ²⁾ | $A \leq 1/5$ e comunque $d < 50$ mm | $A \leq 3/5$ |
| Nodi raggruppati ³⁾ | $\leq 2/5$ | $\leq 3/4$ |
| Ampiezza anelli Massa volumica | nessuna limitazione $\rho > 380$ kg/m ³ | |
| Inclinazione fibratura | ≤ 1.14 | ≤ 1.8 |
| Fessurazioni: - da ritiro - cipollatura - da fulmine, gelo, lesioni | ammesse non ammessa non ammesse | |
| Degrado da funghi: - azzurramento - carie bruna e bianca | ammesso non ammesse | |
| Legno di compressione | fino a 1/5 della superficie o della sezione | fino a 3/5 della superficie o della sezione |
| Attacchi di insetti | non ammessi | ammessi con limitazioni ⁴⁾ |
| Vischio | non ammesso | |
| Deformazioni: - Arcuatura - Falcatura - Svergolamento - Imbarcamento | 10 mm ogni 2 m di lunghezza 8 mm ogni 2 m di lunghezza 1 mm ogni 25 mm di larghezza nessuna restrizione | |


Regola per la classificazione a vista secondo la resistenza dei segati di Latifoglie corrispondenti alla definizione "Latifoglie" del prospetto 1

| "Latifoglie" | |
|--|--|
| Criteri per la classificazione | Categoria unica |
| | S |
| Smussi ¹⁾ | $s \leq 1/4$ e comunque ciascun lato della sezione, per almeno 2/3, non deve essere interessato da smussi |
| Nodi singoli ²⁾ | $A \leq 1/2$ e comunque: $\begin{cases} d \leq 70 \text{ mm} \\ D \leq 150 \text{ mm} \end{cases}$ |
| Nodi raggruppati ³⁾ | $W \leq 1/2$ e comunque: $t \leq 70$ mm |
| Ampiezza anelli Massa volumica ⁴⁾ | nessuna limitazione $\rho > \rho_{\min}$ |
| Inclinazione fibratura | ≤ 1.6 |
| Fessurazioni: - da ritiro - cipollatura - da fulmine, gelo, lesioni | ammesse con limitazioni ⁵⁾ ammessa con limitazioni ⁶⁾ non ammesse |
| Degrado da funghi: carie bruna o bianca | non ammessa |
| Legno di tensione | nessuna limitazione |
| Attacchi di insetti | ammessi con limitazioni ⁷⁾ |
| Vischio | non ammesso |
| Deformazioni: - Arcuatura - Falcatura - Svergolamento - Imbarcamento | 10 mm ogni 2 m di lunghezza 8 mm ogni 2 m di lunghezza 1 mm ogni 25 mm di larghezza nessuna restrizione |

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

CLASSI DI RESISTENZA SECONDO LA EN 338

Tavola 5. SISTEMA DI CLASSI DI RESISTENZA PER IL LEGNAME STRUTTURALE SPECIFICATO IN EN338 (revisione 2002)

| Proprietà di resistenza (in N/mm ²) | Legname di Conifere e di Pioppo | | | | | | | | | | | Legname di Latifoglie | | | | | | | |
|---|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| | C14 | C16 | C18 | C20 | C22 | C24 | C27 | C30 | C35 | C40 | C45 | C50 | D30 | D35 | D40 | D50 | D60 | D70 | |
| Flessione | $f_{m,k}$ | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 27 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 30 | 35 | 40 | 50 | 60 | 70 |
| Trazione parallela | $f_{t,0,k}$ | 8 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 16 | 18 | 21 | 24 | 27 | 30 | 18 | 21 | 24 | 30 | 36 | 42 |
| Trazione perpendicolare | $f_{t,90,k}$ | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| Compressione parallela | $f_{c,0,k}$ | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 25 | 26 | 27 | 29 | 23 | 25 | 26 | 29 | 32 | 34 |
| Compressione perpendicolare | $f_{c,90,k}$ | 2,0 | 2,2 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 2,8 | 2,9 | 3,1 | 3,2 | 8,0 | 8,4 | 8,8 | 9,7 | 10,5 | 13,5 |
| Taglio | $f_{v,k}$ | 1,7 | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 2,4 | 2,5 | 2,8 | 3,0 | 3,4 | 3,8 | 3,8 | 3,8 | 3,0 | 3,4 | 3,8 | 4,6 | 5,3 | 6,0 |
| Proprietà di rigidezza (in kN/mm ²) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Modulo elastico medio parallelo | $E_{0,mean}$ | 7 | 8 | 9 | 9,5 | 10 | 11 | 11,5 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 10 | 10 | 11 | 14 | 17 | 20 |
| Modulo elastico 5° percentile parallelo | $E_{0,05}$ | 4,7 | 5,4 | 6,0 | 6,4 | 6,7 | 7,4 | 7,7 | 8,0 | 8,7 | 9,4 | 10,0 | 10,7 | 8,0 | 8,7 | 9,4 | 11,8 | 14,3 | 16,8 |
| Modulo elastico medio perpendicolare | $E_{90,mean}$ | 0,23 | 0,27 | 0,30 | 0,32 | 0,33 | 0,37 | 0,38 | 0,40 | 0,43 | 0,47 | 0,50 | 0,53 | 0,64 | 0,69 | 0,75 | 0,93 | 1,13 | 1,33 |
| Modulo tangenziale medio | G_{mean} | 0,44 | 0,50 | 0,56 | 0,59 | 0,63 | 0,69 | 0,72 | 0,75 | 0,81 | 0,88 | 0,94 | 1,00 | 0,60 | 0,65 | 0,70 | 0,88 | 1,06 | 1,25 |
| Massa volumica (in kg/m ³) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Massa volumica 5° percentile | ρ_k | 290 | 310 | 320 | 330 | 340 | 350 | 370 | 380 | 400 | 420 | 440 | 460 | 530 | 560 | 590 | 650 | 700 | 900 |
| Massa volumica media | ρ_{mean} | 350 | 370 | 380 | 390 | 410 | 420 | 450 | 460 | 480 | 500 | 520 | 550 | 640 | 670 | 700 | 780 | 840 | 1080 |

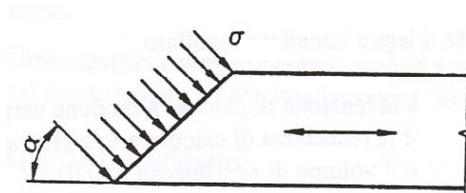
LEGNO DI PROVENIENZA ESTERA

Per il legno di provenienza estera esiste la UNI EN 1912 che associa alle specie, provenienza e categoria il profilo resistente definito nella UNI EN 338

| Classificazione UNI EN 338 | Categoria | Provenienza | Specie |
|----------------------------|------------|--------------------|---|
| C30 | S13 | Germania e Austria | Abete rosso, Larice, Abete bianco, Pino |
| C24 | S10 | Germania e Austria | Abete rosso, Larice, Abete bianco, Pino |
| C16 | S7 | Germania e Austria | Abete rosso, Larice, Abete bianco, Pino |

SFORZI INCLINATI RISPETTO ALLE FIBRE

La resistenza in direzione α rispetto alla direzione della fibratura si determina mediante la formula di Hankinson

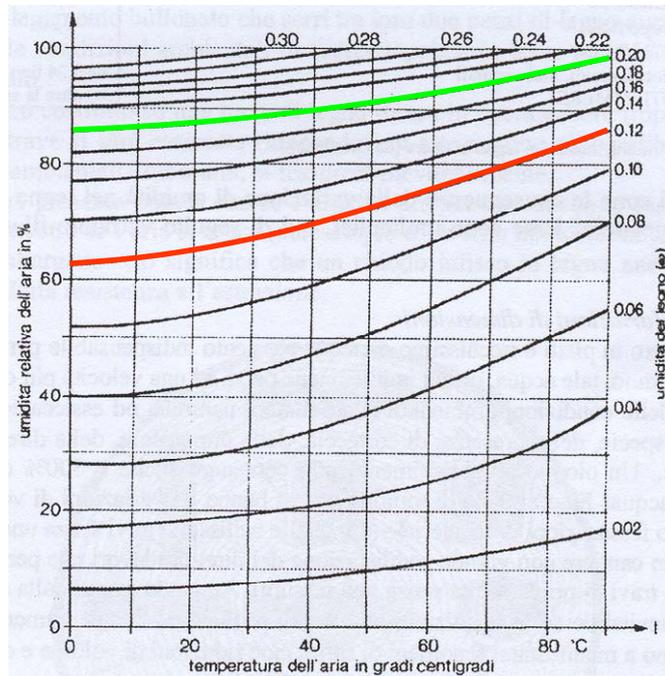


$$f_{c,\alpha,k} = \frac{f_{c,0,k} \cdot f_{c,90,k}}{f_{c,0,k} \sin^n \alpha + f_{c,90,k} \cos^n \alpha}$$

L'esponente n assume il valore $2 \div 2.5$ per la compressione e $1.5 \div 2$ per trazione e flessione. Nell'EN 1995-1-1 viene suggerito un unico valore pari a 2.

LEGNO E UMIDITA'

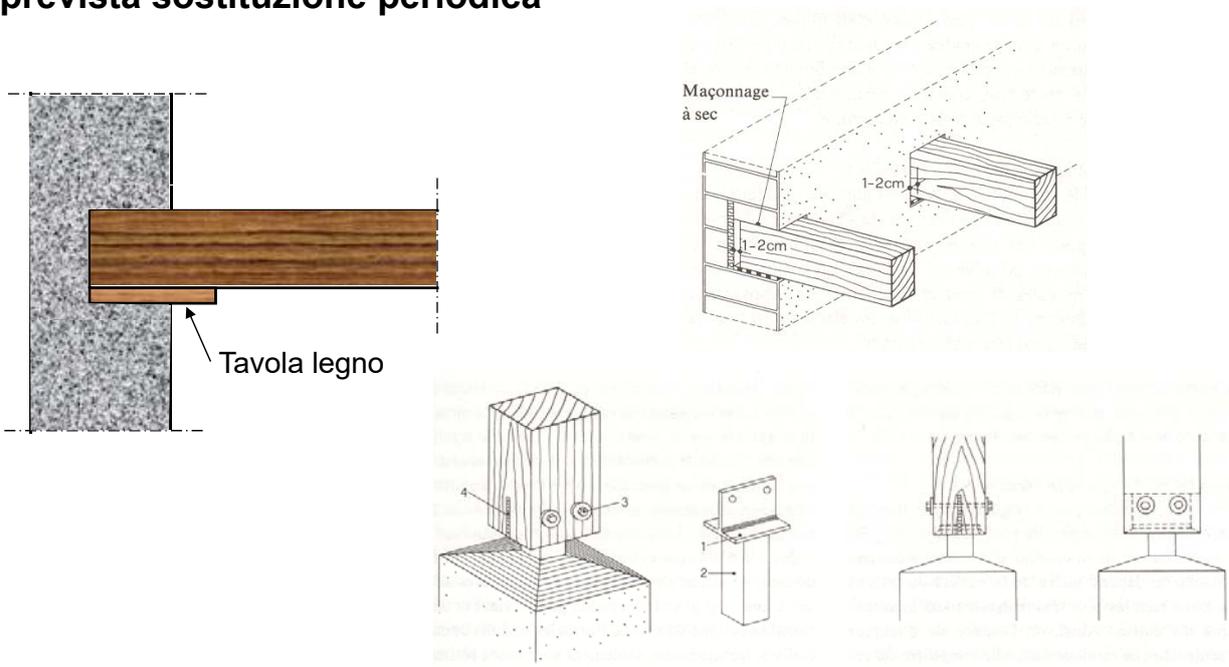
Al variare delle condizioni ambientali il legno continua indefinitamente ad adsorbire e desorbire l'umidità della atmosfera



IL LEGNO MARCISCE

Il legno in condizioni di umidità superiori al 20% marcisce e quindi va sempre protetto dal contatto con l'acqua

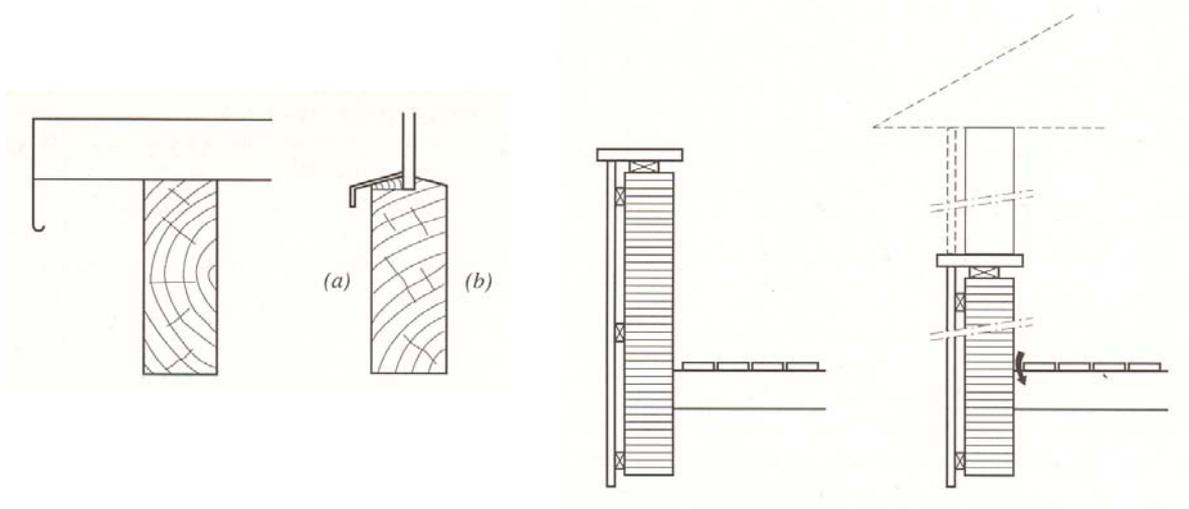
Utilizzo di elementi di usura nelle zone insidiate dall'umidità con prevista sostituzione periodica



IL LEGNO MARCISCE

Il legno in condizioni di umidità superiori al 20% marcisce e quindi va sempre protetto dal contatto con l'acqua

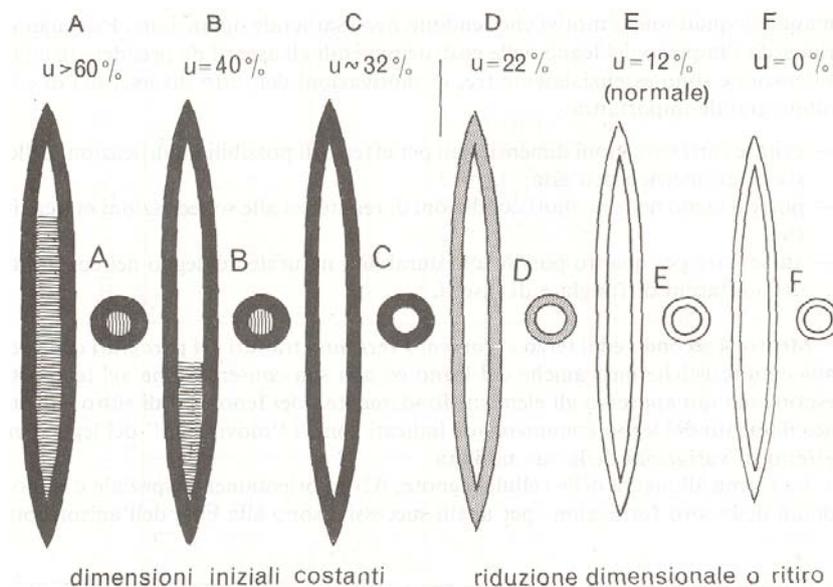
Utilizzo di elementi di usura nelle zone insidiate dall'umidità con prevista sostituzione periodica



VARIAZIONI DIMENSIONALI

L'albero in piedi è ricchissimo d'acqua. Una volta abbattuto tale acqua viene persa più o meno velocemente a seconda del tipo di stagionatura (naturale, artificiale)

