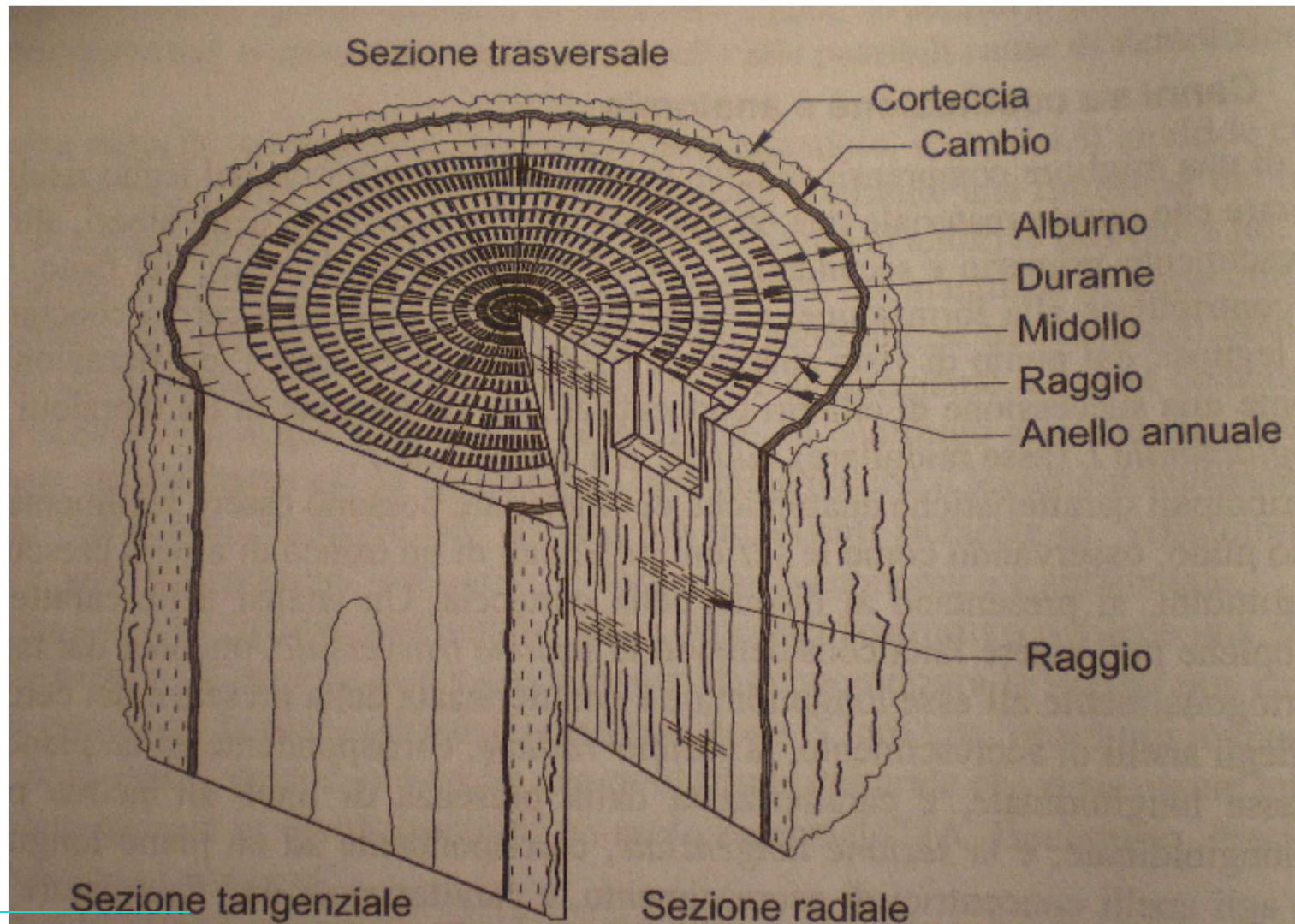


# Costruzioni in legno

Caratteristiche meccaniche  
Metodi di calcolo

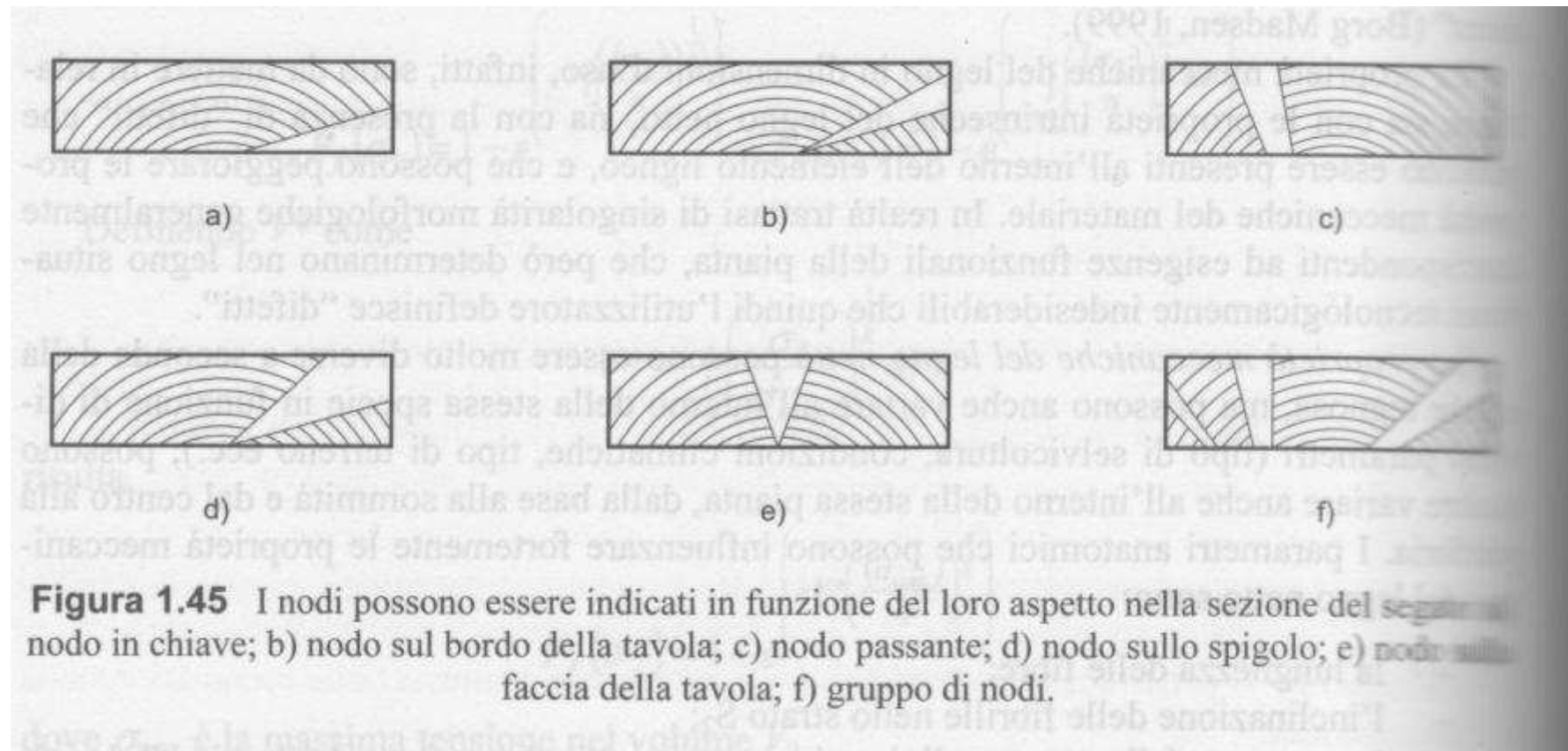
# Caratteristiche meccaniche

## Costituzione del tronco



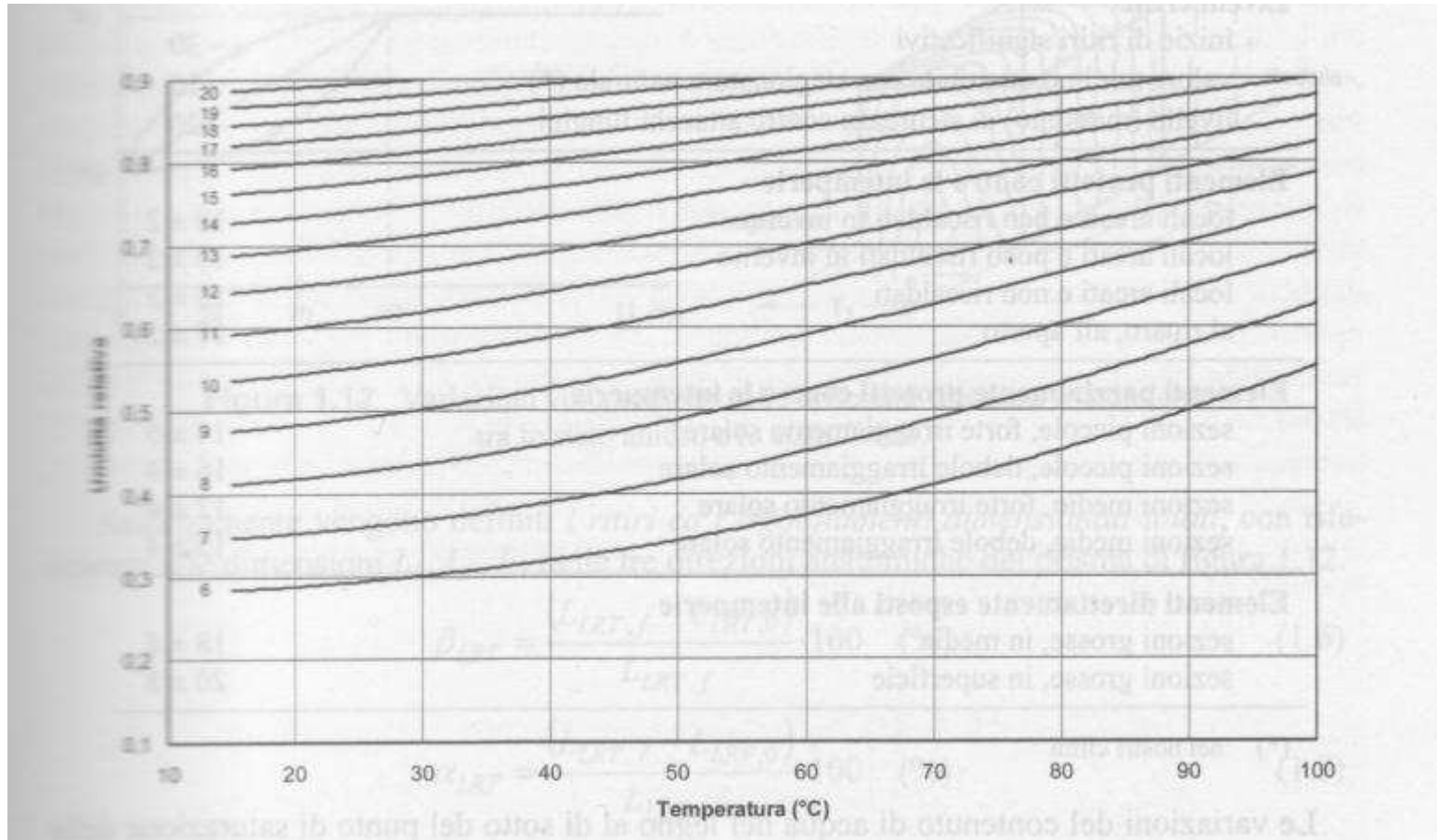
# Caratteristiche meccaniche

## Difetti



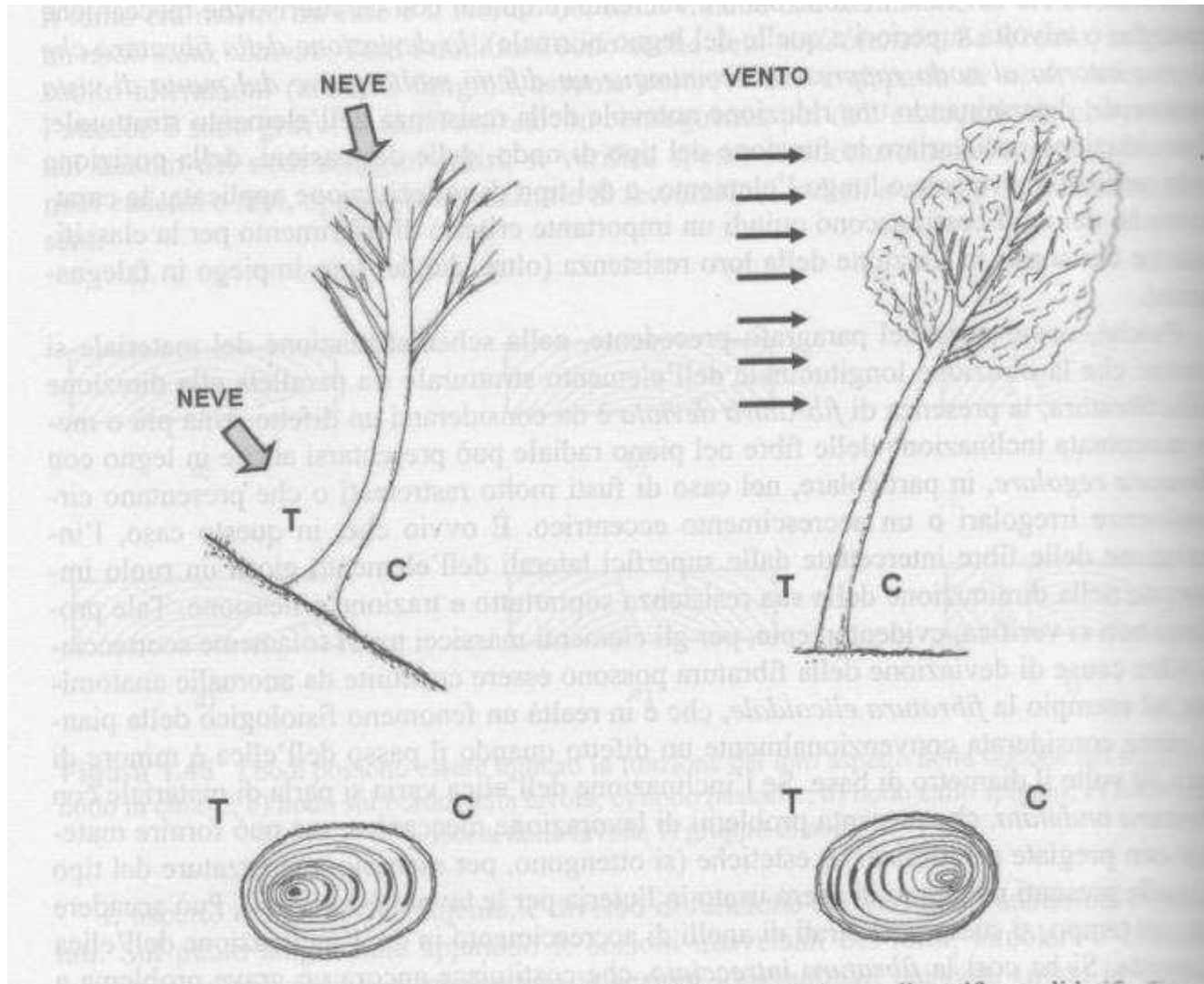
# Caratteristiche meccaniche

Relazione tra Umidità, Umidità relativa e Temperatura



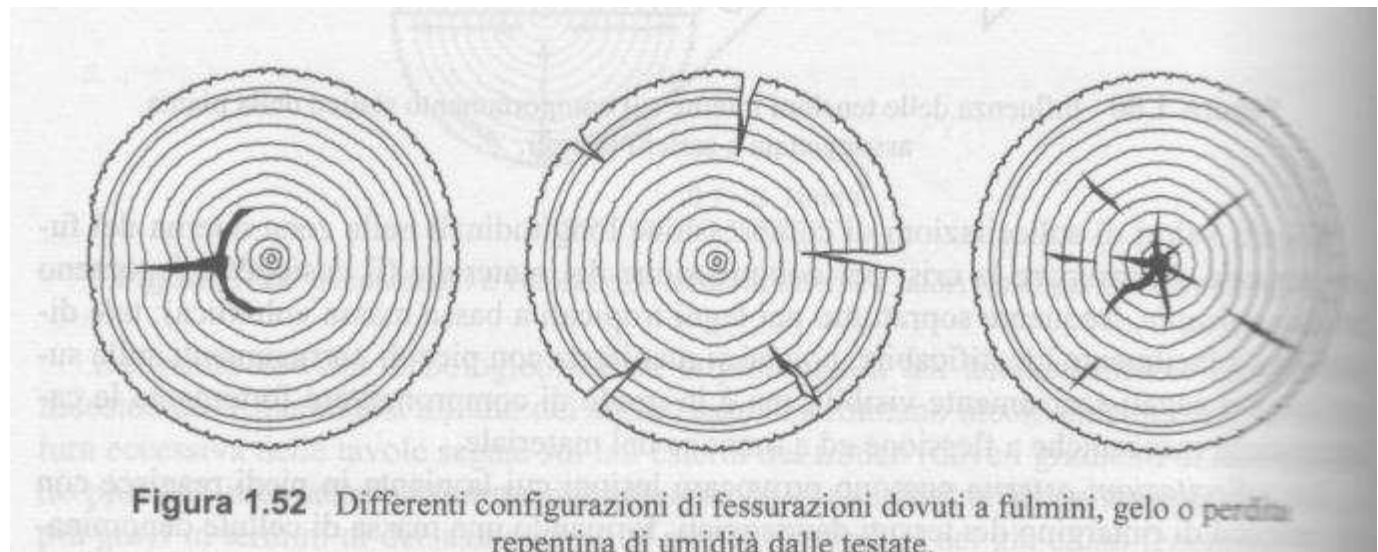
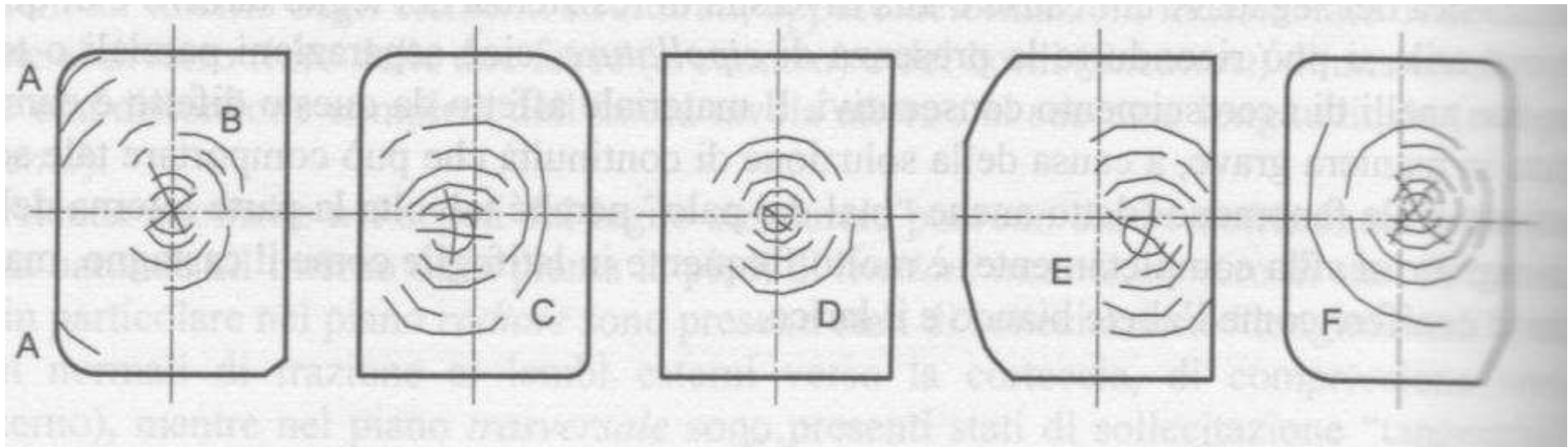