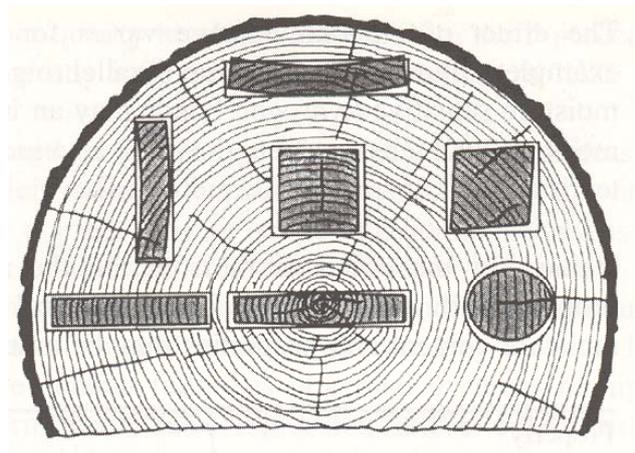
Non si ha alcuna variazione dimensionale fino al 30% di umidità; sotto tale valore si ha riduzione dimensionale o ritiro



VARIAZIONI DIMENSIONALI

Il ritiro tangenziale si sviluppa più rapidamente di quello radiale per cui si formano delle inevitabili fessure longitudinali, se la sezione contiene il midollo

Se la sezione non contiene il midollo si ha distorsione della sezione stessa



VARIAZIONI DIMENSIONALI

Il valori dei coefficienti di ritiro medi nelle direzioni tangenziale, radiale, longitudinale sono

| Specie legnosa | Tangenziale α_T | Radiale α_R | Longitudinale α_L |
|------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| Conifere Europee | 0.24 | 0.12 | 0.01 |
| Quercia e Faggio | 0.40 | 0.20 | 0.01 |

Esempio: una tavola tangenziale di 100 mm di larghezza che passa da 30% al 12 % di umidità si ritira di

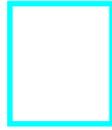
$$\Delta b = \alpha_T \cdot b \cdot \Delta \omega = 0.24 \cdot 100 \cdot 0.18 = 4.32 \text{ mm}$$

VARIAZIONI DI MODULO ELASTICO

Il legno umido è più deformabile;

il modulo elastico istantaneo decresce all'aumentare dell'umidità;

la deformabilità effettiva di un elemento strutturale non aumenta proporzionalmente al diminuire del modulo elastico ma molto meno perché varia la sezione



$$\omega = \omega_1 \quad E = E_1$$



$$\omega > \omega_1 \quad E < E_1$$

Si ha anche una modesta riduzione di resistenza con ω

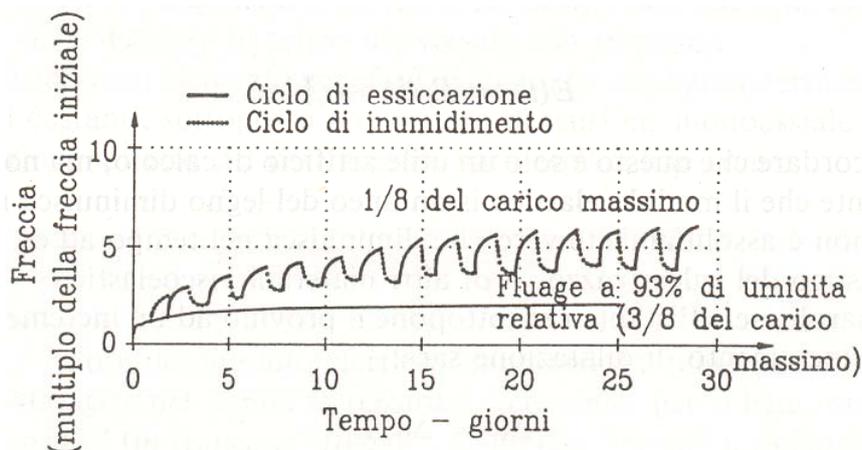
DEFORMABILITA' SOTTO CARICO

- Carico costante e umidità costante

Si ha aumento della deformazione nel tempo (viscosità)

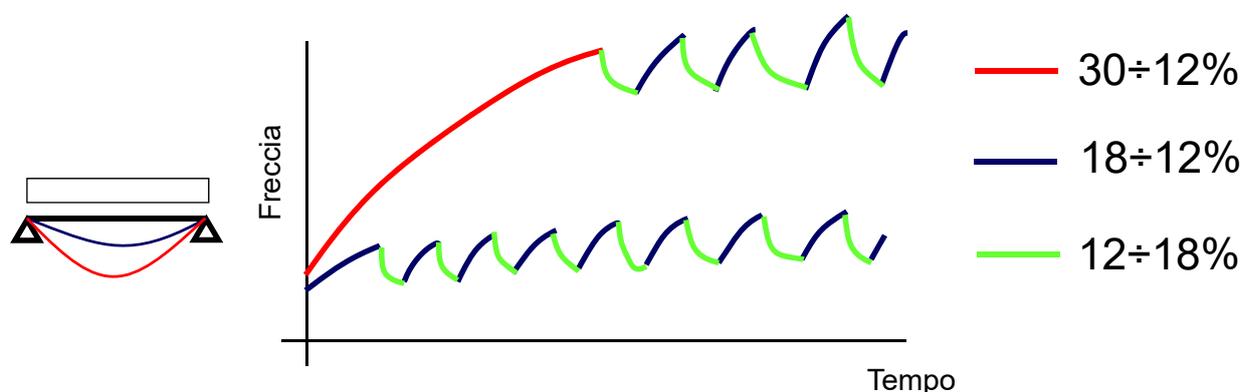
- Carico costante e umidità variabile

Si ha aumento della deformazione nel tempo (fenomeno meccanico assorbitivo) molto più accentuato dalle variazioni di umidità



DEFORMABILITA' SOTTO CARICO

Esempio: messa in opera di elemento molto umido



Necessario mettere in opera legname stagionato oppure lasciare i puntelli per lungo tempo

CLASSI DI SERVIZIO

La deformazione e la resistenza sono influenzate dalle caratteristiche di esercizio della struttura per cui si considerano **tre diverse classi di servizio della struttura.**

| Classe di servizio | Caratteristiche |
|--------------------|--|
| 1 | Umidità legno in equilibrio con ambiente a 20°C ed umidità relativa aria che supera il 65% poche settimane all'anno (umidità media <12%) |
| 2 | Umidità legno in equilibrio con ambiente a 20°C ed umidità relativa aria che supera l'85% poche settimane all'anno (umidità media <20%) |
| 3 | Condizioni climatiche che prevedono umidità più elevate di quelle della classe di servizio 2 |

CLASSI DI DURATA DEL CARICO

La deformazione e la resistenza sono influenzate dalla durata del carico per cui si considerano **cinque diverse classi di durata del carico**.

| Classe di durata del carico | Durata del carico | |
|-----------------------------|----------------------|-----------------------|
| Permanente | più di 10 anni | <i>Peso proprio</i> |
| Lunga durata | 6 mesi -10 anni | <i>Var. depositi</i> |
| Media durata | 1 settimana – 6 mesi | <i>Var. in genere</i> |
| Breve durata | meno di 1 settimana | <i>Neve, vento</i> |
| Istantaneo | -- | <i>Sisma, acc.</i> |

CALCOLO DEFORMABILITA'

Si considera un coefficiente k_{def} che tiene conto di viscosità del legno e variazione di umidità a seconda **della classe di servizio della struttura**.

| Tipi di legno | Classe di servizio | | |
|---------------------|--------------------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Legno massiccio | 0,60 | 0,80 | 2,00 |
| Lamellare incollato | 0,60 | 0,80 | 2,00 |
| Compensato | 0,80 | 1,00 | 2,50 |

Combinazione rara

$$u_{fin} = u_{ist} + u_{dif}$$

Combinazione quasi-permanente

$$u_{dif} = u'_{ist} \cdot k_{def}$$

Se il legno viene posto in opera con il 30% di umidità $K_{def} = K_{def} + 1.0$

CALCOLO DEFORMABILITA'

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

DM 17.01.2018

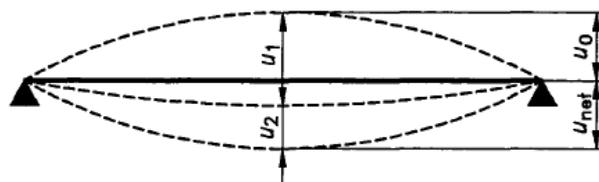
| Materiale | Riferimento | Classe di servizio | | |
|--|----------------------------|--------------------|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| Legno massiccio | UNI EN 14081-1 | 0,60 | 0,80 | 2,00 |
| Legno lamellare incollato * | UNI EN 14080 | 0,60 | 0,80 | 2,00 |
| LVL | UNI EN 14374, UNI EN 14279 | 0,60 | 0,80 | 2,00 |
| Compensato | UNI EN 636:2015 | 0,80 | - | - |
| | | 0,80 | 1,00 | - |
| | | 0,80 | 1,00 | 2,50 |
| Pannelli di scaglie orientate (OSB) | UNI EN 300:2006 | OSB/2 | 2,25 | - |
| | | OSB/3 OSB/4 | 1,50 | 2,25 |
| Pannello di particelle (truciolare) | UNI EN 312:2010 | Parte 4 | 2,25 | - |
| | | Parte 5 | 2,25 | 3,00 |
| | | Parte 6 | 1,50 | - |
| | | Parte 7 | 1,50 | 2,25 |
| Pannello di fibre, pannelli duri | UNI EN 622-2::2005 | HB.LA | 2,25 | - |
| | | HB.HLA1, HB.HLA2 | 2,25 | 3,00 |
| Pannello di fibre, pannelli semiduri | UNI EN 622-3:2005 | MBH.LA1, MBH.LA2 | 3,00 | - |
| | | MBH.HLS1, MBH.HLS2 | 3,00 | 4,00 |
| | | MDF.LA | 2,25 | - |
| Pannello di fibra di legno, ottenuto per via secca (MDF) | UNI EN 622-5:2010 | MDF.LA | 2,25 | - |
| | | MDF.HLS | 2,25 | 3,00 |

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 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.

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.

LIMITAZIONI FRECCIA



Per il calcolo dei valori di freccia istantanei si utilizza il valore medio dei moduli elastici E e G.

u_0 contrefreccia

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

l luce libera trave appoggiata

$$u_{2,ist} \leq l/300 \quad \longrightarrow \quad u_{2,ist} \text{ da carico } \left[Q_{1k} + \sum_{i=2}^n (\psi_{oi} Q_{ik}) \right]$$

$$u_{2,fin} \leq l/200 \quad \longrightarrow \quad u_{2,fin} \text{ da carico } \left[\sum_{i=1}^n (\psi_{2i} Q_{ik}) \right]$$

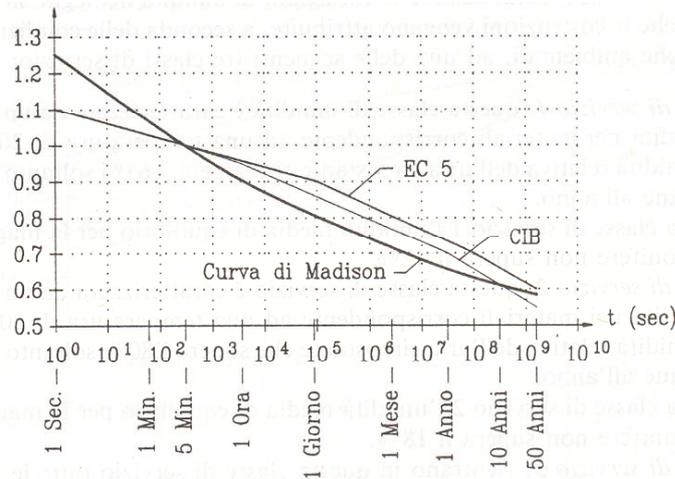
$$u_{net,fin} \leq l/200$$

RESISTENZA NEL TEMPO

Le proprietà meccaniche del legno sono definite sulla base di prove sperimentali della durata di circa 5 minuti

Se la prova viene condotta più lentamente, la rottura viene raggiunta per un valore del carico inferiore

Il legno infatti inizia a danneggiarsi già per valori del carico prossimi al 60% della resistenza a 5 min.



RESISTENZA NEL TEMPO

Nelle verifiche di resistenza è quindi necessario tenere conto della effettiva durata del carico che agisce sulla membratura in questione (*classe di durata del carico*)

Inoltre, siccome la resistenza del materiale varia al variare dell'umidità del materiale è necessario tener conto anche della **classe di servizio della struttura**.

Si introduce quindi un fattore correttivo k_{mod} che va a moltiplicare i valori di resistenza caratteristici ricavati da prove della durata di 5 min.

RESISTENZA NEL TEMPO

I valori del coefficiente correttivo k_{mod} dipendente dalla classe di durata e dalla classe di servizio

| Classe di durata del carico | Classe di servizio | | |
|---|--------------------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Legno massiccio e legno lamellare incollato, compensato | | | |
| Permanente | 0,60 | 0,60 | 0,50 |
| Lunga durata | 0,70 | 0,70 | 0,55 |
| Media durata | 0,80 | 0,80 | 0,65 |
| Breve durata | 0,90 | 0,90 | 0,70 |
| Istantaneo | 1,10 | 1,10 | 0,90 |

S e una combinazione di carico comprende azioni appartenenti a differenti classi di durata del carico si dovrà scegliere un valore di k_{mod} che corrisponde alla azione di minor durata.

k_{mod} del carico di minore durata

RESISTENZA NEL TEMPO

I valori del coefficiente correttivo k_{mod} dipendente dalla classe di durata e dalla classe di servizio

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 |

DM 17.01.2018

RESISTENZA NEL TEMPO

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 Legno lamellare incollato (*) LVL | UNI EN 14081-1 | 1 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,10 | |
| | UNI EN 14080 | 2 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,10 | |
| | 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 |
| Pannello di fibre, pannelli semiduri | UNI EN 622-3:2005 | MBH.LA1 o 2 | 1 | 0,20 | 0,40 | 0,60 | 0,80 | 1,10 |
| | | 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 |

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.

| Materiale | Riferimento | Classe di servizio | Valori di k_{mod} per classe di durata del carico | | | | |
|--|---|--------------------|---|-------|-------|-------|------------|
| | | | Permanente | Lunga | Media | Breve | Istantanea |
| Legno massiccio | EN 14081-1 | 1 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,10 |
| Legno lamellare | EN 14080 | 2 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,10 |
| Microlam.(LVL) | EN 14374,EN 14279 | 3 | 0,50 | 0,55 | 0,65 | 0,70 | 0,90 |
| Compensato | EN 636 Parti 1, 2, 3 Parti 2, 3 Parte 3 | 1 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,10 |
| | | 2 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,10 |
| | | 3 | 0,50 | 0,55 | 0,65 | 0,70 | 0,90 |
| Pannello di scaglie orientate (OSB) | EN 300 OSB/2 OSB/3 OSB/4 OSB/3 OSB/4 | 1 | 0,30 | 0,45 | 0,65 | 0,85 | 1,10 |
| | | 1 | 0,40 | 0,50 | 0,70 | 0,90 | 1,10 |
| | | 2 | 0,30 | 0,40 | 0,55 | 0,70 | 0,90 |
| Pannello di particelle (truciolare) | EN 312 Parti 4, 5 Parte 5 Parti 6, 7 Parte 7 | 1 | 0,30 | 0,45 | 0,65 | 0,85 | 1,10 |
| | | 2 | 0,20 | 0,30 | 0,45 | 0,60 | 0,80 |
| | | 1 | 0,40 | 0,50 | 0,70 | 0,90 | 1,10 |
| | | 2 | 0,30 | 0,40 | 0,55 | 0,70 | 0,90 |
| Pannello di fibre, alta densità | EN 622-2 HB.LA, HB.HLA 1 o 2 HB.HLA 1 o 2 | 1 | 0,30 | 0,45 | 0,65 | 0,85 | 1,10 |
| | | 2 | 0,20 | 0,30 | 0,45 | 0,60 | 0,80 |
| Pannello di fibre, media densità (MDF) | EN 622-3 MBH.LA1 o 2 MBH.HLS1 o 2 MBH.HLS1 o 2 EN 622-5 MDF.LA, MDF.HLS MDF.HLS | 1 | 0,20 | 0,40 | 0,60 | 0,80 | 1,10 |
| | | 1 | 0,20 | 0,40 | 0,60 | 0,80 | 1,10 |
| | | 2 | - | - | - | 0,45 | 0,80 |
| | | 1 | 0,20 | 0,40 | 0,60 | 0,80 | 1,10 |
| EN 1995 | | 2 | - | - | - | 0,45 | 0,80 |

VALORI RESISTENZE DI CALCOLO

I valori della resistenza di calcolo del materiale viene ricavato con la relazione

$$f_d = \frac{f_k \cdot k_{mod}}{\gamma_m}$$

γ_m Coefficiente di sicurezza parziale del materiale

k_{mod} del carico di minore durata

Istruzioni CNR-206/2017

| Stati limite ultimi | |
|--------------------------------|-----|
| - combinazioni fondamentali: | |
| legno e materiali a base legno | 1,3 |
| acciaio usato nelle unioni | 1,1 |
| - combinazioni eccezionali | 1,0 |
| Stati limite di esercizio | |
| | 1,0 |

EN 1995

| Stati limite ultimi | γ_m |
|-----------------------------------|------------|
| - combinazioni fondamentali | |
| legno massiccio | 1,30 |
| legno lamellare incollato | 1,25 |
| pannelli di particelle o di fibre | 1,30 |
| LVL, compensato, OSB | 1,20 |
| unioni | 1,30 |
| unioni a comportamento duttile | 1,10 |

VALORI RESISTENZE DI CALCOLO

I valori della resistenza di calcolo del materiale viene ricavato con la relazione

$$f_d = \frac{f_k \cdot k_{mod}}{\gamma_m}$$

γ_m Coefficiente di sicurezza parziale del materiale

DM 17.01.2018

Tab. 4.4.III - Coefficienti parziali γ_M per le proprietà dei materiali

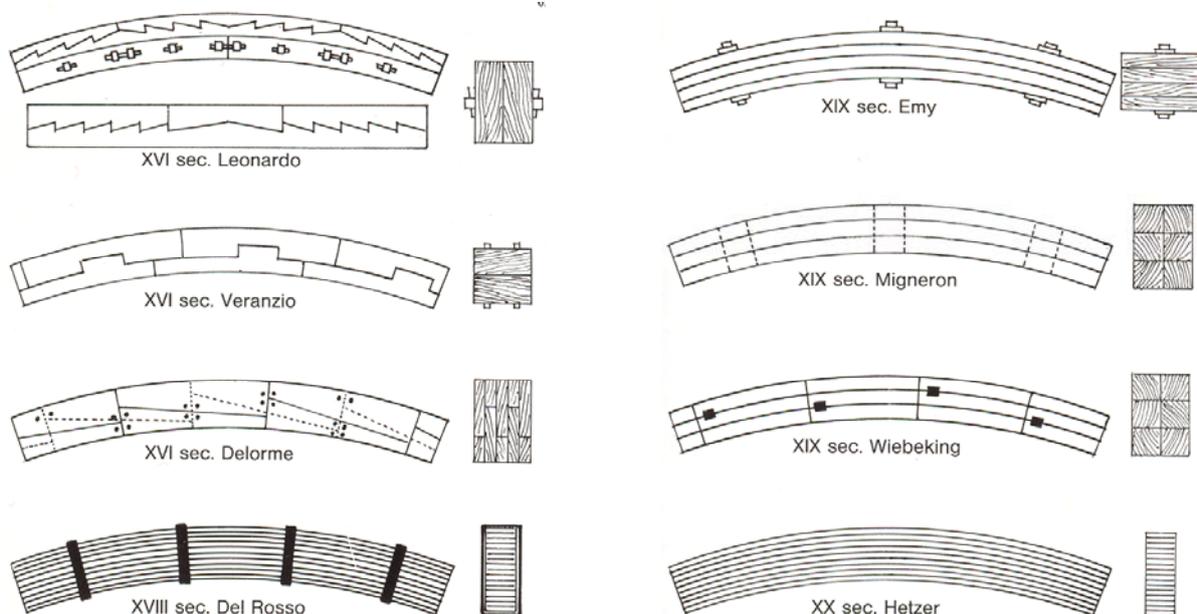
| Stati limite ultimi | Colonna A | Colonna B |
|--|------------|------------|
| | γ_M | γ_M |
| combinazioni fondamentali | | |
| legno massiccio | 1,50 | 1,45 |
| legno lamellare incollato | 1,45 | 1,35 |
| pannelli di tavole incollate a strati incrociati | 1,45 | 1,35 |
| pannelli di particelle o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

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.

LEGNO LAMELLARE

La tecnologia del legno lamellare è stata brevettata in Austria e in Svizzera nel 1905 (Hetzer).

In precedenza varie soluzioni di elementi lignei composti erano state adottate per coprire grandi luci



LEGNO LAMELLARE

Per l'unione longitudinale delle tavole si usano "giunti a dita".

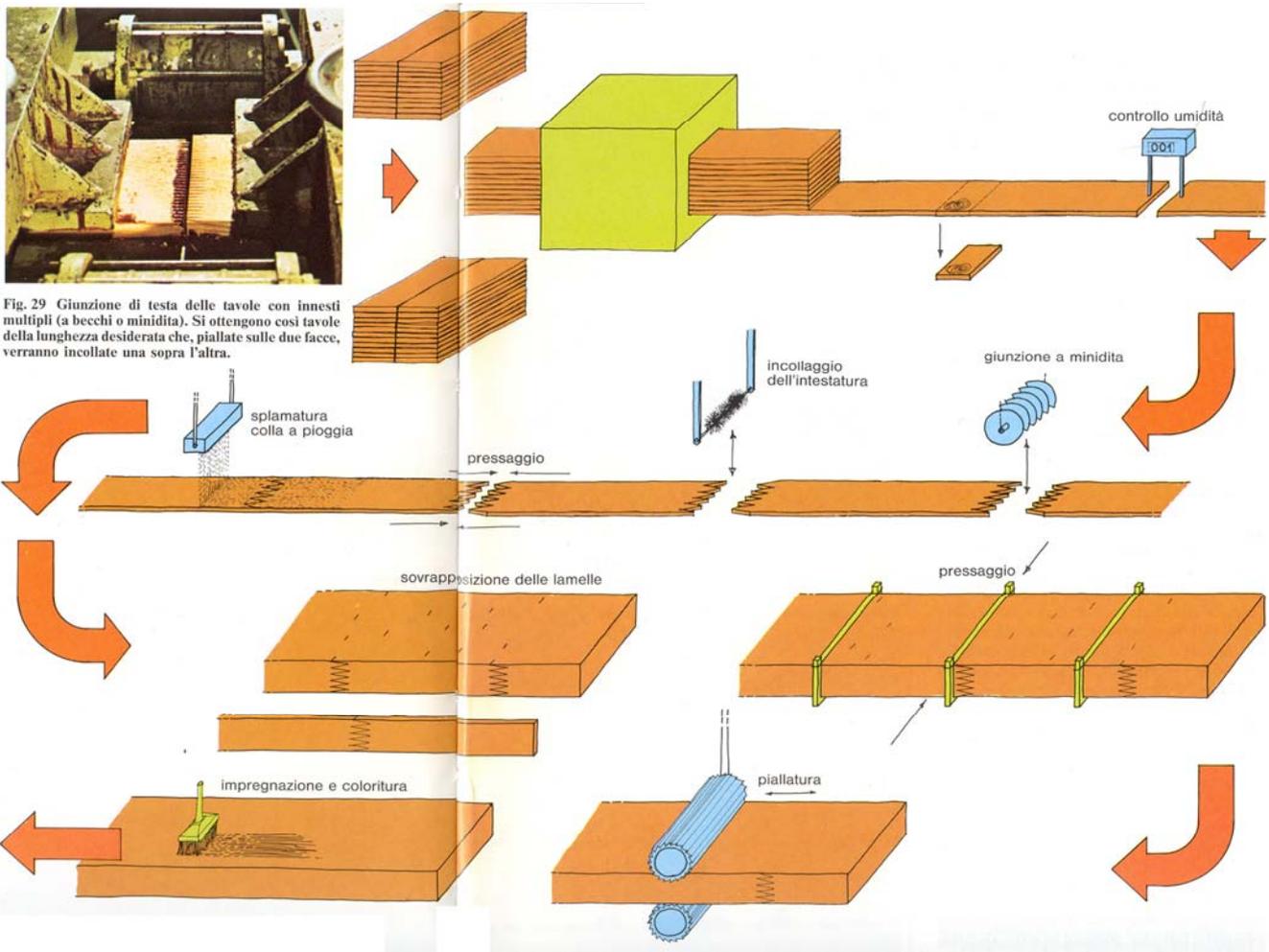
Le colle utilizzate sono di vario tipo e si possono distinguere in colle da interni e colle da esterni.

| Elementi | Caseina | Melamina-Urea-Formaldeide | Fenoliche | Fenol-Resorcina | Epossidiche |
|---|---------|---------------------------|-----------|-----------------|-------------|
| Protetti contro le intemperie | XX | XX | XX | XX | XX |
| Parzialmente protetti dalle intemperie ed al riparo ma all'aperto | --- | XX | XX | XX | X |
| Esposti direttamente alle intemperie | --- | X | XX | XX | --- |

XX appropriato

X parzialmente appropriato

--- non appropriato



RESISTENZA CARATTERISTICA

Valori della resistenza caratteristica per legno lamellare omogeneo

Valori caratteristici per le proprietà di resistenza e di rigidezza in N/mm^2 e di massa volumica in kg/m^3 (per legno lamellare incollato omogeneo)

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

RESISTENZA CARATTERISTICA

Valori della resistenza caratteristica per legno lamellare combinato

Valori caratteristici per le proprietà di resistenza e di rigidezza in N/mm^2 e di massa volumica in kg/m^3 (per legno lamellare incollato combinato)

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

PROPRIETA' MECCANICHE LL

| Proprietà | | |
|-----------------------|---------------------|-----------------------------|
| Flessione | $f_{m,g,k}$ | $= 7 + 1,15 f_{t,0,l,k}$ |
| Trazione | $f_{t,0,g,k}$ | $= 5 + 0,8 f_{t,0,l,k}$ |
| | $f_{t,90,g,k}$ | $= 0,2 + 0,015 f_{t,0,l,k}$ |
| Compressione | $f_{c,0,g,k}$ | $= 7,2 f_{t,0,l,k}^{0,45}$ |
| | $f_{c,90,g,k}^{*)}$ | $= 0,7 f_{t,0,l,k}^{0,5}$ |
| Taglio ^{**)} | $f_{v,g,k}$ | $= 0,32 f_{t,0,l,k}^{0,8}$ |
| Modulo di elasticità | $E_{0,g,mean}$ | $= 1,05 E_{0,l,mean}$ |
| | $E_{0,g,05}$ | $= 0,85 E_{0,l,mean}$ |
| | $E_{90,g,mean}$ | $= 0,035 E_{0,l,mean}$ |
| Modulo di taglio | $G_{g,mean}$ | $= 0,065 E_{0,l,mean}$ |
| Massa volumica | $\rho_{g,k}$ | $= 1,10 \rho_{l,k}$ |

Relazioni per la determinazione delle proprietà meccaniche del legno lamellare incollato in funzione delle caratteristiche meccaniche del legno delle lamelle

*) La resistenza a compressione perpendicolare alla fibrazione corrisponde ai metodi di prova forniti nella EN 1193. Questi valori sono circa la metà di quelli utilizzati in alcuni codici di progettazione con il legno, ai fini della verifica degli appoggi.

***) I valori di resistenza a taglio sono derivati da valori effettivamente utilizzati in codici di progettazione con il legno attualmente in uso.

CLASSI DI RESISTENZA LL

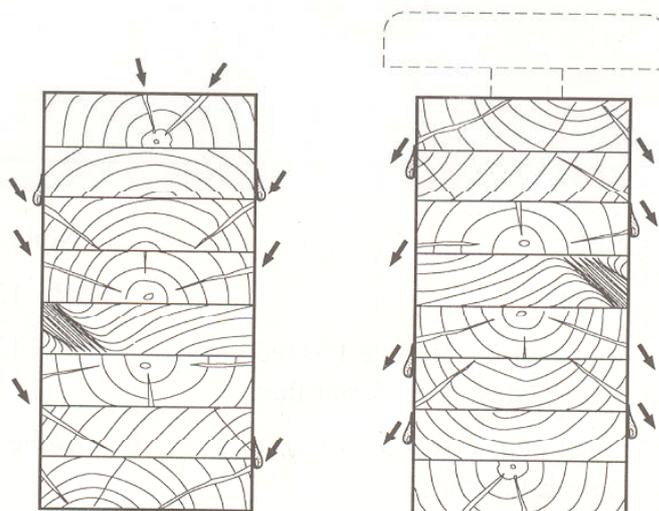
Caratteristiche legno lamelle per ottenere una determinata classe di legno lamellare incollato omogeneo e combinato

| Classe di resistenza del legno lamellare incollato | GL 24 | GL 28 | GL 32 | GL 36 |
|---|--------------|---------------|---------------|---------------|
| Legno lamellare incollato omogeneo: | | | | |
| Resistenza a trazione, in N/mm ² | 14,5 | 18 | 22 | 26 |
| Modulo di elasticità a trazione, in N/mm ² | 11 000 | 12 000 | 13 000 | 14 000 |
| Massa volumica, in kg/m ³) | 350 | 370 | 390 | 410 |
| Legno lamellare incollato combinato:**) | | | | |
| Resistenza a trazione, in N/mm ² | 14,5/11 | 18/14,5 | 22/18 | 26/22 |
| Modulo di elasticità a trazione, in N/mm ² | 11 000/9 000 | 12 000/11 000 | 13 000/12 000 | 14 000/13 000 |
| Massa volumica, in kg/m ³) | 350/320 | 370/350 | 390/370 | 410/390 |
| *) I valori di massa volumica sono indicativi. | | | | |
| **) Per il legno lamellare combinato, le proprietà richieste sono fornite per le lamelle esterne/interne. | | | | |

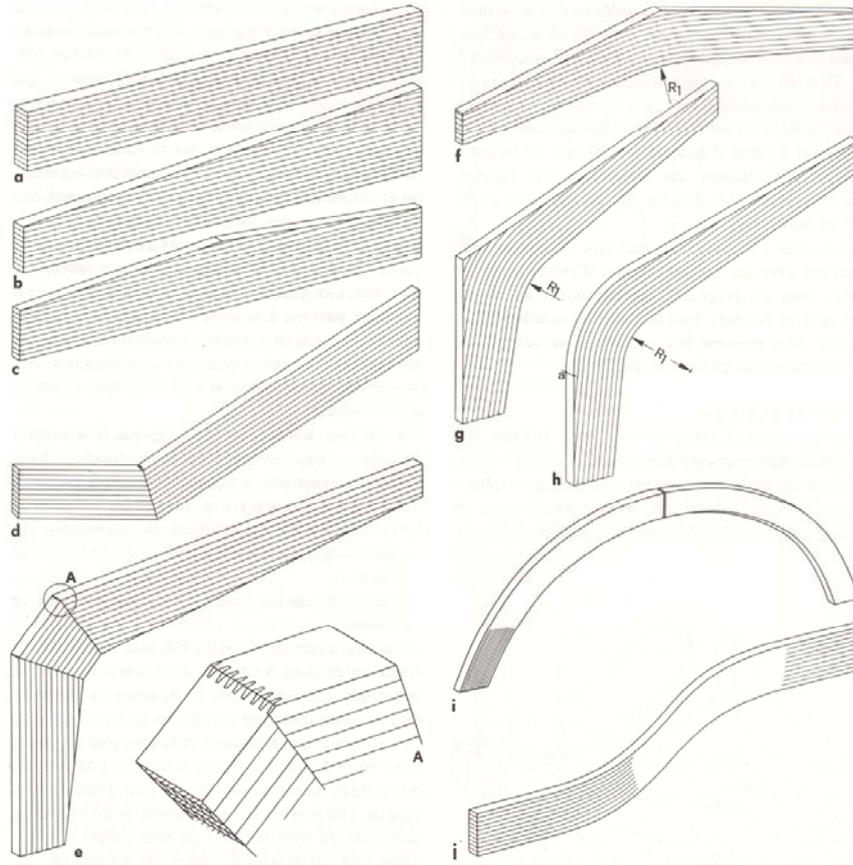
| Classe di resistenza del legno lamellare incollato | GL 24 | GL 28 | GL 32 |
|--|---------|---------|---------|
| Legno lamellare incollato omogeneo | C24 | C30 | C40 |
| Legno lamellare incollato combinato: lamelle esterne/interne | C24/C18 | C30/C24 | C40/C30 |