# Caratteristiche meccaniche

Influenza delle azioni ambientali



# Caratteristiche meccaniche

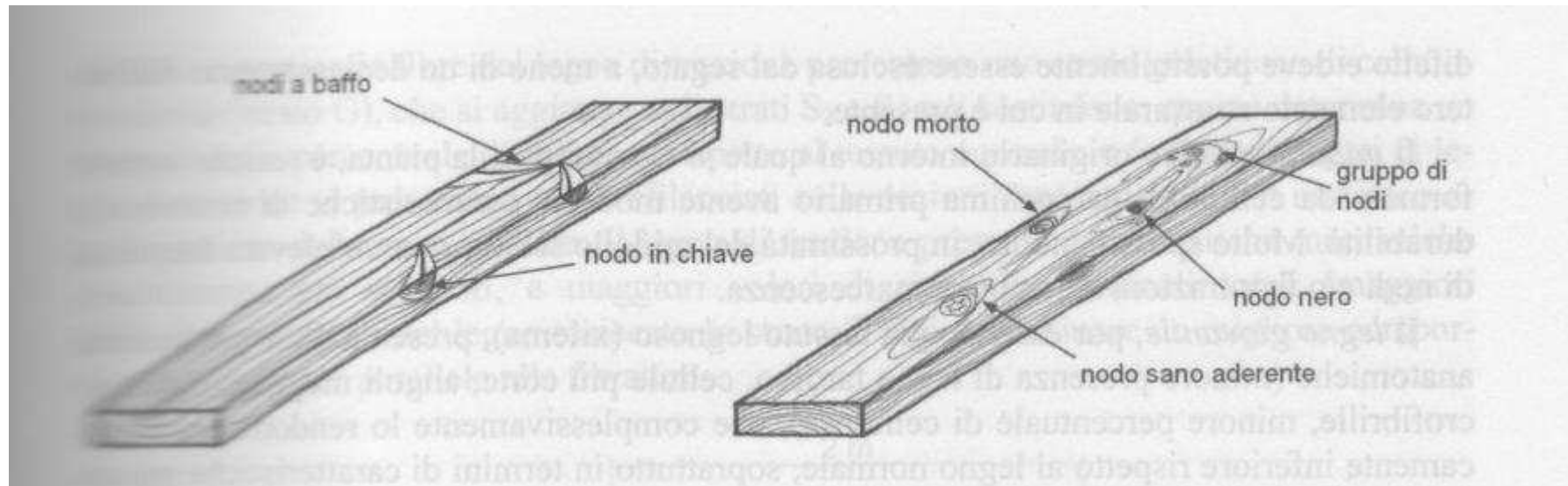
## Difetti



**Figura 1.52** Differenti configurazioni di fessurazioni dovuti a fulmini, gelo o perdita repentina di umidità dalle testate.

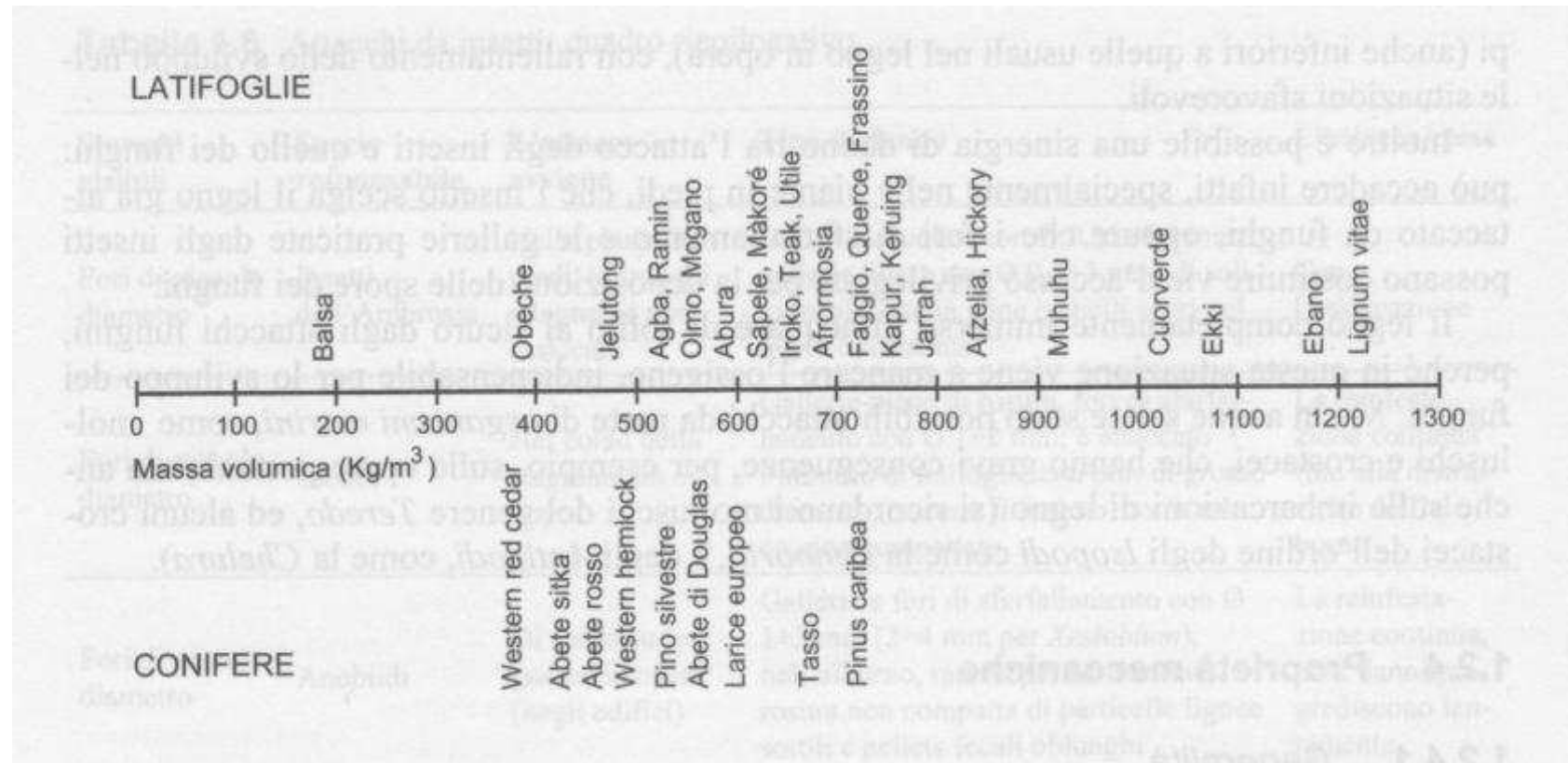
# Caratteristiche meccaniche

## Difetti



# Caratteristiche meccaniche

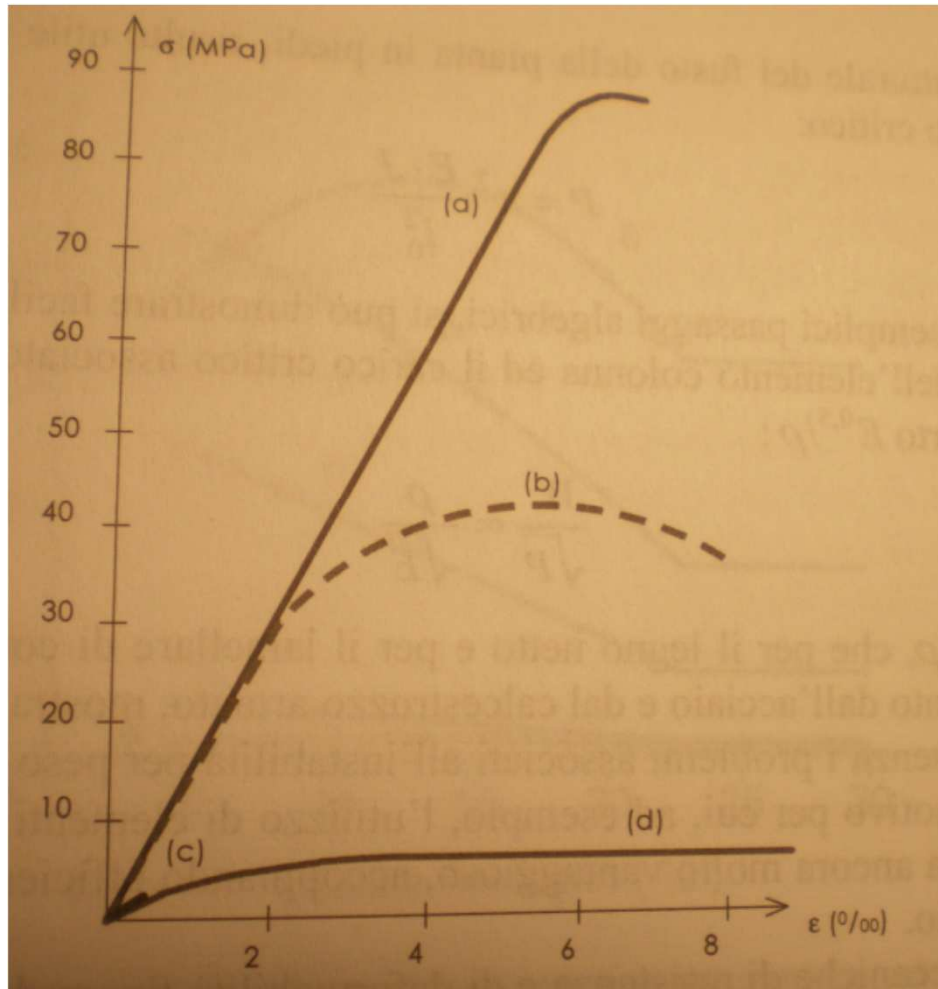
## Masse volumiche





# Caratteristiche meccaniche

Relazioni tensione-deformazione



Legno "netto"

Sollecitazioni parallele alle fibre

a) Trazione

b) Compressione

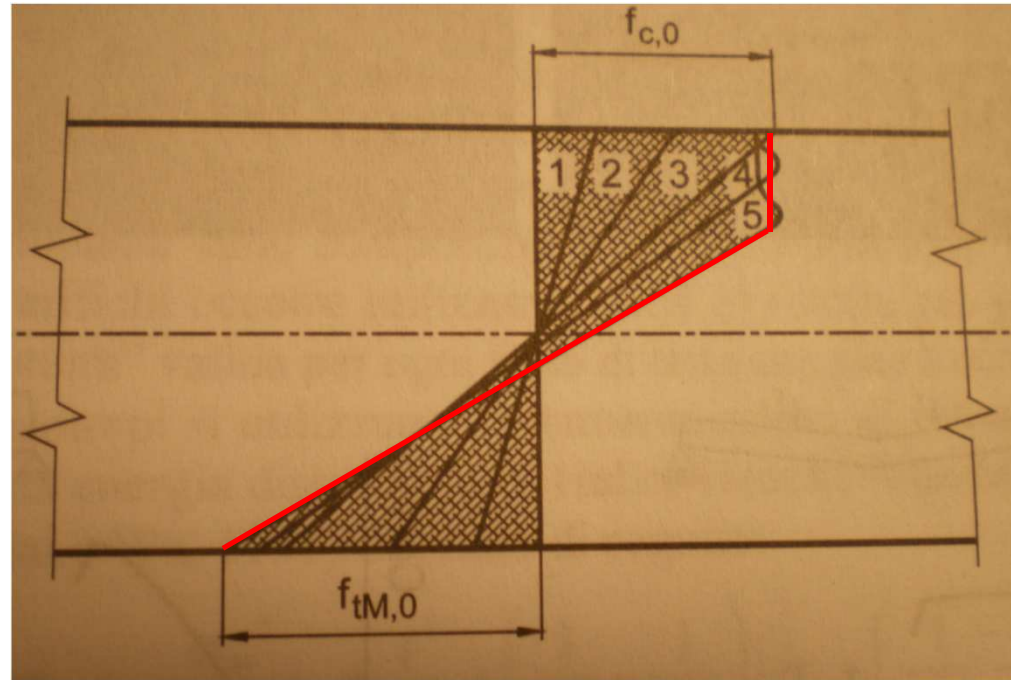
Sollecitazioni ortogonali alle fibre

c) Trazione

d) Compressione

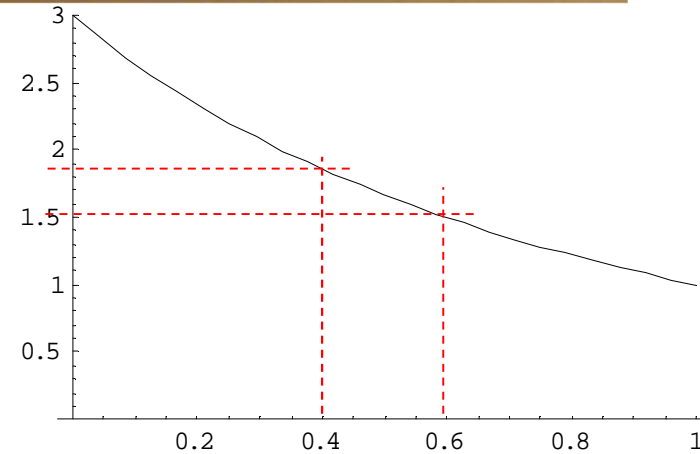
# Comportamento a flessione

$$m = \frac{f_{c,0}}{f_{tM,0}}$$



$M_R / W f_{c,0}$

$$M_R = f_{c,0} \cdot \frac{3-m}{1+m} \cdot \frac{bh^2}{6}$$



m

# Caratteristiche meccaniche

## Efficienza statica

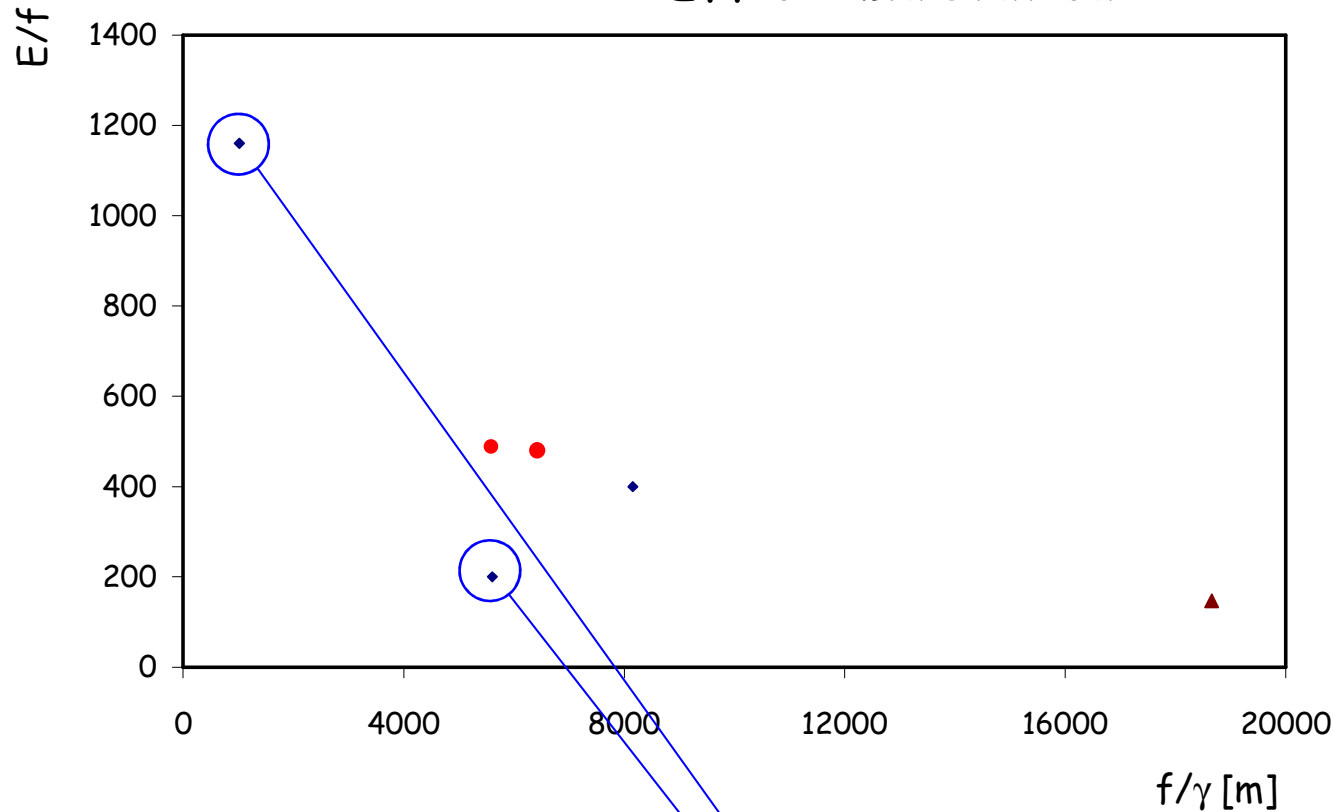
| Materiale   | $f/\rho$ (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> ) | $E/f$  | $E^{0,5}/\rho$ (m <sup>2,5</sup> s <sup>-1</sup> kg <sup>-0,5</sup> ) |
|---|--|--------|---|
| Legno lamellare (GL24)                            | ~63.000                                    | ~480   | ~280  |
| Legno lamellare (GL36)                            | ~80.000                                    | ~400   | ~270  |
| Legno netto (abete rosso)                         | ~183.000                                   | ~147   | ~260  |
| Calcestruzzo ( $R_{ck}30, f_{ck} \approx 25$ MPa) | ~10.400                                    | ~1.200 | ~69   |
| Acciaio Fe430 ( $f_t = 430$ MPa)                  | ~55.000                                    | ~480   | ~58   |
| Alluminio (lega 7020, $f_t \approx 355$ MPa)      | ~130.000                                   | ~200   | ~100  |

**Tabella 1.10** Equivalenza tra classi di resistenza per legno di conifera (abete rosso, larice, pino) classificato a vista (S) o a macchina (MS) in accordo con EN 1912, per le provenienze Europa settentrionale, centrale, orientale.

| DIN 4074 (versione 1996) | EN 338 |
|--------------------------|--------|
| S7 – MS7                 | C16    |
| S10 – MS10               | C24    |
| S13                      | C30    |

# Caratteristiche meccaniche

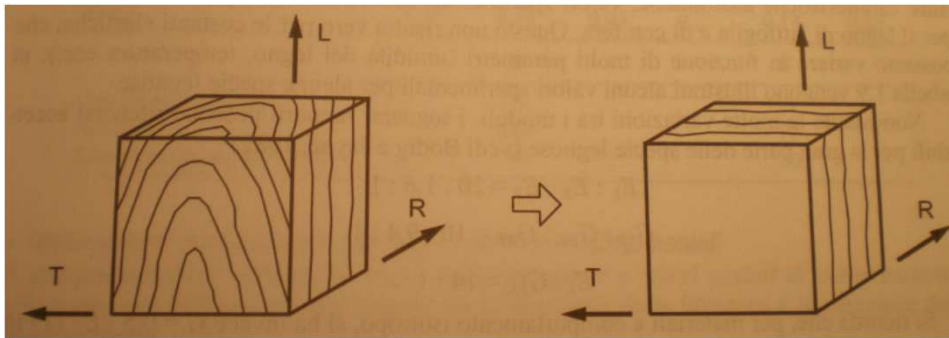
## Efficienza statica



|                                      | $f/\gamma$<br>[m] | $E/f$ |
|--------------------------------------|-------------------|-------|
| Legno Lamellare (GL24)               | 6422              | 480   |
| Legno Lamellare (GL36)               | 8155              | 400   |
| Legno netto (abete rosso)            | 18654             | 147   |
| Calcestruzzo (C25/30)                | 1019              | 1160  |
| Acciaio S 275                        | 5584              | 488   |
| Alluminio (lega 7020, $f_t=355$ MPa) | 5607              | 200   |
| Compositi in fibra di carbonio       | 107034            | 67    |

# Caratteristiche meccaniche

## Modellazione meccanica



Materiale elastico ed anisotropo

Valori di riferimento per i rapporti tra le proprietà meccaniche

$$E_L : E_R : E_T \approx 20 : 1.6 : 1$$

$$G_{LR} : G_{LT} : G_{RT} \approx 10 : 9.4 : 1$$

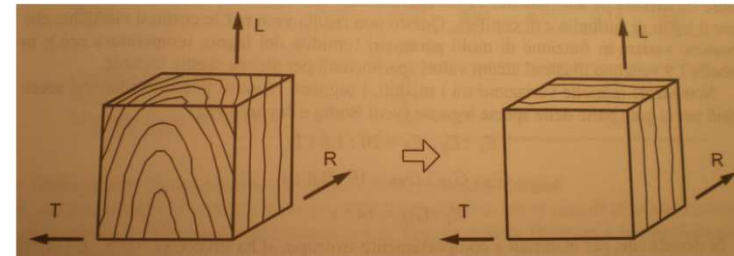
$$E_L : G_{LR} \approx 14 : 1$$

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_L \\ \varepsilon_R \\ \varepsilon_T \\ \gamma_{RT} \\ \gamma_{LT} \\ \gamma_{LR} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_L} & -\frac{\nu_{RL}}{E_R} & -\frac{\nu_{TL}}{E_T} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{LR}}{E_L} & \frac{1}{E_R} & -\frac{\nu_{TR}}{E_T} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{LT}}{E_L} & -\frac{\nu_{RT}}{E_R} & \frac{1}{E_T} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{RT}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{LT}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{LR}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_L \\ \sigma_R \\ \sigma_T \\ \tau_{RT} \\ \tau_{LT} \\ \tau_{LR} \end{bmatrix}$$

# Caratteristiche meccaniche

## Modellazione meccanica

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_L \\ \varepsilon_R \\ \varepsilon_T \\ \gamma_{RT} \\ \gamma_{LT} \\ \gamma_{LR} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_L} & -\frac{\nu_{RL}}{E_R} & -\frac{\nu_{TL}}{E_T} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{LR}}{E_L} & \frac{1}{E_R} & -\frac{\nu_{TR}}{E_T} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{LT}}{E_L} & -\frac{\nu_{RT}}{E_R} & \frac{1}{E_T} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{RT}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{LT}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{LR}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_L \\ \sigma_R \\ \sigma_T \\ \tau_{RT} \\ \tau_{LT} \\ \tau_{LR} \end{bmatrix}$$