LEGNO LAMELLARE

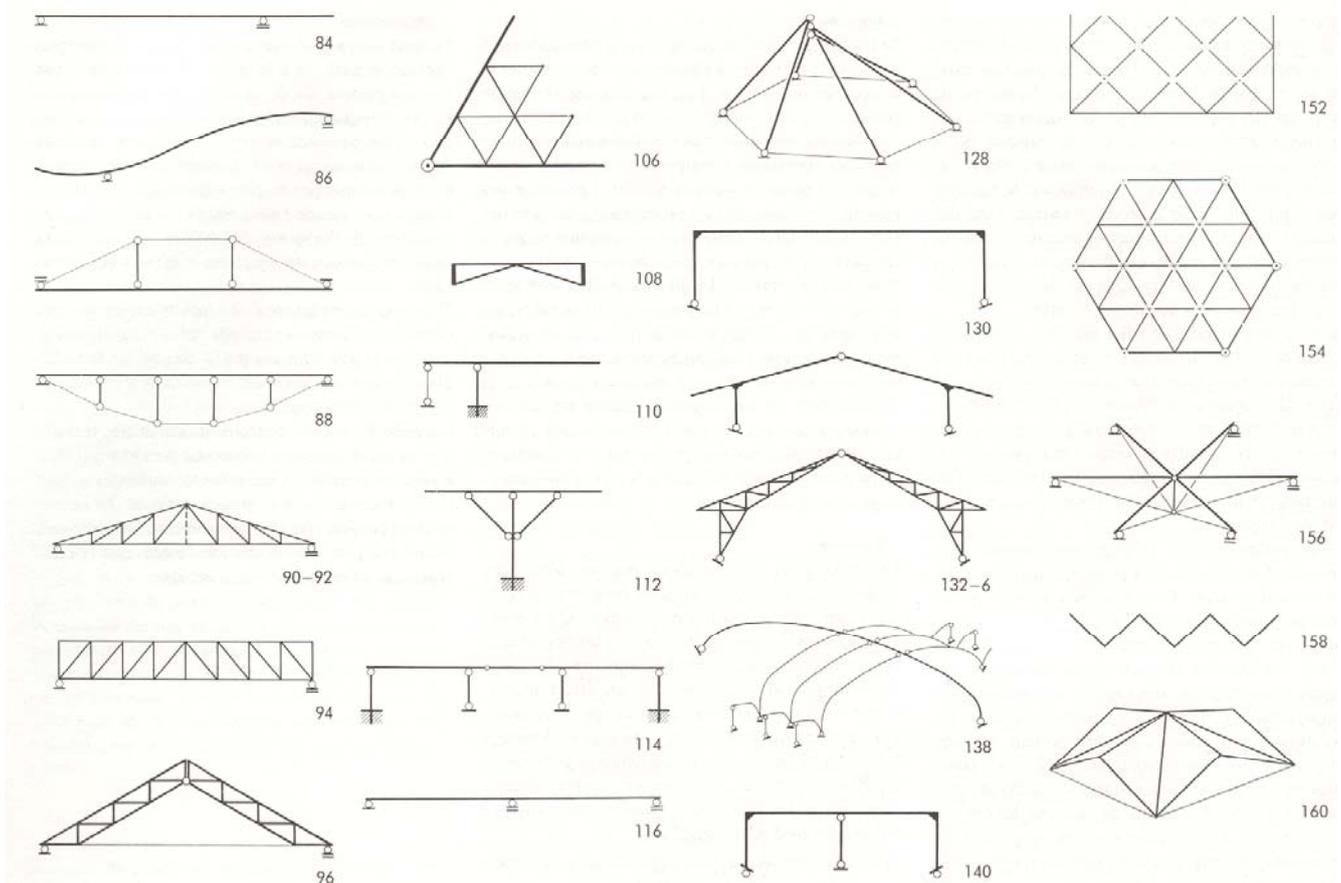
Disposizione delle lamelle nelle travi lamellari esterne



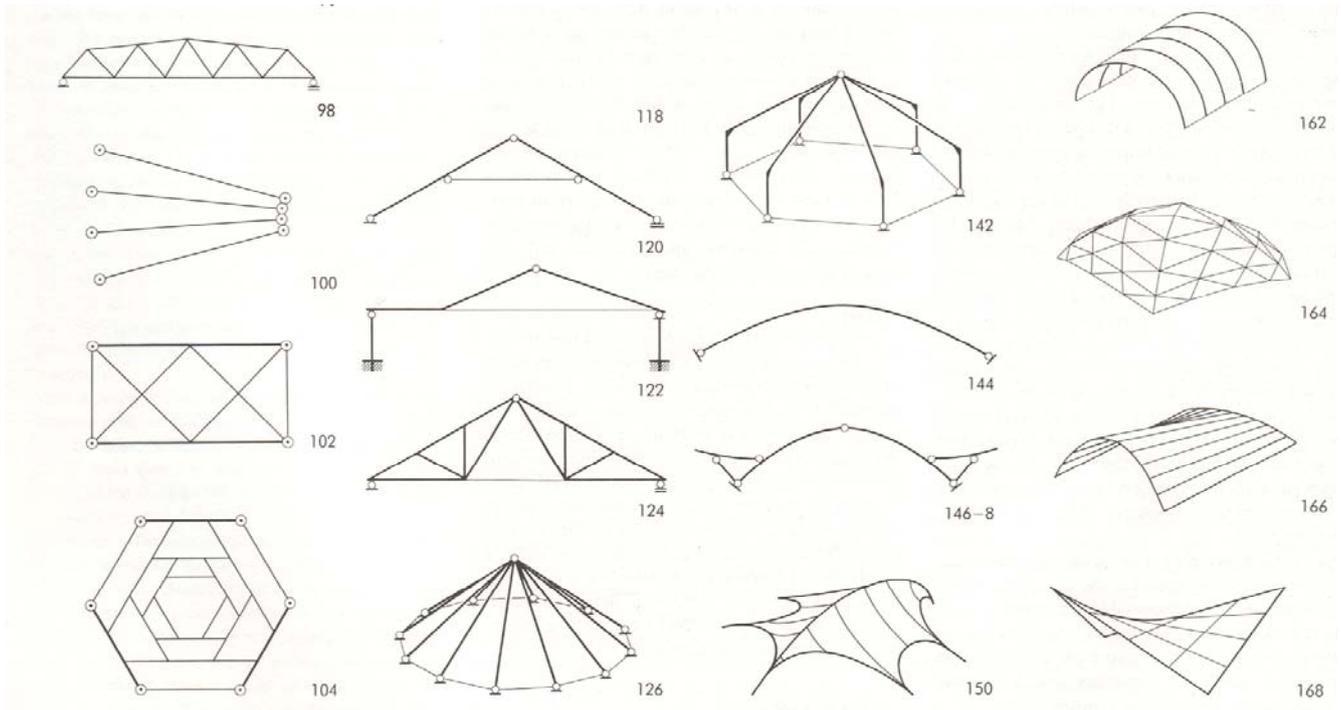
LEGNO LAMELLARE



SCHEMI STRUTTURALI



SCHEMI STRUTTURALI



DIMENSIONAMENTO DI MASSIMA

| Schema statico | Descrizione | Pendenza falde | Luce (m) | Altezza | Interasse (m) |
|----------------|---------------------------------|----------------|----------|---|---------------|
| | Trave appoggiata | 0° | 10÷35 | $h \approx \frac{l}{10} \div \frac{l}{20}$ | 5÷7.5 |
| | Trave a doppia rastrematura | 3÷8° | 10÷35 | $h_1 \approx \frac{l}{30} \div \frac{l}{50}$ $h_2 \approx \frac{l}{14} \div \frac{l}{10}$ | 5÷7.5 |
| | trave centinata | <12° | 10÷20 | $h_1 \approx \frac{l}{30} \div \frac{l}{50}$ $h_{ap} \approx \frac{l}{14} \div \frac{l}{18}$ | 5÷7.5 |
| | Trave rastremata | 8÷12° | <35 | $h_1 \approx \frac{l}{25}$ $h_2 \approx \frac{l}{18}$ | 5÷7.5 |
| | Trave continua in appoggi fissi | 0° | 10÷30 | $h \approx \frac{l}{20}$ | 4÷10 |
| | Mensola | 0÷10° | 5÷20 | $h \approx \frac{l}{10} \div \frac{l}{8}$ | 3÷8 |
| | Portale a 3 cerniere | >14° | 15÷50 | $h \approx \frac{S_1 + S_2}{15}$ | 4÷6 |

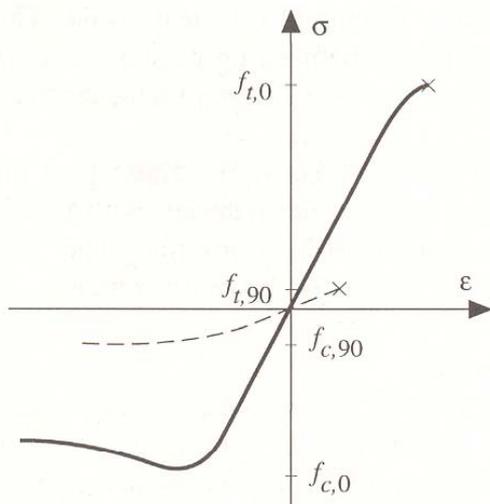
DIMENSIONAMENTO DI MASSIMA

| Schema statico | Descrizione | Pendenza falde | Luce (m) | Altezza | Interasse (m) |
|----------------|---|-----------------------|----------|---|-----------------|
| | Arco a 3 cerniere | $\geq 14^\circ$ | 15*50 | $h \approx \frac{S_1 + S_2}{15}$ | 4*6 |
| | Portale a 3 cerniere con giunti di angolo incollati | $> 14^\circ$ | 15*25 | $h \approx \frac{S_1 + S_2}{13}$ | 4*6 |
| | Tetto a capanna a 3 cerniere | $> 12^\circ$ | 15*50 | $h \approx \frac{l}{18} * \frac{l}{20} S$ | 4*10 |
| | Portale reticolare a 3 cerniere | $\geq 14^\circ$ | 25*50 | $h \approx \frac{l}{12} * \frac{l}{15}$ | 6*10 |
| | Arco a 3 cerniere | $\frac{l}{l} > 0.135$ | 20*100 | $h \approx \frac{l}{50}$ | 4*10 |
| | Capriata Polonceau | $> 14^\circ$ | 20*100 | $h \approx \frac{l}{40}$ | 4*6 |
| | Capriata reticolare | $12 \div 20^\circ$ | 30*50 | $h \approx \frac{l}{6} * \frac{l}{9}$ | 4*6 |
| | Trave reticolare | $\leq 5^\circ$ | 30*80 | $h \approx \frac{l}{10} * \frac{l}{14}$ | 10*20 |
| | Graticcio di travi | 0° | 15*25 | $h \approx \frac{l}{18} * \frac{l}{25}$ | $a = 2.5 * 7.0$ |

VERIFICHE DI RESISTENZA

Il legno è un materiale a comportamento elastico-fragile in trazione ed elasto-plastico in compressione.

In generale nelle analisi si ipotizza per il materiale un comportamento elastico lineare fino alla rottura.



Trazione parallela alle fibre

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

Trazione perpendicolare alle fibre

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{vol} f_{t,90,d}$$

$$k_{vol} = \begin{cases} 1.0 & \text{per legno massiccio} \\ \left(\frac{0.01}{V} \right)^{0.2} & \text{per LL (V in m}^3\text{)} \end{cases}$$

VERIFICHE DI RESISTENZA

Compressione parallela alle fibre

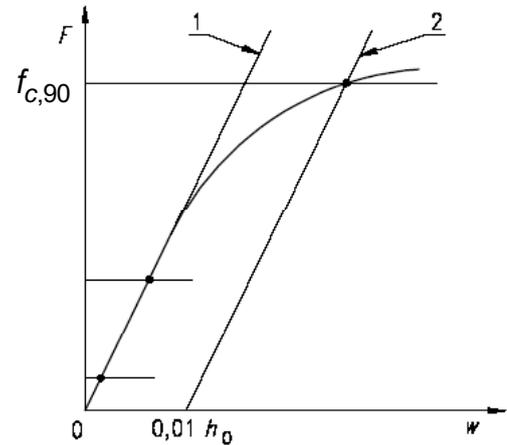
$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

Compressione perpendicolare alle fibre

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} f_{c,90,d}$$

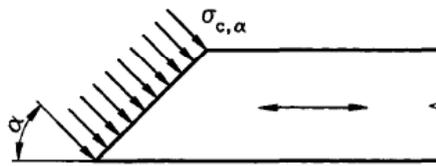
$f_{c,90,d}$ valore corrispondente a 0.01 h

$k_{c,90}$ tiene conto della diffusione delle tensioni nel caso di carico concentrato e assume valori maggiori dell'unità (ENV 1995)



VERIFICHE DI RESISTENZA

Compressione inclinata rispetto alla fibratura



$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d} \cdot f_{c,90,d}}{f_{c,0,d} \sin^2 \alpha + f_{c,90,d} \cos^2 \alpha}$$

VERIFICHE DI RESISTENZA

Flessione

$$\frac{\sigma_{m,x,d}}{f_{m,x,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

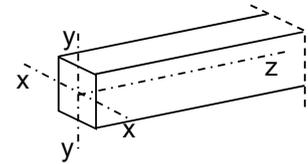
$$k_m \frac{\sigma_{m,x,d}}{f_{m,x,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$k_m = 0.7$ per sezioni rettangolari

$k_m = 1$ per altre sezioni

$$\sigma_{m,x,d} = \frac{M_{x,sd}}{W_x}$$

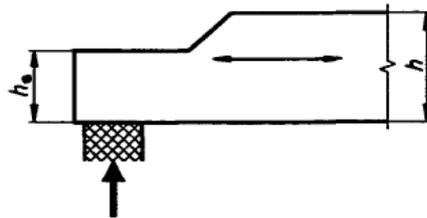
$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,sd}}{W_y}$$



Taglio

$$\tau_d = \frac{1.5 V_d}{b h_e}$$

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$



DEFORMAZIONI DELLE TRAVI

Le deformazioni istantanee delle travi prismatiche devono tener conto sia del contributo dovuto alla flessione che di quello dovuto al taglio

$$u_{tot} = u_m + u_v$$

Dall'equazione

$$\gamma = T(z) \frac{\chi}{G A} = u'_v$$

Derivando rispetto ad z

$$u''_v = \frac{d}{dz} \left(T(z) \frac{\chi}{G A} \right)$$

Integrando questa equazione differenziale si ottiene

$$u_v = \frac{\chi}{G A} M(z) + c_1 z + c_2$$

DEFORMAZIONI DELLE TRAVI

Nel caso di trave semplicemente appoggiata, le due costanti c_1 e c_2 sono nulle, per cui si ha

$$u_v = \frac{\chi}{GA} M(z)$$

Per carico uniformemente distribuito la freccia in mezzera diventa

$$u_v = \frac{\chi}{GA} \bar{M} = \frac{\chi}{GA} \frac{ql^2}{8}$$

La freccia dovuta alla deformazione flessionale risulta

$$u_m = \frac{5}{384} \frac{ql^4}{EI} = \frac{5}{48} \frac{\bar{M} l^2}{EI}$$

Si confronta ora la freccia tagliante con quella flessionale

$$\frac{u_v}{u_m} = \frac{\chi}{GA} \bar{M} \frac{48EI}{5\bar{M}l^2} \quad \frac{u_v}{u_m} = 1.2 \frac{E}{G} \frac{48}{5} \frac{bh^3}{12bh} \frac{1}{l^2} = 0.96 \frac{E}{G} \left(\frac{h}{l}\right)^2 \approx 15 \left(\frac{h}{l}\right)^2$$

Per un rapporto $h/l = 1/10$ il contributo dovuto al taglio è pari a circa 15%

ESEMPIO: TRAVE A SEZIONE COSTANTE

Calcolo di una trave rettilinea su due appoggi

Hp: $L = 22\text{m}$; $i = 7\text{m}$;

cat. del terreno C; carico neve al suolo $1,50\text{kN/m}$

Geometria

$L = 22.0\text{ m}$

$i = 7.0\text{ m}$

Caratteristiche della sezione

$b = 18\text{ cm}$

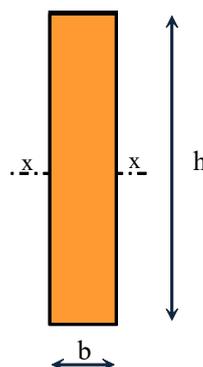
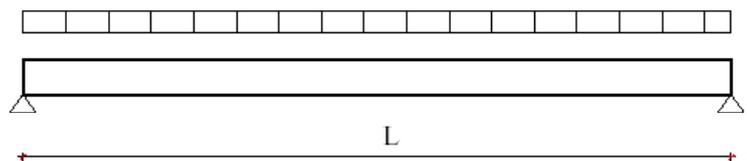
$h = 160\text{ cm}$

$A = 2880\text{ cm}^2$

$J_{x-x} = 6144000\text{ cm}^4$

$W_{x-x} = 76800\text{ cm}^3$

Classe di servizio II



Caratteristiche del materiale

Legno Lamellare classe GL28h

$f_{m,k} = 28.0\text{ MPa}$

$f_{v,k} = 2.5\text{ MPa}$

$E_{0,m} = 12500\text{ MPa}$

$G_m = 780\text{ MPa}$

$\rho_k = 400\text{ kg/m}^3$

$\gamma_M = 1.45$

ESEMPIO: TRAVE A SEZIONE COSTANTE

CARICHI :

Statici:

| | | | |
|--------------------------------------|-------------------------|-------|-------------------|
| peso proprio | $G_{k1} =$ | 0.165 | kN/m ² |
| arcarecci 14*40/200 | $G_{k2} =$ | 0.11 | kN/m ² |
| manto di copertura | $G_{k3} =$ | 0.45 | kN/m ² |
| carico permanente/m ² | $G_k = \Sigma G_{ki} =$ | 0.73 | kN/m ² |
| carico variabile neve/m ² | $Q_1 =$ | 1.20 | kN/m ² |
| carico permanente/m | $g_k = G_k * i =$ | 5.09 | kN/m |
| carico variabile neve/m | $q_{k1} = Q_{k1} * i =$ | 8.40 | kN/m |

ESEMPIO: TRAVE A SEZIONE COSTANTE

CALCOLO SOLLECITAZIONI E VERIFICA:

Combinazione delle azioni allo SLU

| | | | | |
|-----------------------|--|-------|------|-------------------|
| 1 : perm. | $c_1 = \gamma_g * g_k =$ | 6.61 | kN/m | $\gamma_g = 1.30$ |
| 2 : perm. + var. neve | $c_2 = \gamma_g * g_k + \gamma_q * q_{k1} =$ | 19.21 | kN/m | $\gamma_q = 1.50$ |

Verifiche SLU

| Comb. | $M_i = c_i * L^2 / 8$ kNm | $\sigma_m = M_i / W$ MPa | $T_i = c_i * L / 2$ kN | $\tau_i = 1.5 * T_i / A$ MPa | k_{mod} - | $f_{m,d} = k_h * f_{m,k} * k_{mod} / \gamma_N$ MPa | $f_{v,d} = f_{v,k} * k_{mod} / \gamma_M$ MPa | $\sigma_m / f_{m,d}$ - | $\tau_i / f_{v,d}$ - |
|-------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------|----------------|---|---|---------------------------|-------------------------|
| 1 | 400.01 | 5.21 | 72.73 | 0.38 | 0.60 | 11.59 | 1.03 | 0.45 | 0.37 |
| 2 | 1162.31 | 15.13 | 211.33 | 1.10 | 0.80 | 15.45 | 1.38 | 0.98 | 0.80 |
| | | | | | | | | <1 | <1 |

$k_h = 1$ per $h > 60$ cm

= $\min(1, 15; (60/h)^{0.2})$ per $h < 60$ cm

$k_h = 1$

ESEMPIO: TRAVE A SEZIONE COSTANTE

Verifiche SLE

$$\text{freccia carichi perm.} \quad u_{1,ist} = 5g_k L^4 / 384EJ + 1.2g_k L^2 / 8GA = 22 \text{ mm}$$

$$\text{freccia carichi var.} \quad u_{2,ist} = 5q_k L^4 / 384EJ + 1.2q_k L^2 / 8GA = 36 \text{ mm}$$

$$u_{2,inst}/L = 1/610 < 1/300$$

$$k_{def} = 0.80$$

$$u_{net,fin} = u_{ist,comb.rara} + u_{dif,comb.q.p.}$$

$$\Psi_2' = 0.00$$

$$u_{net,fin} = u_{1,ist} * (1 + k_{def}) + u_{2,ist} (1 + k_{def} \Psi_2') = 75 \text{ mm}$$

$$u_{net,fin}/L = 1/292 < 1/200$$

SOLLECITAZIONI COMPOSTE

Essendo diverse le resistenze a flessione e a trazione, nelle verifiche di sollecitazione composta è necessario tener conto di questo fatto

Tensoflessione

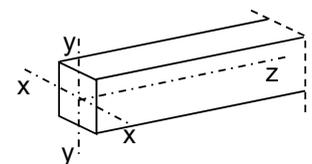
$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,x,d}}{f_{m,x,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{sd}}{A} \quad k_m = \begin{cases} 0.7 & (\text{sezioni rettangolari}) \\ 1.0 & (\text{altre sezioni}) \end{cases}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,x,d}}{f_{m,x,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$k_m = 0.7$

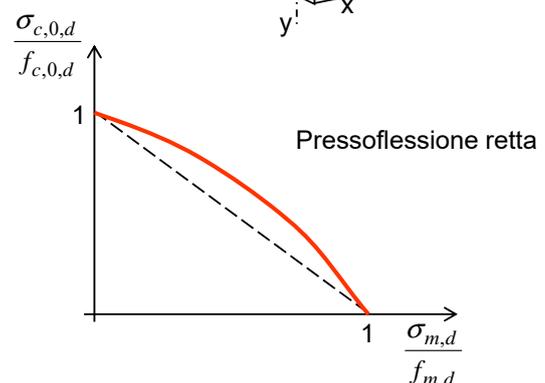
$$\sigma_{m,x,d} = \frac{M_{x,sd}}{W_x}$$



Pressoflessione

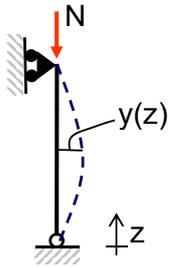
$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,x,d}}{f_{m,x,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,x,d}}{f_{m,x,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$



ELEMENTI SNELLI CARICATI ASSIALMENTE

Si considera un'asta appoggiata agli estremi e soggetta ad un'azione di compressione



$$M_e = N y$$

$$M_i = E I y''$$

$$E I y'' = N y$$

$$\text{ponendo } \alpha^2 = \frac{N}{E I}$$

$$y'' - \alpha^2 y = 0$$

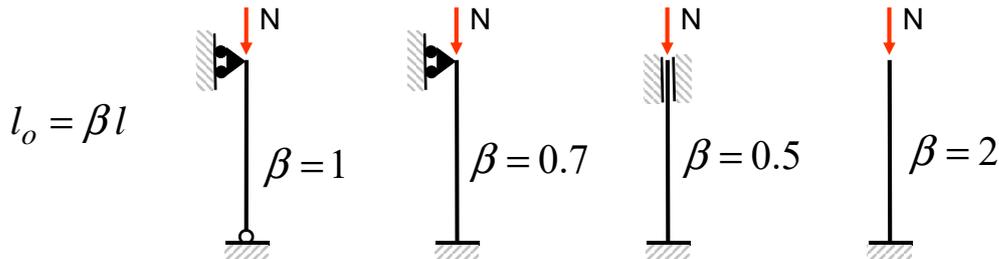
$$y(z) = A \sin \alpha z + B \cos \alpha z$$

$$\text{per } z = 0 \rightarrow B = 0$$

$$\text{per } z = l \rightarrow A \sin \alpha l = 0 \rightarrow \sin \alpha l = 0 \rightarrow \alpha l = \pi$$

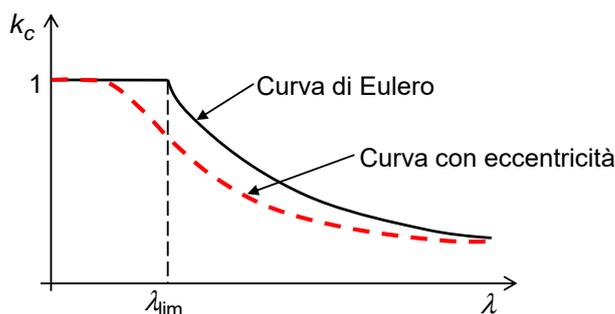
$$\frac{\pi^2}{l^2} = \frac{N}{E I} \rightarrow N_{cr} = \frac{\pi^2 E I}{l_o^2} \rightarrow \sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \quad \lambda = \frac{l_o}{i}$$

ELEMENTI SNELLI CARICATI ASSIALMENTE



Nel caso di elementi snelli compressi si deve verificare che

$$\sigma_{c,o} \leq \sigma_{cr} \quad \sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E_{0.05}}{\lambda^2} = k_c f_{c,o,d} \quad k_c \leq 1.0$$

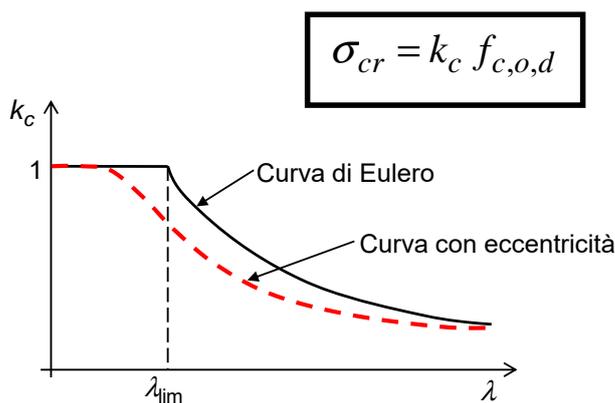


$$\lambda_{lim} = \pi \sqrt{\frac{E_{0.05}}{f_{c,o,d}}}$$

ELEMENTI SNELLI CARICATI ASSIALMENTE

In realtà, per la presenza dei difetti nelle sezioni in legno, la risposta ad un carico centrato sulla sezione è sempre eccentrica per cui assieme all'azione assiale è sempre presente anche un momento flettente. Per tener conto di questo si introduce un'eccentricità costruttiva che conduce ad un valore ridotto di k_c .

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad k = 0.5(1 + \beta_c(\bar{\lambda} - 0.5) + \bar{\lambda}^2) \quad [\bar{\lambda} > 0.5]$$



$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,o,d}}{E_{0.05}}} = \frac{\lambda}{\lambda_{lim}}$$

$$\beta_c = \begin{cases} 0.2 & (\text{legno massiccio}) \\ 0.1 & (\text{legno lamellare}) \end{cases}$$

ELEMENTI SNELLI PRESSOINFLESSI

Per tener conto della presenza di tensioni da momento esterno, prodotto dai carichi trasversali o da carichi assiali eccentrici, si utilizzano le

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,x} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,x,d}}{f_{m,x,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$k_{c,x} = \frac{1}{k_x + \sqrt{k_x^2 - \bar{\lambda}_x^2}}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,x,d}}{f_{m,x,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}}$$

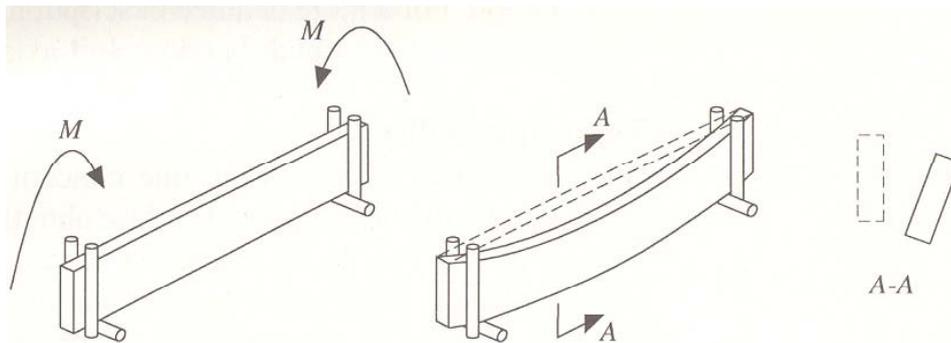
λ_x Snellezza nel piano yz

λ_y Snellezza nel piano xz

$$k_m = \begin{cases} 0.7 & (\text{sezioni rettangolari}) \\ 1.0 & (\text{altre sezioni}) \end{cases}$$

ELEMENTI SNELLI INFLESSI

Gli elementi in legno lamellare presentano spesso altezze elevate, per poter coprire grandi luci, ma con larghezze molto minori dell'altezza per cui spesso di possono avere problemi di svergolamento. La zona compressa della trave, cioè, può sbandare lateralmente causando una rotazione attorno all'asse longitudinale (*Instabilità flessotorsionale*)

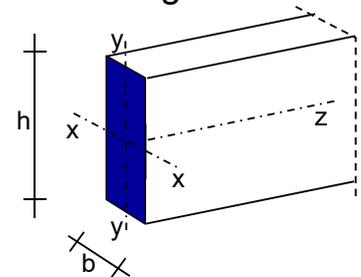


Per la verifica a flessione è necessario tener conto degli effetti del second'ordine.