### Modulo di Poisson

$\nu_{LR}$

$\nu_{LT}$

$\nu_{RT}$

$\nu_{TR}$

$\nu_{RL}$

$\nu_{TL}$

### Conifere

0.37

0.42

0.47

0.350

0.041

0.027

### Latifoglie

0.37

0.50

0.67

0.330

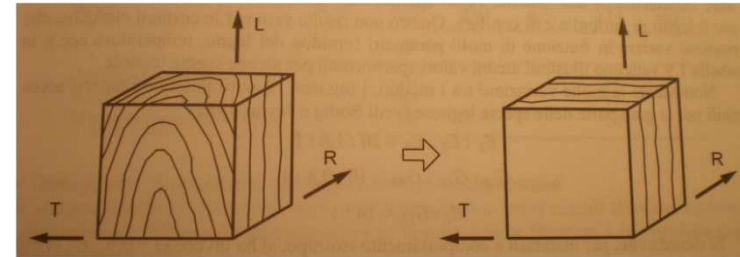
0.044

0.033

# Caratteristiche meccaniche

## Modellazione meccanica

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_L \\ \varepsilon_R \\ \varepsilon_T \\ \gamma_{RT} \\ \gamma_{LT} \\ \gamma_{LR} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_L} & -\frac{\nu_{RL}}{E_R} & -\frac{\nu_{TL}}{E_T} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\nu_{LR}}{E_L} & \frac{1}{E_R} & -\frac{\nu_{TR}}{E_T} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{LT}}{E_L} & -\frac{\nu_{RT}}{E_R} & \frac{1}{E_T} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{RT}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{LT}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{LR}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_L \\ \sigma_R \\ \sigma_T \\ \tau_{RT} \\ \tau_{LT} \\ \tau_{LR} \end{bmatrix}$$

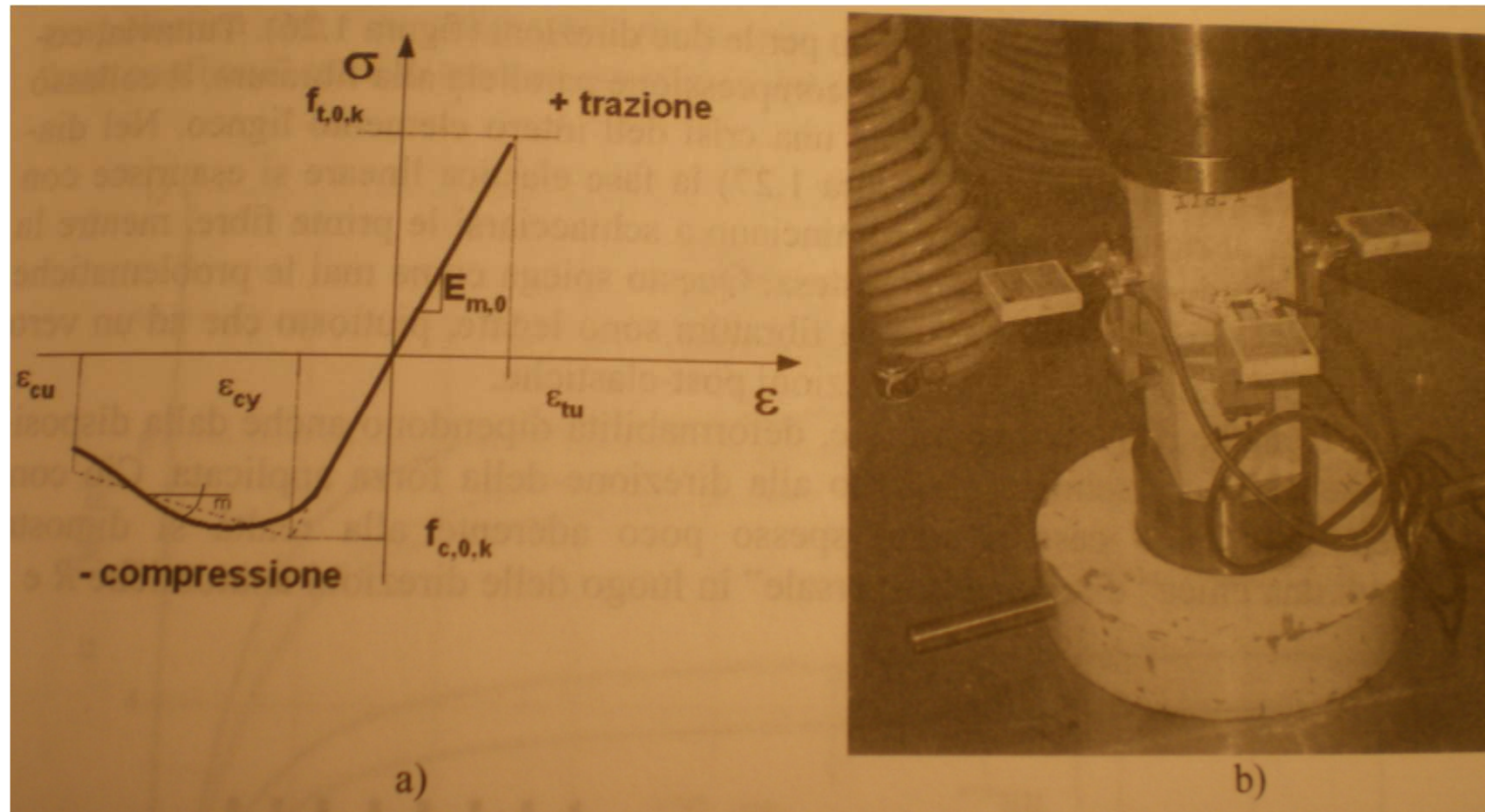


### Moduli Elastici

|                  | $E_L$<br>[GPa]  | $E_R$<br>[GPa]  | $E_T$<br>[GPa]  | $G_{LR}$<br>[GPa] | $G_{LT}$<br>[GPa] | $G_{RT}$<br>[GPa] |
|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Duglasia         | 14.50           | 0.96            | 0.09            | 0.83              | 0.76              | 0.08              |
| Abete rosso      | 11.71           | 0.83            | 4.94            | 0.70              | 0.66              | 0.07              |
| Larice           | 14.13           | 1.05            | 0.69            | 0.84              | 0.78              | 0.09              |
| Pioppo           | 10.76           | 0.76            | 0.33            | 0.59              | 0.42              | 0.13              |
| Pino             | 11.52           | 1.00            | 0.65            | 0.81              | 0.75              | 0.09              |
| Faggio           | 13.06           | 1.31            | 0.68            | 1.01              | 0.75              | 0.25              |
| Quercia          | 13.82           | 1.28            | 0.66            | 0.99              | 0.74              | 0.25              |
| Betulla          | 15.25           | 1.26            | 0.64            | 0.97              | 0.72              | 0.24              |
| <del>Balsa</del> | <del>3.30</del> | <del>0.27</del> | <del>0.08</del> | <del>0.21</del>   | <del>0.14</del>   | <del>0.03</del>   |

# Caratteristiche meccaniche

Modellazione meccanica





# Caratteristiche meccaniche

## Classificazione del materiale

### Classificazione "a vista"

- ampiezza media degli anelli di accrescimento;
- massa volumica;
- tipologia, posizione frequenza e dimensione dei difetti.

### Classificazione "a macchina"

- misura del modulo di elasticità o di altre caratteristiche meccaniche tramite prove non distruttive ed attribuzione ad una categoria sulla base di valutazioni quantitative in merito alla resistenza del materiale. Le correlazioni tra il parametro misurato (ad esempio, il modulo elastico) e la resistenza devono essere calibrate preliminarmente tramite prove non distruttive.

# Caratteristiche meccaniche

Proprietà meccaniche di interesse

| Proprietà di resistenza     |                | Proprietà di rigidezza                   |                 | Massa volumica                     |                 |
|-----------------------------|----------------|--|-----------------|------------------------------------|-----------------|
| Flessione                   | $(f_{m,k})$    | Modulo elastico parallelo medio          | $(E_{0,mean})$  | Massa volumica caratteristica (5%) | $(\rho_k)$      |
| Trazione parallela          | $(f_{t,0,k})$  | Modulo elastico parallelo caratteristico | $(E_{0,05})$    | Massa volumica media               | $(\rho_{mean})$ |
| Trazione perpendicolare     | $(f_{t,90,k})$ | Modulo elastico perpendicolare medio     | $(E_{90,mean})$ |                                    |                 |
| Compressione parallela      | $(f_{c,0,k})$  | Modulo elastico tangenziale medio        | $(G_{mean})$    |                                    |                 |
| Compressione perpendicolare | $(f_{c,90,k})$ |  |                 |                                    |                 |
| Taglio                      | $(f_{v,k})$    |  |                 |                                    |                 |

# Caratteristiche meccaniche

Classi di resistenza prEN 338:2002 - Conifere e Pioppo

|  |               | C14  | C16  | C18  | C20  | C22  | C24  | C27  | C30  | C35  | C40  | C45  | C50  |
|--|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| <i>Proprietà di resistenza in N/mm<sup>2</sup></i> |               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Flessione  | $f_{m,k}$     | 14   | 16   | 18   | 20   | 22   | 24   | 27   | 30   | 35   | 40   | 45   | 50   |
| Trazione parallela                                 | $f_{t,0,k}$   | 8    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 16   | 18   | 21   | 24   | 27   | 30   |
| Trazione perpendicolare                            | $f_{t,90,k}$  | 0,40 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 |
| Compressione parallela                             | $f_{c,0,k}$   | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   | 23   | 25   | 26   | 27   | 29   |
| 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  |
| 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  |
| <i>Proprietà di rigidità in kN/mm<sup>2</sup></i>  |               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Modulo di elasticità medio parallelo               | $E_{0,mean}$  | 7    | 8    | 9    | 9,5  | 10   | 11   | 12   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   |
| Modulo di elasticità caratteristico                | $E_k$         | 4,7  | 5,4  | 6,0  | 6,4  | 6,7  | 7,4  | 8,0  | 8,0  | 8,7  | 9,4  | 10,0 | 10,7 |
| Modulo di elasticità medio perp.                   | $E_{90,mean}$ | 0,23 | 0,27 | 0,30 | 0,32 | 0,33 | 0,37 | 0,40 | 0,40 | 0,43 | 0,47 | 0,50 | 0,53 |
| Modulo di taglio medio                             | $G_{mean}$    | 0,44 | 0,50 | 0,56 | 0,59 | 0,63 | 0,69 | 0,75 | 0,75 | 0,81 | 0,88 | 0,94 | 1,00 |
| <i>Massa volumica in kg/m<sup>3</sup></i>          |               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Massa volumica                                     | $\rho_k$      | 290  | 310  | 320  | 330  | 340  | 350  | 370  | 380  | 400  | 420  | 440  | 460  |
| Massa volumica media                               | $\rho_{mean}$ | 350  | 370  | 380  | 390  | 410  | 420  | 450  | 460  | 480  | 500  | 520  | 550  |

# Caratteristiche meccaniche

Classi di resistenza prEN 338:2002 - Latifoglie (escl. Pioppo)

|  |               | D30  | D35  | D40  | D50  | D60  | D70  |
|--|---------------|------|------|------|------|------|------|
| <i>Proprietà di resistenza in N/mm<sup>2</sup></i> |               |      |      |      |      |      |      |
| Flessione  | $f_{m,k}$     | 30   | 35   | 40   | 50   | 60   | 70   |
| Trazione parallela                                 | $f_{t,0,k}$   | 18   | 21   | 24   | 30   | 36   | 42   |
| Trazione perpendicolare                            | $f_{t,90,k}$  | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 | 0,60 |
| Compressione parallela                             | $f_{c,0,k}$   | 23   | 25   | 26   | 29   | 32   | 34   |
| Compressione perpendicolare                        | $f_{c,90,k}$  | 8,0  | 8,4  | 8,8  | 9,7  | 10,5 | 13,5 |
| Taglio   | $f_{v,k}$     | 3,0  | 3,4  | 3,8  | 4,6  | 5,3  | 6,0  |
| <i>Proprietà di rigidezza in kN/mm<sup>2</sup></i> |               |      |      |      |      |      |      |
| Modulo di elasticità medio parallelo               | $E_{0,mean}$  | 10   | 10   | 11   | 14   | 17   | 20   |
| Modulo di elasticità parallelo                     | $E_k$         | 8,0  | 8,7  | 9,4  | 11,8 | 14,3 | 16,8 |
| Modulo di elasticità medio perp.                   | $E_{90,mean}$ | 0,64 | 0,69 | 0,75 | 0,93 | 1,13 | 1,33 |
| Modulo di taglio medio                             | $G_{mean}$    | 0,60 | 0,65 | 0,70 | 0,88 | 1,06 | 1,25 |
| <i>Massa volumica in kg/m<sup>3</sup></i>          |               |      |      |      |      |      |      |
| Massa volumica                                     | $\rho_k$      | 530  | 560  | 590  | 650  | 700  | 900  |
| Massa volumica media                               | $\rho_{mean}$ | 640  | 670  | 700  | 780  | 840  | 1080 |

# Caratteristiche meccaniche

Proprietà meccaniche del legno massiccio (prEN 338:2002)

**Tabella 1.13** Proprietà meccaniche del legno massiccio a partire dai valori caratteristici di modulo di rottura a flessione ( $f_{m,k}$  in N/mm<sup>2</sup>), di massa volumica ( $\rho_k$  in kg/m<sup>3</sup>), e dal valore medio del modulo elastico parallelo alle fibre ( $E_{0,mean}$  in N/mm<sup>2</sup>), in accordo con la normativa EN338: 2002

| Proprietà       | Relazione proposta                                   |   |
|-----------------|--|---|
| Trazione        | parallela alle fibre                                 | $f_{t,0,g,k} = 0,6 \cdot f_{m,k}$                 |
|                 | perpendicolare alle fibre                            | $f_{t,90,g,k} = \min\{0,6; 0,0015 \cdot \rho_k\}$ |
| Compressione    | parallela alle fibre                                 | $f_{c,0,g,k} = 5 \cdot (f_{m,k})^{0,45}$          |
|                 | perpendicolare alle fibre                            | $f_{c,90,g,k} = 0,007 \cdot \rho_k$ conifere      |
|                 |  | $= 0,015 \cdot \rho_k$ latifoglie                 |
| Taglio          | $f_{v,g,k} = \min\{3,8; 0,2 \cdot (f_{m,k})^{0,8}\}$ |   |
| Moduli elastici | $E_{0,k}$  | $= 0,67 \cdot E_{0,mean}$ conifere                |
|                 |  | $= 0,84 \cdot E_{0,mean}$ latifoglie              |
|                 | $E_{90,mean}$  | $= E_{0,mean}/30$ conifere                        |
|                 |  | $= E_{0,mean}/15$ latifoglie                      |
|                 | $G_{mean}$   | $= E_{0,mean}/16$                                 |