MOMENTO CRITICO

Il valore del momento per il quale la trave instabilizza può essere ricavato con la formula proposta da Timoshenko e Gere (1961). In realtà per ricavare questa formula era stata fatta l'ipotesi di materiale elastico lineare e isotropo; Hooley e Madsen (1964) hanno comunque dimostrato che tale relazione è applicabile anche a materiali non isotropi come il legno.

$$M_{crit} = \frac{\pi}{l_{ef}} \sqrt{\frac{EI_y G I_{tor}}{1 - \frac{I_y}{I_x}}}$$



l è la distanza tra due ritegni torsionali consecutivi

l_{ef} è la lunghezza efficace equivalente al caso di momento costante ($l_{ef}=l$)

I_y e I_x sono i momenti di inerzia rispetto all'asse debole ed all'asse forte

I_{tor} momento di inerzia torsionale (I_p/q)

SEZIONE RETTANGOLARE

Per travi aventi sezione rettangolare la tensione critica diventa

$$\sigma_{m,cr} = \frac{M_{crit}}{W_x} = E \frac{\pi}{l_{ef}} \frac{b^2}{h} \sqrt{\frac{G}{E}} \sqrt{\frac{1 - 0.63 \frac{b}{h}}{1 - \frac{b^2}{h^2}}}$$

Per valori del rapporto b/h compresi tra 0.1 e 0.7 la seconda radice vale rispettivamente 0.973 e 1.047. Per semplicità si può assumere il primo valore e considerare un rapporto E/G pari a 15; la relazione diventa

$$\sigma_{m,cr} = 0.78 \frac{b^2}{h l_{ef}} E^{0.05}$$

SEZIONE RETTANGOLARE

Nell'Eurocodice si introduce un parametro definito snellezza flessotorsionale adimensionale

$$\bar{\lambda}_m = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,cr}}} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{0.78 \frac{b^2}{h l_{ef}} E^{0.05}}}$$

Si può definire un coefficiente riduttivo della resistenza come per l'instabilità flessionale $k_{m,cr}$ che dipende dalla snellezza. La verifica diventa

$$\boxed{\sigma_{m,d} \leq k_{m,cr} f_{m,d}} \quad k_{m,cr} = \begin{cases} 1 & \text{per } \bar{\lambda}_m \leq 0.75 \\ 1.56 - 0.75 \bar{\lambda}_m & \text{per } 0.75 < \bar{\lambda}_m \leq 1.4 \\ 1/\bar{\lambda}_m^2 & \text{per } \bar{\lambda}_m > 1.4 \end{cases}$$

LUNGHEZZA EFFICACE

La lunghezza efficace per momento variabile si determina sulla base di un valore di momento costante equivalente

STEP 2

$$l_{ef} = ml \quad \text{Valori per carico applicato sull'asse}$$

$$l_{ef} = ml + 2h \quad \text{Carico al lembo compresso}$$

$$l_{ef} = ml - 0.5h \quad \text{Carico al lembo teso}$$

Table 6-1 : Effective span as a ratio of the span

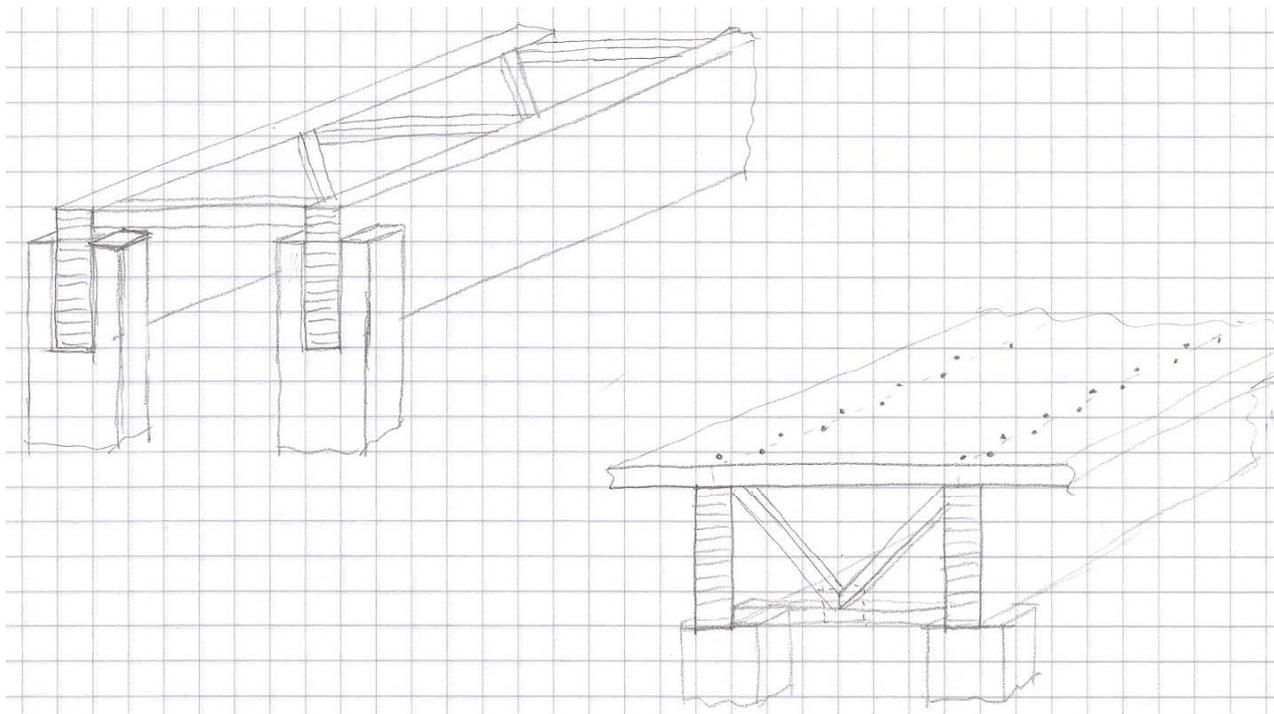
| Beam type | Loading type | l_{ef}/l |
|------------------|------------------------------------|------------|
| Simply supported | Constant moment | 1,0 |
| | Constant distributed load | 0,9 |
| | Concentrated force at the middle | 0,8 |
| Cantilevered | Constant distributed load | 0,5 |
| | Concentrated force at the free end | 0,8 |

ENV 1995

| Beam & Loads | Actual bending moment | m | Equivalent uniform moment |
|--------------|-----------------------|------|---------------------------|
| | | 1,00 | |
| | | 0,57 | |
| | | 0,43 | |
| | | 0,74 | |
| | | 0,88 | |
| | | 0,96 | |
| | | 0,69 | |
| | | 0,59 | |
| | | 0,39 | |

RITEGNI CONTRO LO SVERGOLAMENTO

Per limitare gli effetti di questo tipo di instabilità è necessario prevedere dei ritegni contro lo sbandamento laterale.



ELEMENTI SNELLI PRESSOINFLESSI

Nel caso generale di pressoflessione deviata bisogna verificare anche che siano soddisfatte le relazioni seguenti per tener conto del possibile collasso per svergolamento

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,x,d}}{k_{m,x,cr} f_{m,x,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$\bar{\lambda}_{m,x} = \sqrt{\frac{f_{m,x,k}}{0.78 \frac{b^2}{h l_{ef}} E_{0.05}}}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,x,d}}{f_{m,x,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{m,y,cr} f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$\bar{\lambda}_{m,y} = \sqrt{\frac{f_{m,y,k}}{0.78 \frac{h^2}{b l_{ef}} E_{0.05}}}$$

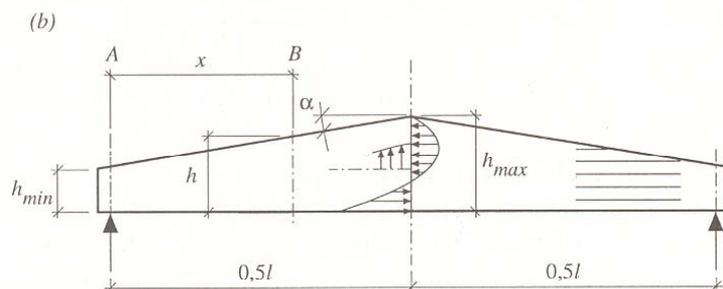
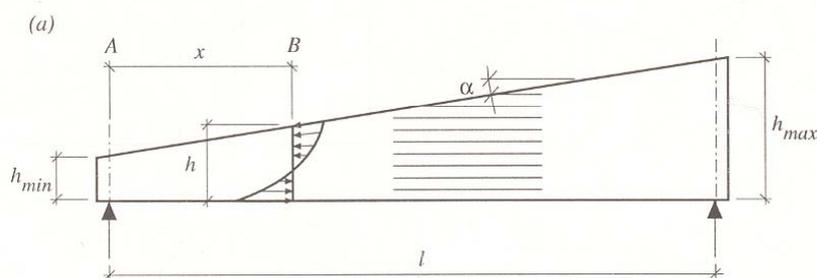
$\bar{\lambda}_{m,x}$ Snellezza per momento nel piano yz

$\bar{\lambda}_{m,y}$ Snellezza per momento nel piano xz

$$k_m = \begin{cases} 0.7 & (\text{sezioni rettangolari}) \\ 1.0 & (\text{altre sezioni}) \end{cases}$$

TRAVI RASTREMATE

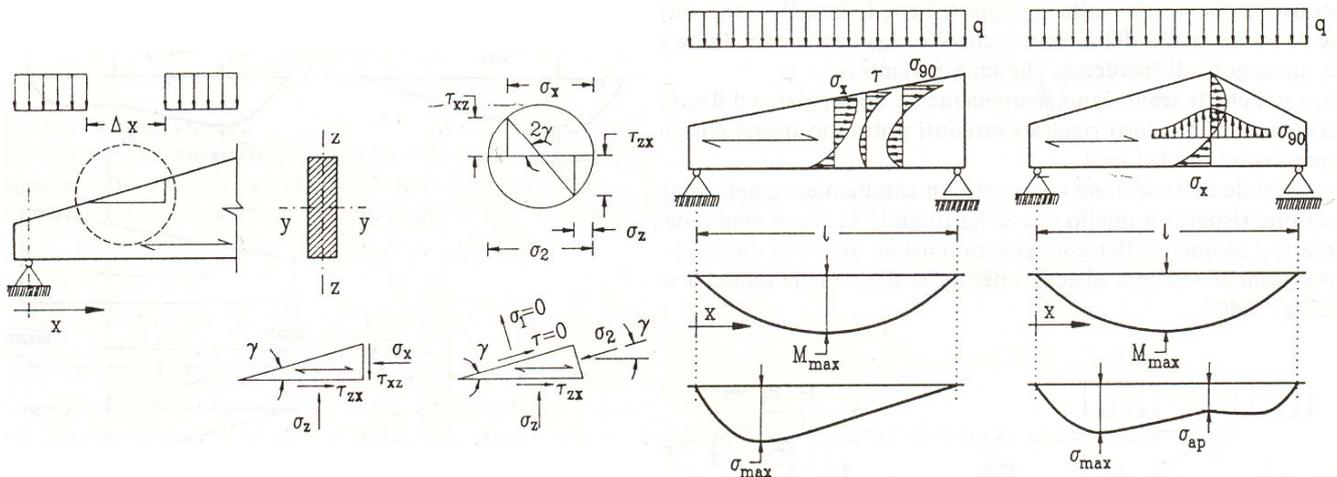
Sono travi con sezione di altezza variabile a singola o doppia pendenza



Si considera nel calcolo che le lamelle siano parallele al bordo orizzontale e che quindi formino un angolo α con il bordo obliquo

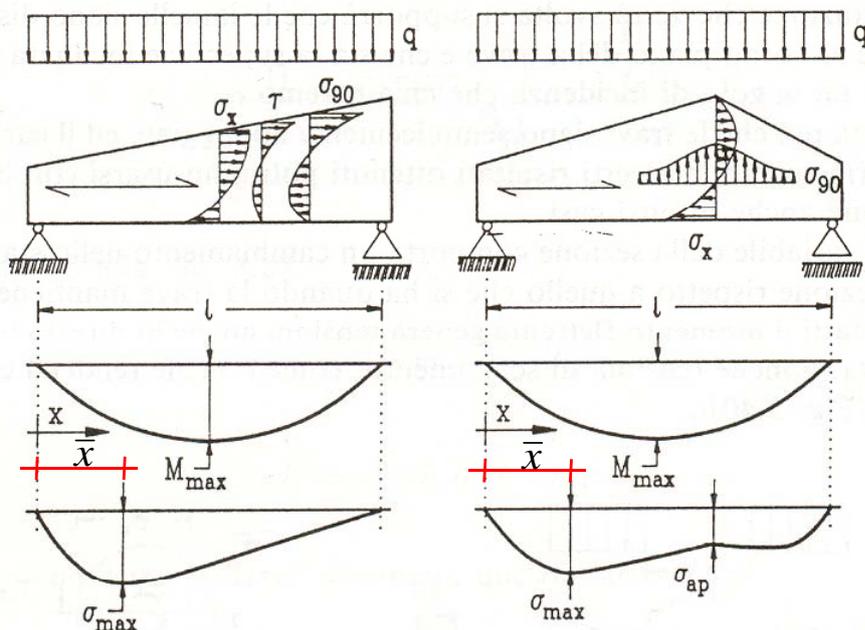
TRAVI RASTREME

L'altezza variabile della sezione comporta un cambiamento nello stato tensionale della sezione rispetto a quello che si ha per altezza costante. Il momento flettente genera tensioni anche in direzione normale alla fibratura e le tensioni di scorrimento.



TRAVI RASTREME

Per individuare la sezione dove è maggiore la sollecitazione flettente si impone l'annullarsi della derivata della tensione $d\sigma/dx$



Per carico uniformemente distribuito si ha

- singola rastrem.

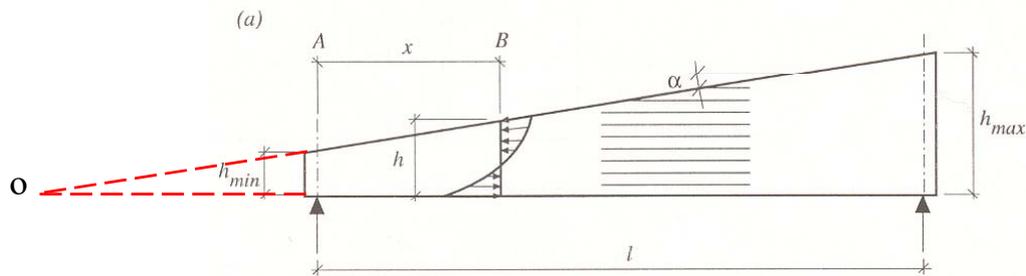
$$\bar{x} = \frac{h_{min}}{h_{min} + h_{max}} l$$

- doppia rastrem.

$$\bar{x} = \frac{h_{min}}{2h_{max}} l$$

TRAVI RASTREIMATE

Le tensioni nella generica sezione si determinano notando che hanno direzione radiale a partire dal punto O di convergenza dei due bordi



Fibre tese inferiori

$$\sigma_{m,0,d} = (1 + 4 \tan^2 \alpha) \frac{6 M_d}{b h^2}$$

$$\sigma_{m,0,d} \leq f_{m,d}$$

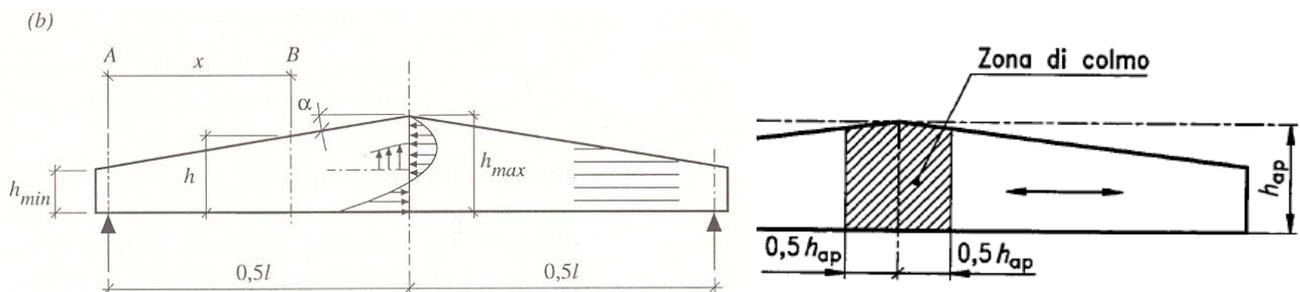
Fibre compresse superiori

$$\sigma_{m,\alpha,d} = (1 - 4 \tan^2 \alpha) \frac{6 M_d}{b h^2}$$

$$\sigma_{m,\alpha,d} \leq \frac{f_{m,d}}{\frac{f_{m,d}}{f_{t,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

TRAVI RASTREIMATE

Nelle travi a doppia rastremazione è necessario verificare anche le tensioni al lembo inferiore nella sezione apicale e le trazioni perpendicolari



Fibre tese inferiori

$$\sigma_{m,0,d} = (1 + 1.4 \tan \alpha + 5.4 \tan^2 \alpha) \frac{6 M_{ap,d}}{b h^2}$$

$$\sigma_{m,0,d} \leq f_{m,d}$$

Trazioni perpendicolari alle fibre

$$\sigma_{t,90,d} = 0.2 \tan^2 \alpha \frac{6 M_{ap,d}}{b h^2} - 0.6 \frac{q}{b}$$

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} \left(\frac{0.01}{V} \right)^{0.2} f_{t,90,d}$$

$$k_{dis} = 1.4$$

V volume zona di colmo

$$V = b h_{ap}^2 \left(1 - \frac{\tan \alpha}{4} \right) \leq \frac{2}{3} V_b$$

FRECCIA - TRAVI RASTREME

Nel caso di carico uniformemente distribuito, si valuta la freccia u_o di una trave prismatica di altezza pari all'altezza media e la si moltiplica per un coefficiente k_{eq} (Larsen, Riberholdt 1983)

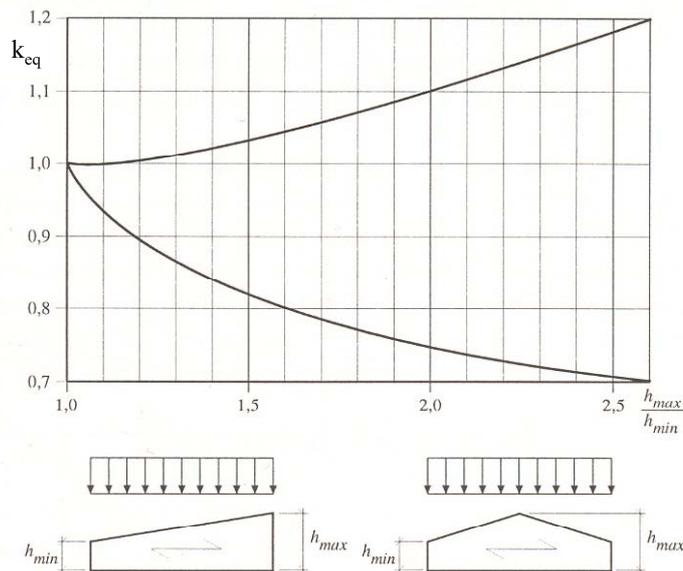
$$u_m = k_{eq} u_o$$

$$u_o = \frac{5}{384} \frac{q l^4}{E I_o}$$

$$I_o = \frac{b}{12} \left[\frac{h_{\min} + h_{\max}}{2} \right]^3$$

Il contributo della deformabilità a taglio può essere assunto pari a

$$u_v = \frac{0.35 q l^2}{G b (h_{\min} + h_{\max})}$$



TRAVI CURVE

Nella produzione di travi curve è necessario ricordare che curvando le lamelle si introducono tensioni longitudinali nel legno. Infatti se r è il raggio di curvatura delle lamelle si ha una tensione di flessione pari a

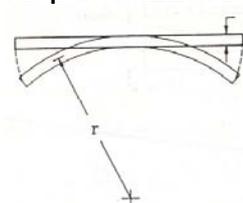
$$\sigma_m = \frac{M}{I} \frac{t}{2} = \frac{E t}{2 r} \quad M = \frac{E I}{r}$$

Per $r/t = 200$ si ottengono tensioni pari a 25 MPa ovvero prossime ai valori di resistenza caratteristica. In realtà la viscosità del legno, l'elevata temperatura causata dal processo esotermico di indurimento della colla ed il contenuto di umidità della colla stessa favoriscono un forte rilassamento di tali tensioni.

Per questo motivo non è necessario introdurre alcun coefficiente riduttivo alle tensioni di flessione se $r/t > 240$. Viceversa si deve penalizzare la resistenza a flessione con il coefficiente

$$k_r = 0.76 + 0.001 \frac{r}{t} \quad \sigma_{m,d} \leq k_r f_{m,d}$$

($r/t > 125$)



TENSIONI NELLE TRAVI CURVE

Nell'ipotesi di conservazione delle sezioni piane, una fibra distante y dall'asse neutro, distante r_n dal centro di curvatura, e di lunghezza

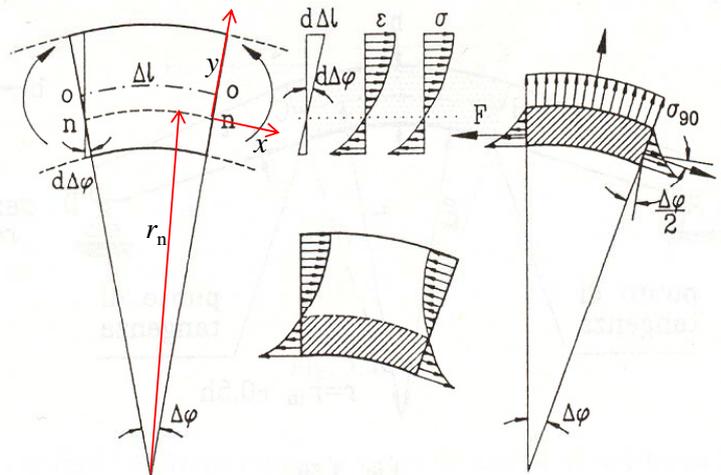
$$\Delta l = \Delta \varphi (r_n + y)$$

Per la presenza di un momento flettente M , si accorcia della quantità

$$d\Delta l = d\Delta \varphi y$$

$$\varepsilon_x = \frac{d\Delta \varphi y}{(r_n + y)\Delta \varphi}$$

$$\sigma_x = E \frac{d\Delta \varphi y}{(r_n + y)\Delta \varphi}$$



TENSIONI LONGITUDINALI - TRAVI CURVE

Scrivendo le equazioni di equilibrio sulla sezione si ricava la posizione dell'asse neutro ed il valore della tensione longitudinale in ogni punto.

Il valore della massima tensione si ha al lembo inferiore teso e vale

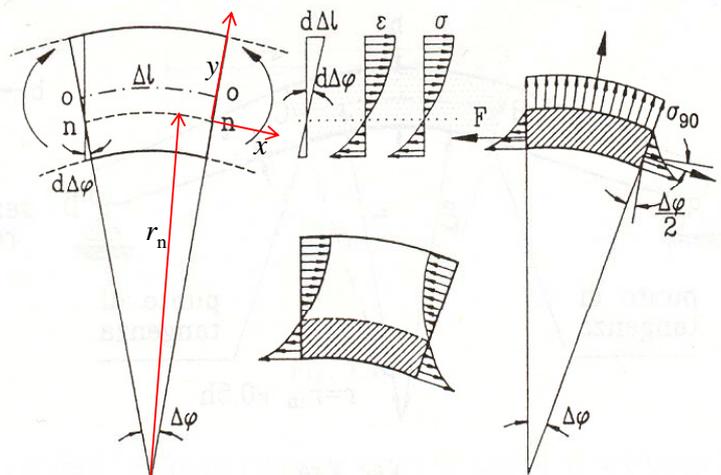
$$\sigma_{m,d} = k_l \frac{6 M_d}{b h^2}$$

$$k_l = 1 + 0.35 \frac{h}{r} + 0.6 \left(\frac{h}{r} \right)^2$$

La verifica di resistenza è

$$\sigma_{m,d} \leq k_r f_{m,d}$$

$$r = r_{in} + 0.5 h$$



TENSIONI TRASVERSALI - TRAVI CURVE

Scrivendo l'equilibrio alla traslazione in direzione radiale della porzione di trave indicata nella figura di destra si ha

$$2F \frac{\Delta\varphi}{2} = \sigma_{t,90,d} \Delta l b = \sigma_{t,90,d} r \Delta\varphi b$$

Da cui si ricava

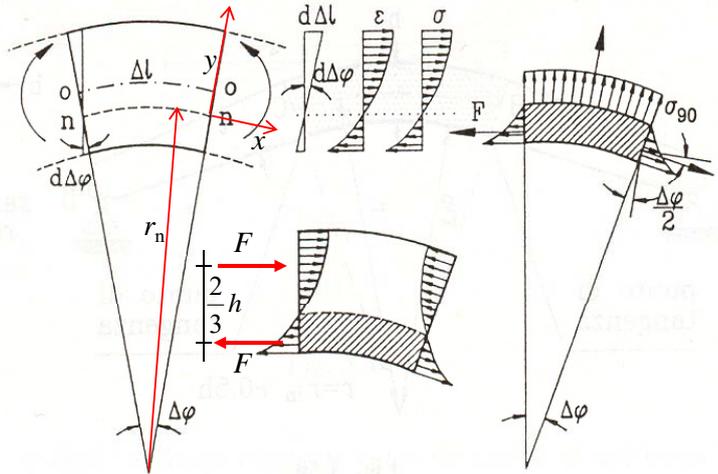
$$\sigma_{t,90,d} = \frac{F}{r b}$$

Se si considera un braccio della coppia interna di $\frac{2}{3} h$ si ha

$$F = \frac{3}{2} \frac{M_d}{h}$$

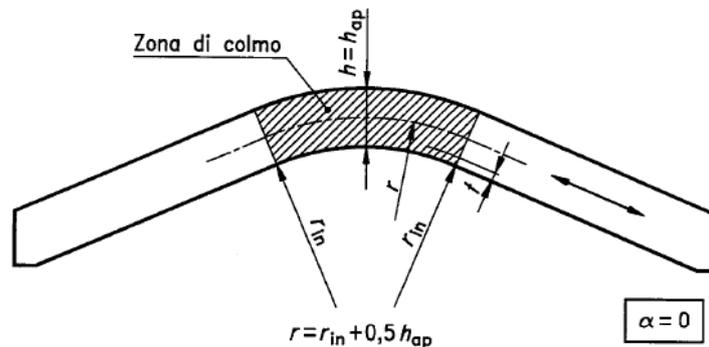


$$\sigma_{t,90,d} = \frac{6 M_d}{b h^2} \frac{h}{4 r}$$



TENSIONI TRASVERSALI - TRAVI CURVE

La verifica per le tensioni trasversali si esegue considerando un volume di legno teso pari alla zona tratteggiata di figura



$$k_{dis} = 1.4$$

$$V = \frac{\beta \pi}{180} b (h^2 + 2 r_{in} h) \leq \frac{2}{3} V_b$$

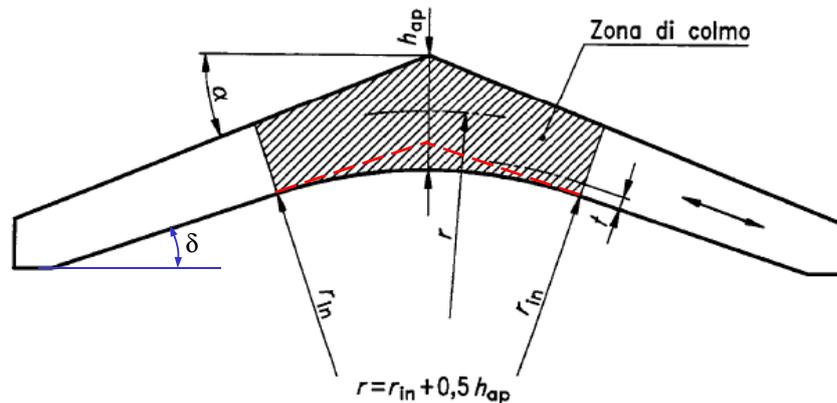
V volume zona di colmo

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} \left(\frac{0.01}{V} \right)^{0.2} f_{t,90,d}$$

TRAVI CENTINATE

Sono travi con estradosso rettilineo a doppia pendenza e intradosso curvo. I tratti rettilinei possono essere a sezione costante o rastremati.

Le verifiche nei tratti rettilinei si eseguono come per le travi prismatiche o come per le travi rastremate.



Fibre tese intradosso

$$\sigma_{m,0,d} = (1 + 4 \tan^2(\alpha - \delta)) \frac{6 M_d}{b h^2}$$

Fibre compresse estradosso

$$\sigma_{m,\alpha,d} = (1 - 4 \tan^2(\alpha - \delta)) \frac{6 M_d}{b h^2}$$

TRAVI CENTINATE

Nella zona centrale le tensioni massime di trazione in direzione parallela alle fibre si valutano con la relazione

$$\sigma_{m,d} = k_l \frac{6 M_{ap,d}}{b h_{ap}^2}$$

$$k_l = k_1 + k_2 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_3 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 + k_4 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^3$$

$$\left\{ \begin{array}{l} k_1 = 1 + 1.4 \tan \alpha + 5.4 \tan^2 \alpha \\ k_2 = 0.35 - 8 \tan \alpha \\ k_3 = 0.6 + 8.3 \tan \alpha - 7.8 \tan^2 \alpha \\ k_4 = 6 \tan^2 \alpha \end{array} \right.$$

Con questa relazione si può calcolare la massima tensione nella zona centrale delle travi:

- rastremate $r = \infty$
- curve $\alpha = 0$
- centinate $r \neq 0; \alpha \neq 0$

TRAVI CENTINATE

La massima tensione di trazione perpendicolare alle fibre nella zona centrale si determina con la relazione

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \frac{6 M_{ap,d}}{b h_{ap}^2} - 0.6 \frac{q}{b}$$

$$k_p = k_5 + k_6 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_7 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2$$

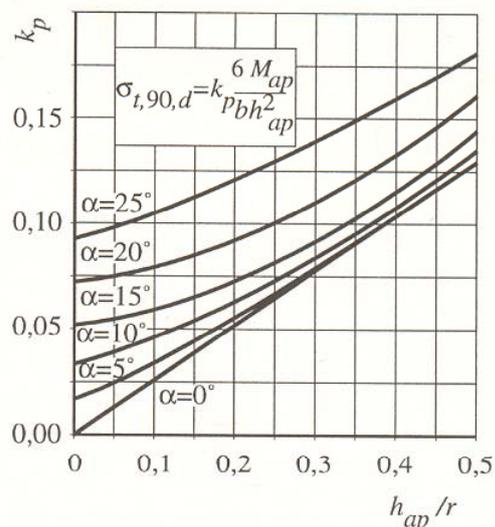
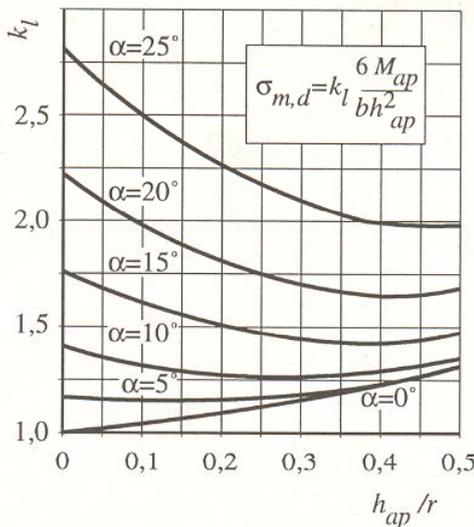
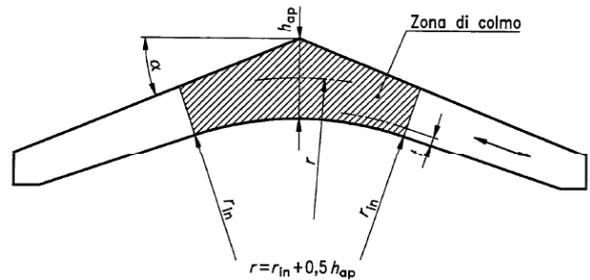
$$\left\{ \begin{array}{l} k_5 = 0.2 \tan \alpha \\ k_6 = 0.25 - 1.5 \tan \alpha + 2.6 \tan^2 \alpha \\ k_7 = 2.1 \tan \alpha - 4 \tan^2 \alpha \end{array} \right.$$

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} \left(\frac{0.01}{V} \right)^{0.2} f_{t,90,d}$$

$$k_{dis} = 1.7$$

V volume zona di colmo

$$V = b \left(\sin \alpha \cos \alpha (r_{in} + h_{ap})^2 - r_{in}^2 \frac{\alpha \pi}{180} \right) \leq \frac{2}{3} V_b$$