# Caratteristiche meccaniche

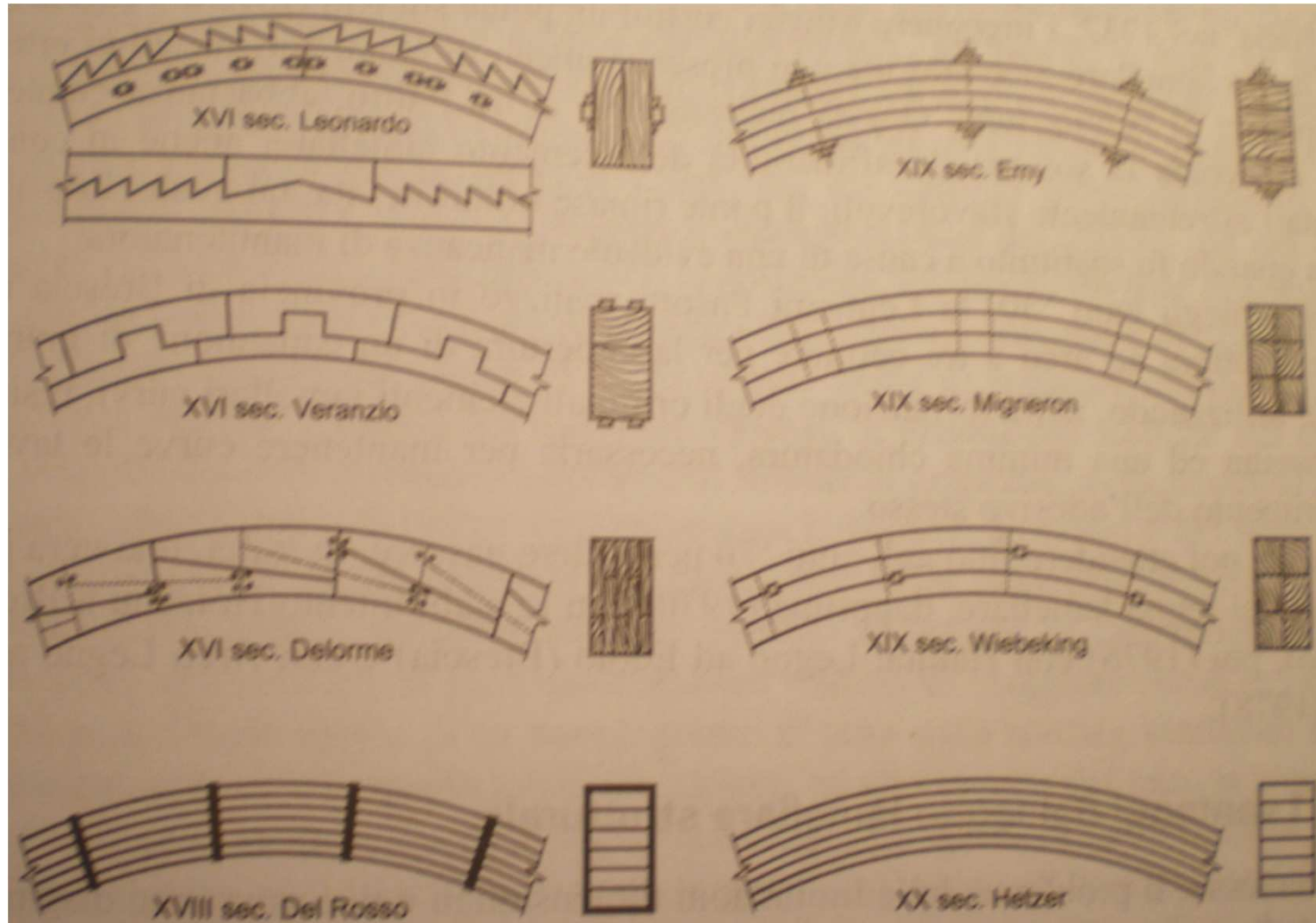
## Classificazione di abete e larice italiano (UNI 11035)

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

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

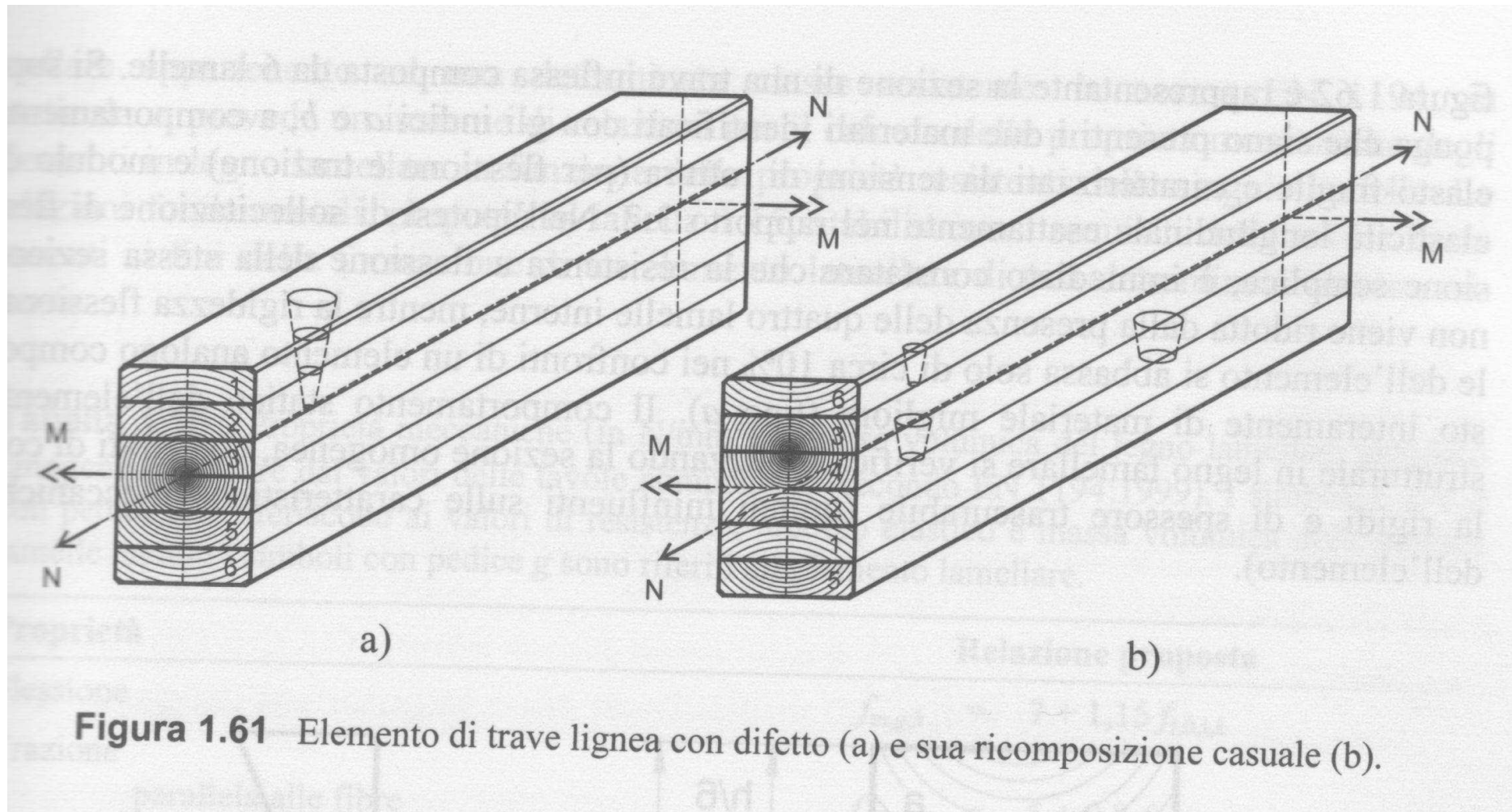
# Caratteristiche meccaniche

Legno lamellare incollato



# Caratteristiche meccaniche

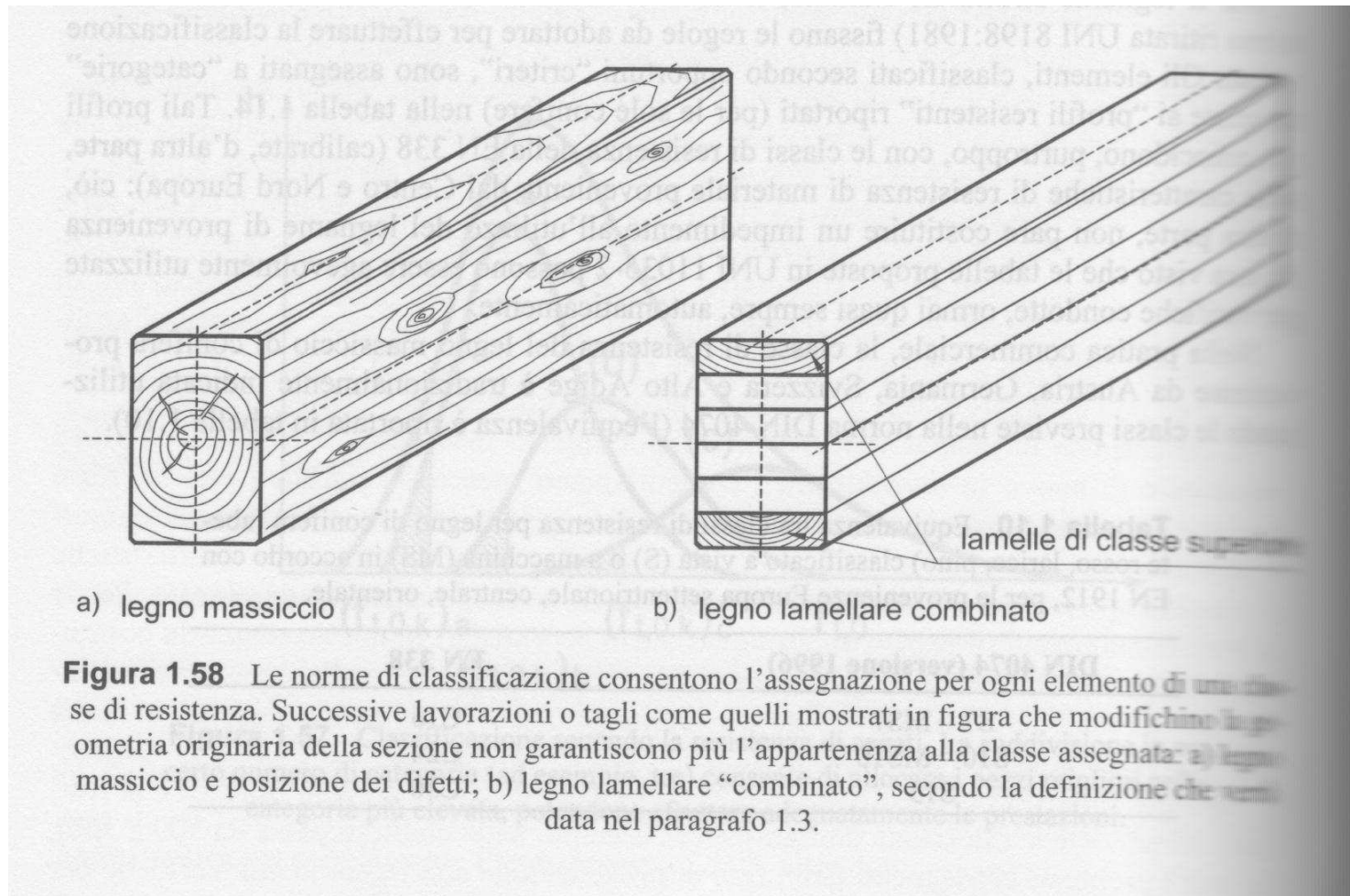
Legno lamellare incollato





# Caratteristiche meccaniche

## Legno lamellare incollato



# Caratteristiche meccaniche

## Legno lamellare incollato - Vantaggi

- Riduzione della presenza e delle dimensioni dei **difetti** interni alla tessitura del legno massiccio;
- Maggiore adattabilità della trave al regime tensionale prevalente in termini di orientamento delle fibre e di eventuale scelta di essenze diverse in funzione della localizzazione delle tensioni massime;
- Maggiore efficacia della stagionatura delle lamelle di legno lamellare derivante dal ridotto spessore delle stesse rispetto a quelle di travi in legno massiccio.

# Caratteristiche meccaniche

## Legno lamellare incollato

**Tabella 1.15** Proprietà meccaniche (in N/mm<sup>2</sup>) e massa volumica del legno lamellare incollato omogeneo a partire dai valori delle tavole componenti (secondo EN 1194:1999). I simboli  $f$ ,  $E$  e  $\rho$  con pedice  $l$  si riferiscono ai valori di resistenza, modulo elastico e massa volumica delle singole lamelle mentre i simboli con pedice  $g$  sono riferiti all'elemento lamellare.

| Proprietà                 | Relazione proposta                             |
|---------------------------|--|
| Flessione                 | $f_{m,g,k} = 7 + 1,15 f_{t,0,1,k}$             |
| Trazione                  |  |
| parallela alle fibre      | $f_{t,0,g,k} = 5 + 0,8 \cdot f_{t,0,1,k}$      |
| perpendicolare alle fibre | $f_{t,90,g,k} = 0,2 + 0,015 \cdot f_{t,0,1,k}$ |
| Compressione              |  |
| parallela alle fibre      | $f_{c,0,g,k} = 7,2 f_{t,0,1,k}^{0,45}$         |
| perpendicolare alle fibre | $f_{c,90,g,k} = 0,7 \cdot f_{t,0,1,k}^{0,5}$   |
| Taglio                    | $f_{v,g,k} = 0,32 f_{t,0,1,k}^{0,8}$           |
| Moduli elastici           |  |
|                           | $E_{0,g,mean} = 1,05 E_{0,1,mean}$             |
|                           | $E_{0,g,05} = 0,85 E_{0,1,mean}$               |
|                           | $E_{90,g,mean} = 0,035 E_{0,1,mean}$           |
|                           | $G_{g,mean} = 0,065 E_{0,1,mean}$              |
| Massa volumica            | $\rho_{g,k} = 1,10 \cdot \rho_{l,k}$           |

# Caratteristiche meccaniche

Legno lamellare incollato - Classi di resistenza (EN 1194, 1999)

|  |               | GL24h | GL28h | GL32h | GL36h | GL24c | GL28c | GL32c | GL36c |
|--|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <i>Proprietà di resistenza in N/mm<sup>2</sup></i> |               |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Flessione  | $f_{m,k}$     | 24    | 28    | 32    | 36    | 24    | 28    | 32    | 36    |
| Trazione parallela                                 | $f_{t,0,k}$   | 16,5  | 19,5  | 22,5  | 26    | 14    | 16,5  | 19,5  | 22,5  |
| Trazione perpendicolare                            | $f_{t,90,k}$  | 0,40  | 0,45  | 0,50  | 0,60  | 0,35  | 0,40  | 0,45  | 0,50  |
| Compressione parallela                             | $f_{c,0,k}$   | 24    | 26,5  | 29    | 31    | 21    | 24    | 26,5  | 29    |
| Compressione perpendicolare                        | $f_{c,90,k}$  | 2,7   | 3,0   | 3,3   | 3,6   | 2,4   | 2,7   | 3,0   | 3,3   |
| Taglio   | $f_{v,k}$     | 2,7   | 3,2   | 3,8   | 4,3   | 2,2   | 2,7   | 3,2   | 3,8   |
| <i>Proprietà di rigidezza in kN/mm<sup>2</sup></i> |               |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Modulo di elasticità medio parallelo               | $E_{0,mean}$  | 11,6  | 12,6  | 13,7  | 14,7  | 11,6  | 12,6  | 13,7  | 14,7  |
| Modulo di elasticità parallelo                     | $E_k$         | 9,4   | 10,2  | 11,1  | 11,9  | 9,4   | 10,2  | 11,1  | 11,9  |
| Modulo di elasticità medio perp.                   | $E_{90,mean}$ | 0,39  | 0,42  | 0,46  | 0,49  | 0,32  | 0,39  | 0,42  | 0,46  |
| Modulo di taglio medio                             | $G_{mean}$    | 0,72  | 0,78  | 0,85  | 0,91  | 0,59  | 0,72  | 0,78  | 0,85  |
| <i>Massa volumica in kg/m<sup>3</sup></i>          |               |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Massa volumica                                     | $\rho_k$      | 380   | 410   | 430   | 450   | 350   | 380   | 410   | 430   |

# Caratteristiche meccaniche

Legno lamellare incollato - Corrispondenza Classi di resistenza

| Legno lamellare  | GL24h            | GL24c        | GL28h            | GL28c                      | GL32h            | GL32c                      | GL36h            | GL36c                      |
|--|------------------|--------------|------------------|----------------------------|------------------|----------------------------|------------------|----------------------------|
| Tavole componenti<br>(tra parentesi quelle<br>interne) | C24 <sup>1</sup> | C24<br>(C16) | C30 <sup>1</sup> | C30<br>(C24 <sup>2</sup> ) | C35 <sup>1</sup> | C35<br>(C24 <sup>2</sup> ) | C40 <sup>1</sup> | C40<br>(C35 <sup>2</sup> ) |
| Riferimento DIN<br>1052: '96                           | BS11             |              | BS14             |                            | BS16             |                            | BS18             |                            |

<sup>1</sup> È ammessa una quantità massima del 10% di tavole interne di classe inferiore (C16, C24, C24, C35 rispettivamente per le quattro classi GL24h, GL28h, GL32h, GL36h)

<sup>2</sup> È ammessa una quantità massima del 10% di tavole interne di classe inferiore (C16, C16, C24 rispettivamente per le classi GL28C, GL32c, GL36c)

# Caratteristiche meccaniche

## Legno lamellare incollato - Dimensioni

Larghezza della trave  $b$  (cm)  
8-10-12-14-16-18-20-22

Altezza della trave  $h$  (cm), da 2 a 66 lamelle da 33 mm

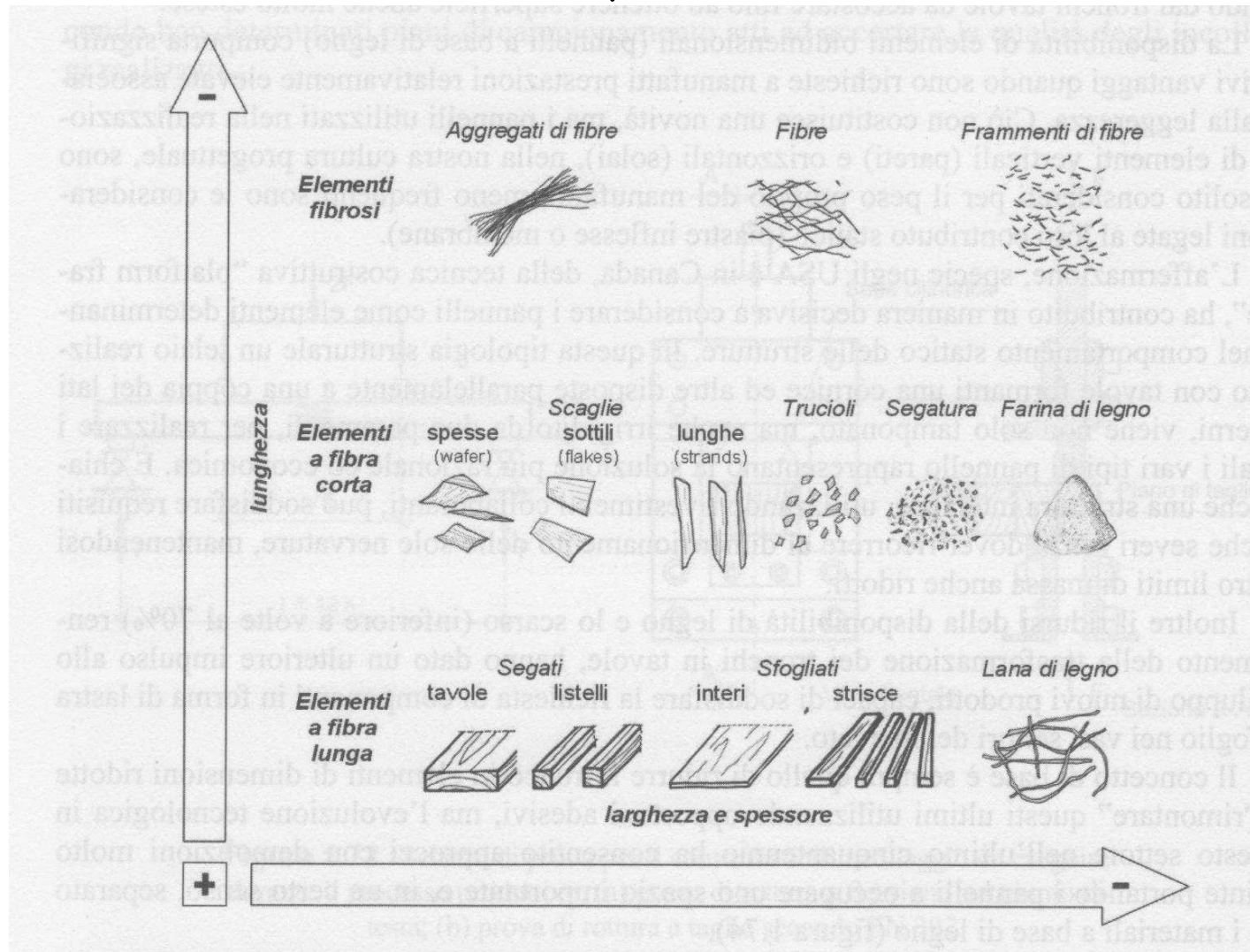
|      |      |       |       |       |       |
|------|------|-------|-------|-------|-------|
| –    | 39,7 | 76,9  | 113,7 | 150,6 | 187,4 |
| 6,2  | 43,1 | 80,2  | 117,1 | 153,9 | 190,8 |
| 9,6  | 46,4 | 83,6  | 120,4 | 157,3 | 194,1 |
| 12,9 | 50,1 | 86,9  | 123,8 | 160,6 | 197,5 |
| 16,3 | 53,4 | 90,3  | 127,1 | 164,0 | 200,8 |
| 19,6 | 56,8 | 93,6  | 130,5 | 167,3 | 204,2 |
| 23,0 | 60,1 | 97,0  | 133,8 | 170,7 | 207,5 |
| 26,3 | 63,5 | 100,3 | 137,2 | 174,0 | 210,9 |
| 29,7 | 66,8 | 103,7 | 140,5 | 177,4 | 214,2 |
| 33,0 | 70,2 | 107,0 | 143,9 | 180,7 | 217,6 |
| 36,4 | 73,5 | 110,4 | 147,2 | 184,1 | 220,9 |

Altezza della trave  $h$  (cm), da 3 a 50 lamelle 40 mm

|      |      |       |       |       |       |
|------|------|-------|-------|-------|-------|
| –    | 40,0 | 76,0  | 112,0 | 148,0 | 184,0 |
| –    | 44,0 | 80,0  | 116,0 | 152,0 | 188,0 |
| 12,0 | 48,0 | 84,0  | 120,0 | 156,0 | 192,0 |
| 16,0 | 52,0 | 88,0  | 124,0 | 160,0 | 196,0 |
| 20,0 | 56,0 | 92,0  | 128,0 | 164,0 | 200,0 |
| 24,0 | 60,0 | 96,0  | 132,0 | 168,0 | –     |
| 28,0 | 64,0 | 100,0 | 136,0 | 172,0 | –     |
| 32,0 | 68,0 | 104,0 | 140,0 | 176,0 | –     |
| 36,0 | 72,0 | 108,0 | 144,0 | 180,0 | –     |

# Caratteristiche meccaniche

## Altri prodotti



# Caratteristiche meccaniche

## Compensati

**Tabella 1.21** Classi di comportamento a flessione per i compensati (secondo EN 636)

| Resistenza a flessione $f_{m 0,5}$ |   | Modulo di elasticità a flessione $E_{m 0,5}$ |   |
|------------------------------------|---|--|---|
| Classe                             | Valore limite inferiore<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | Classe                                       | Valore limite inferiore<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
| f 3                                | 5   | E 5  | 500   |
| f 5                                | 8   | E 10   | 1.000   |
| f 10                               | 15  | E 15   | 1.500   |
| f 15                               | 23  | E 20   | 2.000   |
| f 20                               | 30  | E 25   | 2.500   |
| f 25                               | 38  | E 30   | 3.000   |
| f 30                               | 45  | E 40   | 4.000   |
| f 40                               | 60  | E 50   | 5.000   |
| f 50                               | 75  | E 60   | 6.000   |
| f 60                               | 90  | E 70   | 7.000   |
| f 70                               | 105   | E 80   | 8.000   |
| f 80                               | 120   | E 90   | 9.000   |



# Caratteristiche meccaniche

Materiali: definizioni del D.M. 14/01/2008

## 11.7.1.1 Proprietà dei materiali

Si definiscono valori caratteristici di resistenza di un tipo di legno i valori del frattile 5% della distribuzione delle resistenze, ottenuti sulla base dei risultati di prove sperimentali effettuate con una durata di 300 secondi su provini all'umidità di equilibrio del legno corrispondente alla temperatura di  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  ed umidità relativa dell'aria del  $65 \pm 5\%$ .

Per il modulo elastico, si fa riferimento sia ai valori caratteristici di modulo elastico corrispondenti al frattile 5% sia ai valori medi, ottenuti nelle stesse condizioni di prova sopra specificate.

Si definisce massa volumica caratteristica il valore del frattile 5% della relativa distribuzione con massa e volume misurati in condizioni di umidità di equilibrio del legno alla temperatura di  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  ed umidità relativa dell'aria del  $65 \pm 5\%$ .

Il progetto e la verifica di strutture realizzate con legno massiccio, lamellare o con prodotti per uso strutturale derivati dal legno, richiedono la conoscenza dei valori di resistenza, modulo elastico e massa volumica costituenti il profilo resistente, che deve comprendere almeno quanto riportato nella Tab. 11.7.I.

# Caratteristiche meccaniche

Materiali: definizioni del D.M. 14/01/2008

Tabella 11.7.I

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

\* La massa volumica media può non essere dichiarata.

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



# Metodi di Calcolo

## Introduzione

### Verifiche alle TA

| Metodo                        | Livello | Caratteristiche  | Fattore umano   |
|-------------------------------|---------|--|-----------------|
|                               | 0       |  |                 |
| Metodo dei valori estremi     | I       | R ed S sono considerate variabili aleatorie indipendenti | Non Considerato |
| Metodo dei funzionali estremi | II      |  |                 |
| Metodi esatti                 | III     | R ed S sono considerate variabili aleatorie dipendenti   | Considerato     |
|                               | IV      |  |                 |

### Verifiche agli stati limite

SLU

SLE

$$F_d = \gamma_{g1}G_k + \gamma_{g2}G_k' + \gamma_q Q_k + \sum_{i=2}^n \gamma_{q,i} \psi_{0,i} Q_k$$

# Metodi di Calcolo

Valori di calcolo della resistenza - Classi di durata del carico

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

*Durata dei carichi*

*Condizioni di umidità*

Classe di durata del carico

- Permanente (maggiore di 10 anni)
- Lunga durata (da 6 mesi a 10 anni)
- Media durata (da 1 settimana a 6 mesi)
- Breve durata (meno di una settimana)
- Istantaneo

- il peso proprio e i carichi non rimovibili durante il normale esercizio della struttura, appartengono alla classe di durata permanente;
- i carichi permanenti suscettibili di cambiamenti durante il normale esercizio della struttura e i carichi variabili relativi a magazzini e depositi, appartengono alla classe di lunga durata;
- i carichi variabili degli edifici, ad eccezione di quelli relativi a magazzini e depositi, appartengono alla classe di media durata;
- il sovraccarico da neve riferito al suolo  $q_{sk}$ , calcolato in uno specifico sito ad una certa altitudine, è da considerare in relazione alle caratteristiche del sito; (< 0 > 1000 m s.l.m.)
- l'azione del vento e le azioni eccezionali in genere, appartengono alla classe di durata istantanea.