Travi curve a sezione costante

$$k_{dis} = 1,4$$

$$V = \frac{\beta \pi}{180} b (h_{ap}^2 + 2 r_{in} h_{ap}) \leq \frac{2}{3} V_b$$

Travi a doppia rastremazione

$$k_{dis} = 1,4$$

$$V = b h_{ap}^2 \left(1 - \frac{\tan \alpha}{4} \right) \leq \frac{2}{3} V_b$$

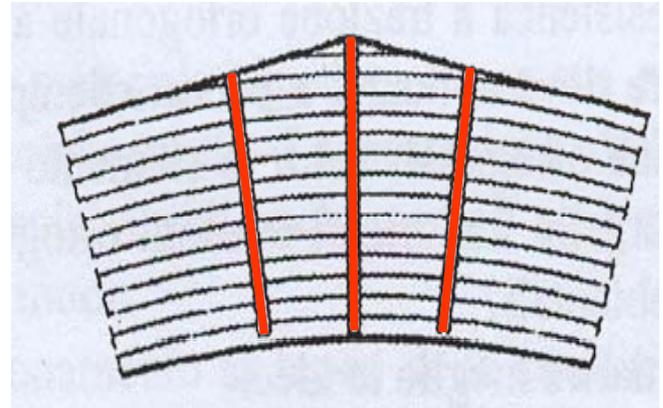
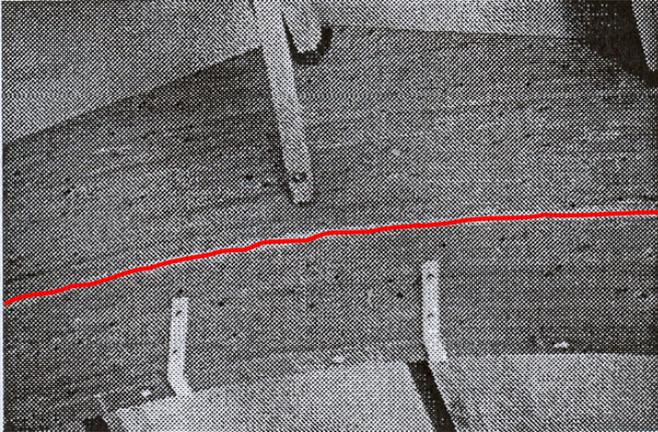
Travi centinate

$$k_{dis} = 1,7$$

$$V = b \left(\sin \alpha \cos \alpha (r_{in} + h_{ap})^2 - r_{in}^2 \frac{\pi \alpha}{180} \right) \leq \frac{2}{3} V_b$$

TRAVI CON TRAZIONI PERPENDICOLARI

Per contrastare la trazione perpendicolare alle fibre può essere necessario disporre barre filettate resinate



ESEMPIO: TRAVE CURVA

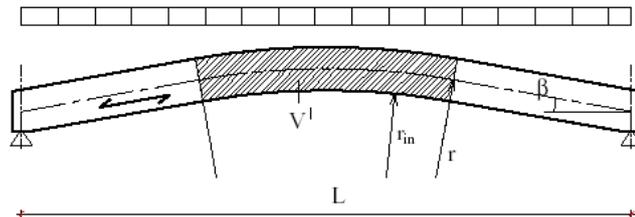
Calcolo di una trave curva su due appoggi

Hp: $L = 10\text{m}$; $i = 4,5\text{m}$;

carico neve al suolo $1,50\text{ kN/m}^2$.

Geometria

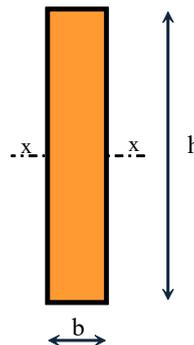
$L = 10.0$ m $r = 8.0$ m
 $i = 4.5$ m $\beta = 15.0$ °



Caratteristiche della sezione

$b = 20$ cm
 $h = 102$ cm
 $A = 2040$ cm²
 $J_{x-x} = 1768680$ cm⁴
 $W_{x-x} = 34680$ cm³
 $t = 3.0$ cm

Classe di servizio **II**



Caratteristiche del materiale

Legno Lamellare classe GL24h
 $f_{mk} = 28.0$ MPa
 $f_{t,90,k} = 0.45$ MPa
 $f_{v,k} = 2.5$ MPa
 $E_{0,m} = 12500$ MPa
 $G_m = 780$ MPa
 $\rho_k = 400$ kg/m³
 $\gamma_M = 1.45$ -

ESEMPIO: TRAVE CURVA

CARICHI :

Statici:

| | | | | |
|--------------------------------------|-----------|-------------------------|------|-------------------|
| peso proprio | | $G_{k1} =$ | 0.19 | kN/m ² |
| arcarecci | 12*18/125 | $G_{k2} =$ | 0.07 | kN/m ² |
| manto di copertura | | $G_{k3} =$ | 0.47 | kN/m ² |
| carico permanente/m ² | | $G_k = \Sigma G_{ki} =$ | 0.72 | kN/m ² |
| carico variabile neve/m ² | | $Q_1 =$ | 1.20 | kN/m ² |
| carico permanente/m | | $g_k = G_{ki} =$ | 3.26 | kN/m |
| carico variabile neve/m | | $q_{k1} = Q_{k1i} =$ | 5.40 | kN/m |

TRAVE CURVA

| | | |
|------------------------|--|---------------------|
| k_ℓ | $h_{ap} = h =$ | 102 cm |
| | $\alpha =$ | 0 ° |
| | $k_1 = 1 + 1,4 \tan \alpha + 5,4 \tan^2 \alpha =$ | 1 - |
| | $k_2 = 0,35 - 8 \tan \alpha$ | 0.35 - |
| | $k_3 = 0,6 + 8,3 \tan \alpha - 7,8 \tan^2 \alpha =$ | 0.6 - |
| | $k_4 = 6 \tan^2 \alpha =$ | 0 - |
| | $k_{\ell} = k_1 + k_2(h_{ap}/r) + k_3(h_{ap}/r)^2 + k_4(h_{ap}/r)^3 =$ | 1.05 - |
| k_r | $r_{int} = r - h/2 =$ | 7.49 m |
| | $r_{in}/t =$ | 250 > 240 |
| | $k_r = 1$ per $r_{in}/t > 240$ | |
| | $= 0,76 + 0,001 r_{in}/t$ per $r_{in}/t < 240 =$ | |
| k_r | | 1 - |
| k_h | $k_h = 1$ per $h > 60$ cm | |
| | $= \min(1, 15; (60/h)^{0,2})$ per $h < 60$ cm | |
| k_h | | 1 - |
| k_p | $k_5 = 0,2 \tan \alpha =$ | 0 - |
| | $k_6 = 0,25 - 1,5 \tan \alpha + 2,6 \tan^2 \alpha =$ | 0.25 - |
| | $k_7 = 2,1 \tan \alpha - 4 \tan^2 \alpha =$ | 0 - |
| | $k_p = k_5 + k_6(h_{ap}/r) + k_7(h_{ap}/r)^2 =$ | 0.032 - |
| k_{dis} | $k_{dis} =$ | 1.4 - |
| k_{vol} | $V_b = V_{trave} =$ | 2.09 m ³ |
| | $V = \min(V^1; 2V_b/3) =$ | 0.85 m ³ |
| | $k_{vol} = (0,01/V)^{0,2} =$ | 0.41 - |

TRAVE CURVA

CALCOLO SOLLECITAZIONI E VERIFICA:

Combinazione delle azioni allo SLU

| | | |
|-----------------------|---------------------------------------|-----------|
| 1 : perm. | $c_1 = \gamma_g g_k =$ | 4.23 kNm |
| 2 : perm. + var. neve | $c_2 = \gamma_g g_k + \gamma_q q_k =$ | 12.33 kNm |

$$\gamma_g = 1.30 \quad \gamma_q = 1.50$$

Verifiche SLU

| Combinazione | | 1 | 2 |
|--|-----|-------------|----------------------|
| $M_{ap} = c \cdot L^2 / 8 =$ | kNm | 52.90 | 154.15 |
| $\sigma_m = k_c M / W =$ | MPa | 1.61 | 4.69 |
| $\sigma_{t,90,d} = k_p M / W =$ | MPa | 0.05 | 0.14 |
| $T = c \cdot L / 2 \cdot \cos \beta =$ | kN | 20.44 | 59.56 |
| $\tau = 1.5 \cdot T / A =$ | MPa | 0.15 | 0.44 |
| $k_{mod} =$ | - | 0.60 | 0.80 |
| $f_{m,d} = f_{m,k} k_{mod} / \gamma_M =$ | MPa | 11.59 | 15.45 |
| $f_{m,R} = k_r k_h f_{m,d} =$ | MPa | 11.59 | 15.45 |
| $f_{t,90,d} = f_{t,90,k} k_{mod} / \gamma_M =$ | MPa | 0.19 | 0.25 |
| $f_{t,90,R} = k_{dis} k_{vol} f_{t,90,k} =$ | MPa | 0.11 | 0.14 |
| $f_{v,d} = f_{v,k} k_{mod} / \gamma_M =$ | MPa | 1.03 | 1.38 |
| $\sigma_m / f_{m,R} =$ | - | 0.14 | 0.30 ≤ 1 |
| $\sigma_{t,90,d} / f_{t,90,R} =$ | - | 0.45 | 0.99 ≤ 1 |
| $\tau / f_{v,d} =$ | - | 0.15 | 0.32 ≤ 1 |

ESEMPIO: TRAVE CENTINATA

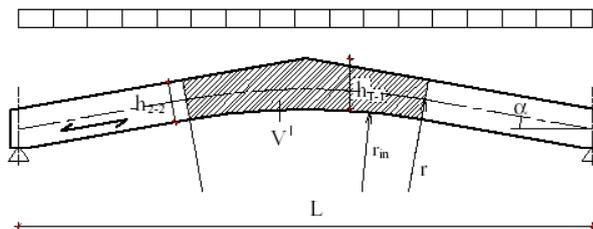
Trave centinata su due appoggi

Hp: L = 10m; i = 4,5m;

carico neve al suolo 1,50 kN/m².

Geometria

| | | | | | |
|-----|------|---|-------------------|------|---|
| L = | 10.0 | m | r _{in} = | 8.0 | m |
| i = | 4.5 | m | $\alpha =$ | 15.0 | ° |



Caratteristiche della sezione

| | | |
|---|---------|-----------------|
| b = | 20 | cm |
| h ₂₋₂ = | 104 | cm |
| $h_{1-1} = (r_{in} + h) / \cos \alpha - r_{in} =$ | 136 | cm |
| J ₁₋₁ = | 4179160 | cm ⁴ |
| W ₁₋₁ = | 61523 | cm ³ |
| t = | 3.0 | cm |

Classe di servizio **II**



Caratteristiche del materiale

| | |
|------------------------------|-----------------------|
| Legno Lamellare classe GL28h | |
| f _{m,k} = | 28.0 MPa |
| f _{t,90,k} = | 0.45 MPa |
| f _{v,k} = | 2.5 MPa |
| E _{0,m} = | 12500 MPa |
| G _m = | 780 MPa |
| ρ _k = | 400 kg/m ³ |
| γ _M = | 1.45 - |

ESEMPIO: TRAVE CENTINATA

CARICHI :

Statici:

| | | | | |
|--------------------------------------|-----------|-------------------------|------|-------------------|
| peso proprio | | $G_{k1} =$ | 0.20 | kN/m ² |
| arcarecci | 12*18/125 | $G_{k2} =$ | 0.07 | kN/m ² |
| manto di copertura | | $G_{k3} =$ | 0.47 | kN/m ² |
| carico permanente/m ² | | $G_k = \Sigma G_{ki} =$ | 0.74 | kN/m ² |
| carico variabile neve/m ² | | $Q_1 =$ | 1.20 | kN/m ² |
| carico permanente/m | | $g_k = G_{ki} =$ | 3.31 | kN/m |
| carico variabile neve/m | | $q_{k1} = Q_{ki} =$ | 5.40 | kN/m |

TRAVE CENTINATA

| | | |
|-----------|--|---------------------|
| k_ℓ | $r = r_{in} + 0,5h_{ap} = r_{in} + 0,5h_{1-1}$ | 8.68 m |
| | $k_1 = 1 + 1,4 \tan \alpha + 5,4 \tan^2 \alpha =$ | 1.76 - |
| | $k_2 = 0,35 - 8 \tan \alpha$ | -1.79 - |
| | $k_3 = 0,6 + 8,3 \tan \alpha - 7,8 \tan^2 \alpha =$ | 2.26 - |
| | $k_4 = 6 \tan^2 \alpha =$ | 0.43 - |
| k_r | $k_\ell = k_1 + k_2(h_{ap}/r) + k_3(h_{ap}/r)^2 + k_4(h_{ap}/r)^3 =$ | 1.54 - |
| | $r_{in}/t =$ | 267 > 240 |
| | $k_r = 1$ per $r_{in}/t > 240$ $= 0,76 + 0,001 r_{in}/t$ per $r_{in}/t < 240 =$ | |
| k_h | $k_r =$ | 1 - |
| | $k_h = 1$ per $h > 60$ cm $= \min(1,15; (60/h)^{0,2})$ per $h < 60$ cm | |
| k_p | $k_h =$ | 1 - |
| | $k_5 = 0,2 \tan \alpha =$ | 0.054 - |
| | $k_6 = 0,25 - 1,5 \tan \alpha + 2,6 \tan^2 \alpha =$ | 0.035 - |
| | $k_7 = 2,1 \tan \alpha - 4 \tan^2 \alpha =$ | 0.276 - |
| k_{dis} | $k_p = k_5 + k_6(h_{ap}/r) + k_7(h_{ap}/r)^2 =$ | 0.066 - |
| k_{vol} | $k_{dis} =$ | 1.7 - |
| | $V_b = V_{trave} =$ | 2.23 m ³ |
| | $V = \min(V^1; 2V_b/3) =$ | 1.03 m ³ |
| | $k_{vol} = (0,01/V)^{0,2} =$ | 0.40 - |

TRAVE CENTINATA

CALCOLO SOLLECITAZIONI E VERIFICA:

Combinazione delle azioni allo SLU

| | | |
|-----------------------|---------------------------------------|-----------|
| 1 : perm. | $c_1 = \gamma_g g_k =$ | 4.30 kNm |
| 2 : perm. + var. neve | $c_2 = \gamma_g g_k + \gamma_q q_k =$ | 12.40 kNm |

$$\gamma_g = 1.30 \quad \gamma_q = 1.50$$

Verifiche SLU

| Combinazione | | 1 | 2 |
|--|-----|-------------|----------------------|
| $M_{ap,i} = c_i * L^2 / 8 =$ | kNm | 53.81 | 155.06 |
| $\sigma_m = k_c M_i / W =$ | MPa | 1.35 | 3.88 |
| $\sigma_{t,90,d} = k_p M_i / W =$ | MPa | 0.06 | 0.17 |
| $k_{mod} =$ | - | 0.60 | 0.80 |
| $f_{m,d} = f_{m,k} k_{mod} / \gamma_M =$ | MPa | 11.59 | 15.45 |
| $f_{m,R} = k_r k_h f_{m,d} =$ | MPa | 11.59 | 15.45 |
| $f_{t,90,d} = f_{t,90,k} k_{mod} / \gamma_M =$ | MPa | 0.19 | 0.25 |
| $f_{t,90,R} = k_{dis} k_{vol} f_{t,90,k} =$ | MPa | 0.13 | 0.17 |
| $f_{v,d} = f_{v,k} k_{mod} / \gamma_M =$ | MPa | 1.03 | 1.38 |
| $\sigma_m / f_{mR} =$ | - | 0.12 | 0.25 ≤ 1 |
| $\sigma_{t,90,d} / f_{t,90,R} =$ | - | 0.46 | 0.99 ≤ 1 |