# Metodi di Calcolo

Valori di calcolo della resistenza - Classi di servizio della struttura

Classe di servizio della  
struttura

**Classe di servizio 1:** umidità del materiale inferiore al 65% in equilibrio con ambiente a temperatura di 20°C

(elementi protetti dalle intemperie come quelli interni ad edifici in ambienti condizionati)

**Classe di servizio 2:** umidità del materiale inferiore al 85% in equilibrio con ambiente a temperatura di 20°C

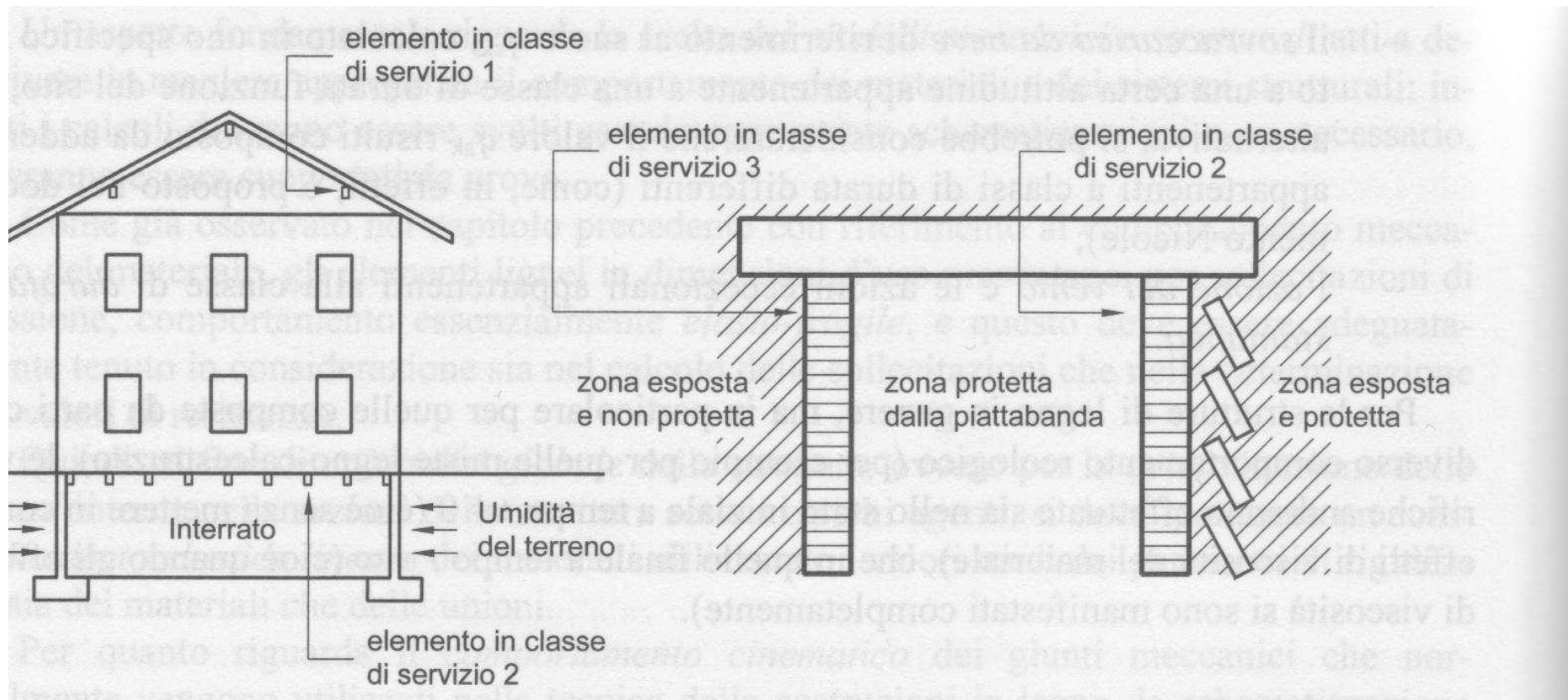
(elementi esterni ma protetti almeno parzialmente da intemperie ed irraggiamento diretto)

**Classe di servizio 3:** umidità del materiale maggiore al 85% in equilibrio con ambiente a temperatura di 20°C

(elementi esterni per i quali non siano rispettati i requisiti di protezione della classe 2)

# Metodi di Calcolo

Valori di calcolo della resistenza - Classi di servizio della struttura



# Metodi di Calcolo

Valori di calcolo della resistenza - Coeff. parziali di sicurezza

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

D.M. 14/01/2008

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



# Metodi di Calcolo

Valori di calcolo della resistenza - Valori di  $k_{mod}$

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

D.M. 14/01/2008

| Materiale                                    | Riferimento |               | Classe di servizio | Classe di durata del carico |       |       |       |            |
|--|-------------|---------------|--------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|------------|
|  |             |               |                    | Permanente                  | Lunga | Media | Breve | Istantanea |
| Legno massiccio<br>Legno lamellare incollato | EN 14081-1  |               | 1                  | 0,60                        | 0,70  | 0,80  | 0,90  | 1,00       |
|  | EN 14080    |               | 2                  | 0,60                        | 0,70  | 0,80  | 0,90  | 1,00       |
|  |             |               | 3                  | 0,50                        | 0,55  | 0,65  | 0,70  | 0,90       |
| Compensato                                   | EN 636      | Parti 1, 2, 3 | 1                  | 0,60                        | 0,70  | 0,80  | 0,90  | 1,00       |
|  |             | Parti 2, 3    | 2                  | 0,60                        | 0,70  | 0,80  | 0,90  | 1,00       |
|  |             | Parte 3       | 3                  | 0,50                        | 0,55  | 0,65  | 0,70  | 0,90       |
| Pannello di scaglie orientate (OSB)          | EN 300      | OSB/2         | 1                  | 0,30                        | 0,45  | 0,65  | 0,85  | 1,00       |
|  |             | OSB/3 - OSB/4 | 1                  | 0,40                        | 0,50  | 0,70  | 0,90  | 1,00       |
|  |             |               | 2                  | 0,30                        | 0,40  | 0,55  | 0,70  | 0,90       |

$k_{mod}$  è un coefficiente correttivo che tiene conto dell'effetto, sui parametri di resistenza, sia della durata del carico sia dell'umidità della struttura. I valori di  $k_{mod}$  sono forniti nella Tab. 4.4.IV. Se una combinazione di carico comprende azioni appartenenti a differenti classi di durata del carico si dovrà scegliere un valore di  $k_{mod}$  che corrisponde all'azione di minor durata.

# Metodi di Calcolo

| Materiale                                    | Riferimento            |                     | Classe di servizio | Classe di durata del carico |       |       |       |            |
|--|------------------------|---------------------|--------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|------------|
|  |                        |                     |                    | Permanente                  | Lunga | Media | Breve | Istantanea |
| Legno massiccio<br>Legno lamellare incollato | EN 14081-1<br>EN 14080 |                     | 1                  | 0,60                        | 0,70  | 0,80  | 0,90  | 1,00       |
|  |                        |                     | 2                  | 0,60                        | 0,70  | 0,80  | 0,90  | 1,00       |
|  |                        |                     | 3                  | 0,50                        | 0,55  | 0,65  | 0,70  | 0,90       |
| Compensato                                   | EN 636                 | Parti 1, 2, 3       | 1                  | 0,60                        | 0,70  | 0,80  | 0,90  | 1,00       |
|  |                        | Parti 2, 3          | 2                  | 0,60                        | 0,70  | 0,80  | 0,90  | 1,00       |
|  |                        | Parte 3             | 3                  | 0,50                        | 0,55  | 0,65  | 0,70  | 0,90       |
| Pannello di scaglie orientate (OSB)          | EN 300                 | OSB/2               | 1                  | 0,30                        | 0,45  | 0,65  | 0,85  | 1,00       |
|  |                        | OSB/3 - OSB/4       | 1                  | 0,40                        | 0,50  | 0,70  | 0,90  | 1,00       |
|  |                        |                     | 2                  | 0,30                        | 0,40  | 0,55  | 0,70  | 0,90       |
| Pannello di particelle (truciolare)          | EN 312                 | Parti 4, 5          | 1                  | 0,30                        | 0,45  | 0,65  | 0,85  | 1,00       |
|  |                        | Parte 5             | 2                  | 0,20                        | 0,30  | 0,45  | 0,60  | 0,80       |
|  |                        | Parti 6, 7          | 1                  | 0,40                        | 0,50  | 0,70  | 0,90  | 1,00       |
|  |                        | Parte 7             | 2                  | 0,30                        | 0,40  | 0,55  | 0,70  | 0,90       |
| Pannello di fibre, alta densità              | EN 622-2               | HB.LA, HB.HLA 1 o 2 | 1                  | 0,30                        | 0,45  | 0,65  | 0,85  | 1,00       |
|  |                        | HB.HLA 1 o 2        | 2                  | 0,20                        | 0,30  | 0,45  | 0,60  | 0,80       |
| Pannello di fibre, media densità (MDF)       | EN 622-3               | MBH.LA1 o 2         | 1                  | 0,20                        | 0,40  | 0,60  | 0,80  | 1,00       |
|  |                        | MBH.HLS1 o 2        | 1                  | 0,20                        | 0,40  | 0,60  | 0,80  | 1,00       |
|  |                        |                     | 2                  | -                           | -     | -     | 0,45  | 0,80       |
|  | EN 622-5               | MDF.LA, MDF.HLS     | 1                  | 0,20                        | 0,40  | 0,60  | 0,80  | 1,00       |
|  |                        | MDF.HLS             | 2                  | -                           | -     | -     | 0,45  | 0,80       |

# Metodi di Calcolo

## Valori di calcolo delle deformazioni

La deformazione a lungo termine può essere calcolata utilizzando i valori medi dei moduli elastici ridotti opportunamente mediante il fattore  $1/(1+k_{def})$ , per le membrature, e utilizzando un valore ridotto nello stesso modo del modulo di scorrimento dei collegamenti. Il coefficiente  $k_{def}$  tiene conto dell'aumento di deformabilità con il tempo causato dall'effetto combinato della viscosità e dell'umidità del materiale.

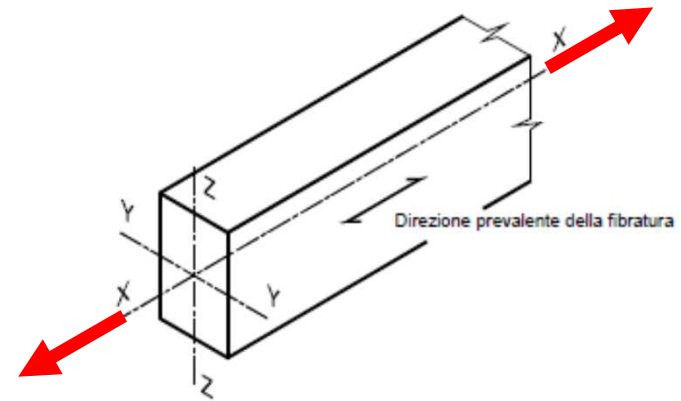
$$E_{\infty} = E_0 \cdot \frac{1}{1 + k_{def}}$$

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

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

# Verifiche

## Trazione parallela alla fibratura



Deve essere soddisfatta la seguente condizione:

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \quad (4.4.2)$$

dove:

$\sigma_{t,0,d}$  è la tensione di calcolo a trazione parallela alla fibratura calcolata sulla sezione netta;

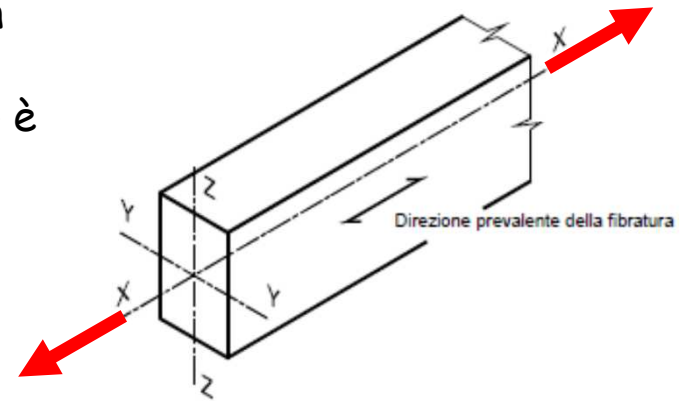
$f_{t,0,d}$  è la corrispondente resistenza di calcolo, determinata tenendo conto anche delle dimensioni della sezione trasversale mediante il coefficiente  $k_h$ , come definito al § 11.7.1.1.

Nelle giunzioni di estremità si dovrà tener conto dell'eventuale azione flettente indotta dall'eccentricità dell'azione di trazione attraverso il giunto: tali azioni secondarie potranno essere computate, in via approssimata, attraverso una opportuna riduzione della resistenza di calcolo a trazione.

# Verifiche

## Trazione parallela alla fibratura

Per tener conto dell'influenza dei eventuali difetti ed in particolare per considerare il fatto che la presenza di questi ultimi (aventi dimensioni caratteristiche fissate) è tanto meno probabile quando è più piccola la sezione dell'elemento si possono definire i seguenti fattori amplificativi della resistenza a trazione  $f_{t,0d}$ :



- Elementi in legno massiccio con larghezza di sezione tesa o altezza di sezione inflessa  $h < 150$

$$k_h = \min \left\{ \left( \frac{150}{h} \right)^{0.2} ; 1.3 \right\}$$

- Elementi in legno lamellare con larghezza di sezione tesa o altezza di sezione inflessa  $h < 600$

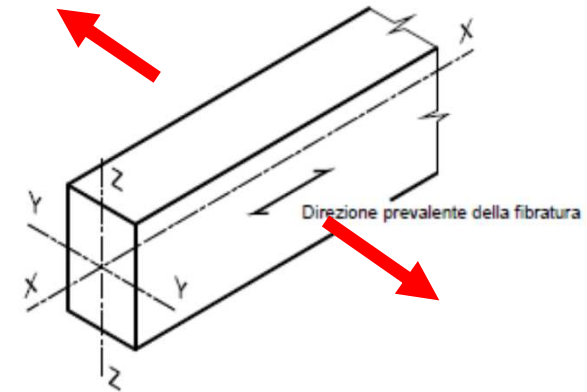
$$k_h = \min \left\{ \left( \frac{600}{h} \right)^{0.2} ; 1.15 \right\}$$

# Verifiche

## Trazione perpendicolare alla fibratura

Nella verifica degli elementi si dovrà opportunamente tener conto del volume effettivamente sollecitato a trazione. Per tale verifica si dovrà far riferimento a normative di comprovata validità.

Particolare attenzione dovrà essere posta nella verifica degli elementi soggetti a forze trasversali applicate in prossimità del bordo



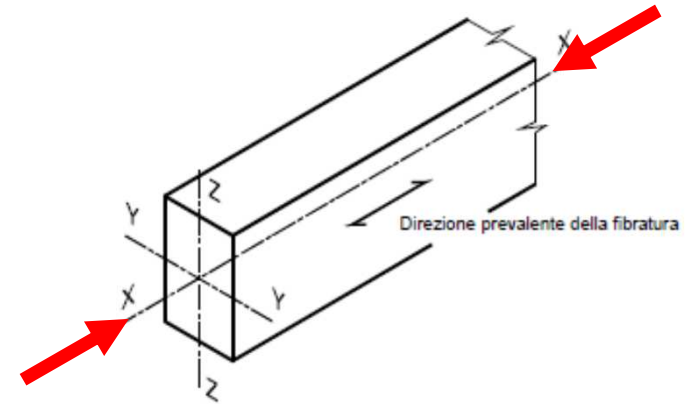
$$\sigma_{t,90,d} \leq f_{t,90,d} \cdot \left( \frac{V_0}{V} \right)^{0.2}$$

- $\sigma_{t,90,d}$  valore di calcolo della tensione di trazione ortogonale alla fibratura;
- $f_{t,90,d}$  valore di calcolo della resistenza di trazione ortogonale alla fibratura;
- $V_0$  volume di riferimento da assumere pari a  $0.01 \text{ m}^3$ ;
- $V$  volume uniformemente sollecitato.

# Verifiche

## Compressione parallela alla fibratura

$$\sigma_{c,0,d} \leq \frac{P_{Ed}}{b \cdot h}$$



Deve essere soddisfatta la seguente condizione:

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

dove:  $\sigma_{c,0,d}$  è la tensione di calcolo a compressione parallela alla fibratura;  
 $f_{c,0,d}$  è la corrispondente resistenza di calcolo.

Deve essere inoltre effettuata la verifica di instabilità per gli elementi compressi,

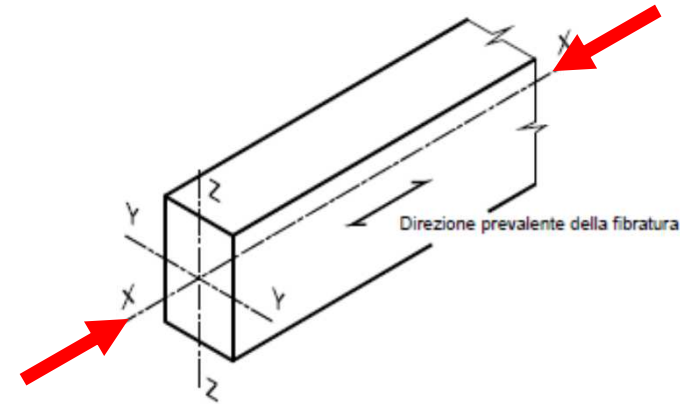
# Verifiche

## Compressione parallela alla fibratura

Deve essere soddisfatta la seguente condizione:

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

dove:  $\sigma_{c,90,d}$  è la tensione di calcolo a compressione ortogonale alla fibratura;  
 $f_{c,90,d}$  è la corrispondente resistenza di calcolo.



Nella valutazione di  $\sigma_{c,90,d}$  è possibile tenere conto della ripartizione del carico nella direzione della fibratura lungo l'altezza della sezione trasversale dell'elemento. È possibile, con riferimento a normative di comprovata validità, tener conto di una larghezza efficace maggiore di quella di carico.

### Documento NICoLe

#### Confinamento su due lati

$$l_{eff} = \min \left\{ l + \frac{h}{3}; 2l \right\}$$

- l impronta reale;
- h spessore dell'elemento.

#### Confinamento su un lato

$$l_{eff} = \min \left\{ l + \frac{h}{6}; 1.5 \cdot l \right\}$$



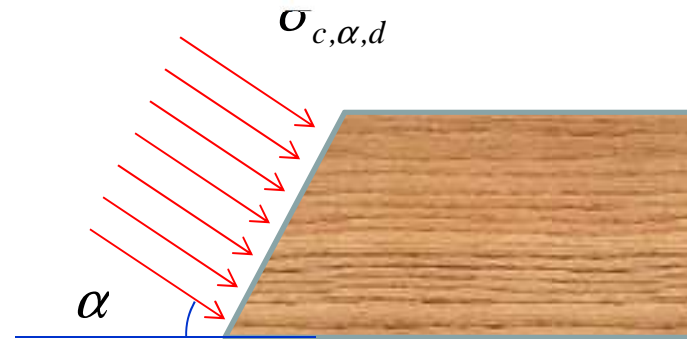
# Verifiche

## Compressione inclinata alla fibratura

Nel caso di tensioni di compressione agenti lungo una direzione inclinata rispetto alla fibratura si deve opportunamente tener conto della sua influenza sulla resistenza, con riferimento a normative di comprovata validità.

### Documento NICoLe

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



### DIN 1052-2004

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq k_{\alpha} f_{c,\alpha,d} \quad k_{\alpha} = 1 + (k_{c,90} - 1) \cdot \sin \alpha$$

Tipo di legno

Rapporti dimensionali

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{\sqrt{\left(\frac{f_{c,0,d}}{f_{c,90,d}} \cdot \sin^2 \alpha\right)^2 + \left(\frac{f_{c,0,d}}{1.5 \cdot f_{v,d}} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha\right)^2 + \cos^4 \alpha}}$$

# Verifiche

## Taglio

Deve essere soddisfatta la condizione:

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

dove:  $\tau_d$  è la tensione massima tangenziale di calcolo, valutata secondo la teoria di Jourawski;

$f_{v,d}$  è la corrispondente resistenza di calcolo a taglio.

Alle estremità della trave si potrà effettuare la verifica sopra indicata valutando in modo convenzionale  $\tau_d$ , considerando nullo, ai fini del calcolo dello sforzo di taglio di estremità, il

contributo di eventuali forze agenti all'interno del tratto di lunghezza pari all'altezza  $h$  della trave, misurato a partire dal bordo interno dell'appoggio, o all'altezza effettiva ridotta  $h_{eff}$  nel caso di travi con intagli.

### Sezioni rettangolari

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{A}$$

### Sezioni circolari

$$\tau_d = \frac{4}{3} \cdot \frac{V_{Ed}}{A}$$

### Tensioni tangenziali secondo due direzioni ortogonali

$$\tau_d = \sqrt{\tau_{y,d}^2 + \tau_{z,d}^2}$$

# Verifiche

## Torsione

Deve essere soddisfatta la condizione:

$$\tau_{tor,d} \leq k_{sh} f_{v,d},$$

dove:  $\tau_{tor,d}$  è la tensione massima tangenziale di calcolo per torsione;

$k_{sh}$  è un coefficiente che tiene conto della forma della sezione trasversale

$f_{v,d}$  è la resistenza di calcolo a taglio.

Per il coefficiente  $k_{sh}$  si possono assumere i valori:

$k_{sh} = 1,2$  per sezioni circolari piene;

$k_{sh} = 1 + 0,15 h/b \leq 2$  per sezioni rettangolari piene, di lati  $b$  e  $h$ ,  $b \leq h$ ;

$k_{sh} = 1$  per altri tipi di sezione.

$$\tau_{tor,d} = \frac{M_{tor,d}}{J_t} \cdot b \qquad J_t = \frac{b^3 h}{3 \cdot \left(1 + 0,6 \cdot \frac{b}{h}\right)}$$

Nel caso di torsione accompagnata da taglio si può eseguire una verifica combinata adottando la formula di interazione:

$$\frac{\tau_{tor,d}}{k_{sh} f_{v,d}} + \left(\frac{\tau_d}{f_{v,d}}\right)^2 \leq 1,$$

ove il significato dei simboli è quello riportato nei paragrafi corrispondenti alle verifiche a taglio e a torsione.

# Verifiche

## Flessione

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

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z}$$

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

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

$f_{m,y,d}$  e  $f_{m,z,d}$  sono le corrispondenti resistenze di calcolo a flessione, determinate tenendo conto anche delle dimensioni della sezione trasversale mediante il coefficiente  $k_h$

I valori da adottare per il coefficiente  $k_m$ , che tiene conto convenzionalmente della redistribuzione delle tensioni e della disomogeneità del materiale nella sezione trasversale, sono:

- $k_m = 0,7$  per sezioni trasversali rettangolari;
- $k_m = 1,0$  per altre sezioni trasversali.

Deve essere inoltre effettuata la verifica di instabilità allo svergolamento (flesso-torsionale) per gli elementi inflessi

# Verifiche

## Tenso-flessione

Nel caso di sforzo normale di trazione accompagnato da sollecitazioni di flessione attorno ai due assi principali dell'elemento strutturale, devono essere soddisfatte entrambe le seguenti condizioni:

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

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

I valori di  $k_m$  da utilizzare sono quelli riportati al § 4.4.8.1.6.

Deve essere inoltre effettuata la verifica di instabilità allo svergolamento (flesso-torsionale) per gli elementi inflessi.

# Verifiche

## Presso-flessione

Nel caso di sforzo normale di compressione accompagnato da sollecitazioni di flessione attorno ai due assi principali dell'elemento strutturale, devono essere soddisfatte entrambe le seguenti condizioni:

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

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

I valori di  $k_m$  da utilizzare sono quelli riportati al precedente § 4.4.8.1.6.

Devono essere inoltre effettuate le verifiche di instabilità

# Verifiche

## Stabilità

Oltre alle verifiche di resistenza devono essere eseguite le verifiche necessarie ad accertare la sicurezza della struttura o delle singole membrature nei confronti di possibili fenomeni di instabilità, quali lo svergolamento delle travi inflesse (instabilità flessione-torsionale) e lo sbandamento laterale degli elementi compressi o pressoinflessi.

Nella valutazione della sicurezza all'instabilità occorre tener conto, per il calcolo delle tensioni per flessione, anche della curvatura iniziale dell'elemento, dell'eccentricità del carico assiale e delle eventuali deformazioni (frecce o controfrecce) imposte.

Per queste verifiche si devono utilizzare i valori caratteristici al frattile 5% per i moduli elastici dei materiali.

# Verifiche

## Stabilità - Elementi inflessi

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit,m} f_{m,d}} \leq 1, \quad (4.4.11)$$

- $\sigma_{m,d}$  tensione di calcolo massima per flessione;
- $k_{crit,m}$  coefficiente riduttivo di tensione critica per instabilità di trave, per tener conto della riduzione di resistenza dovuta allo sbandamento laterale;
- $f_{m,d}$  resistenza di calcolo a flessione, determinata tenendo conto anche delle dimensioni della sezione trasversale mediante il coefficiente  $k_h$ .

Per travi aventi una deviazione laterale iniziale rispetto alla rettilineità nei limiti di accettabilità del prodotto, si possono assumere i seguenti valori del coefficiente di tensione critica  $k_{crit,m}$

$$k_{crit,m} = \begin{cases} 1 & \text{per } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m} & \text{per } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ 1/\lambda_{rel,m}^2 & \text{per } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases} \quad (4.4.12)$$

$\lambda_{rel,m} = \sqrt{f_{m,k} / \sigma_{m,crit}}$  snellezza relativa di trave;

$f_{m,k}$  resistenza caratteristica a flessione;

$\sigma_{m,crit}$  tensione critica per flessione calcolata secondo la teoria classica della stabilità, con i valori dei moduli elastici caratteristici (frattile 5%)  $E_{0,05}$ .



# Verifiche

## Stabilità - Elementi inflessi

Per travi aventi una deviazione laterale iniziale rispetto alla rettilineità nei limiti di accettabilità del prodotto, si possono assumere i seguenti valori del coefficiente di tensione critica  $k_{crit,m}$

$$k_{crit,m} = \begin{cases} 1 & \text{per } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m} & \text{per } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ 1/\lambda_{rel,m}^2 & \text{per } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases} \quad (4.4.12)$$

$\lambda_{rel,m} = \sqrt{f_{m,k} / \sigma_{m,crit}}$  snellezza relativa di trave;

$f_{m,k}$  resistenza caratteristica a flessione;

$\sigma_{m,crit}$  tensione critica per flessione calcolata secondo la teoria classica della stabilità, con i valori dei moduli elastici caratteristici (frattile 5%)  $E_{0,05}$ .

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{m,crit}}{W_y} = \frac{\pi/L_0}{W_y} \cdot \sqrt{GJ_t \cdot EI_z} \qquad \sigma_{m,crit} = \frac{\pi}{L_0} \cdot \frac{b^2}{h} \sqrt{G \cdot E}$$

**Formula di Prandtl-Michell**

# Verifiche

## Stabilità - Elementi compressi

Nel caso di asta soggetta solo a sforzo normale deve essere soddisfatta la condizione:

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{crit,c} f_{c,o,d}} \leq 1, \quad (4.4.13)$$

- $\sigma_{c,o,d}$  tensione di compressione di calcolo per sforzo normale;  
 $f_{c,o,d}$  resistenza di calcolo a compressione;  
 $k_{crit,c}$  coefficiente riduttivo di tensione critica per instabilità di colonna valutato per il piano in cui assume il valore minimo.

Il coefficiente riduttivo  $k_{crit,c}$  si calcola in funzione della snellezza relativa di colonna  $\lambda_{rel,c}$ , che vale:

$$\lambda_{rel,c} = \sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{\sigma_{c,crit}}} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}}, \quad (4.4.14)$$

- $f_{c,o,k}$  resistenza caratteristica a compressione parallela alla fibratura;  
 $\sigma_{c,crit}$  tensione critica calcolata secondo la teoria classica della stabilità, con i valori dei moduli elastici caratteristici (frattile 5%);  
 $\lambda$  snellezza dell'elemento strutturale valutata per il piano in cui essa assume il valore massimo.

# Verifiche

## Stabilità - Elementi compressi

Quando  $\lambda_{rel,c} \leq 0,3$  si deve porre  $k_{crit,c} = 1$ , altrimenti

$$k_{crit,c} = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel,c}^2}}, \quad (4.4.15)$$

con

$$k = 0,5 \left( 1 + \beta_c (\lambda_{rel,c} - 0,3) + \lambda_{rel,c}^2 \right) \quad (4.4.16)$$

$\beta_c$  coefficiente di imperfezione, che, se gli elementi rientrano nei limiti di rettilineità definiti al § 4.4.15, può assumere i seguenti valori:

- per legno massiccio  $\beta_c = 0,2$ ;
- per legno lamellare  $\beta_c = 0,1$ .