

05. CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE DEL LEGNO**MASSA VOLUMICA****Definizioni e unità di misura (valide per qualsiasi materiale):**

- **massa volumica $\rho = m/V$ (massa dell'unità di volume)**
 ?? sinonimo: densità
 ?? $1 \text{ g/cm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ kg/dm}^3$
- **peso volumico (*peso* dell'unità di volume)**
 ?? sinonimo: peso specifico assoluto (non usare!)
- **densità relativa ρ/ρ_{acqua}**
 ?? adimensionale

Per il legno**Quale volume?**

- **v. geometrico (=apparente) \neq massa volumica ρ**
- **v. delle pareti cellulari \neq massa volumica delle pareti cellulari**
 ρ_p allo stato anidro
 $\rho_p = 1530 \text{ kg/m}^3 = 1,53 \text{ g/cm}^3$
 costante (per qualsiasi specie legnosa)

Porosità:

- **rapporto fra cavità (lumi cellulari) e volume geometrico**
- **$z = V_{\text{cavità}} / V_{\text{geometrico}}$ %**
- **determina se un legno è più o meno leggero**
- **calcolo semplificato (allo stato anidro) porta a:**

$$z_0 = (1 - \rho_0 / 1530) \quad \%$$

Ad esempio (legno più leggero, medio e più pesante):

- **Balsa (*Ochroma* sp.) $\rho_0 = 50 \text{ kg/m}^3 \quad z_0 = 97\%$**
- **Abete bianco (*Abies alba*) $\rho_0 = 400 \text{ kg/m}^3 \quad z_0 = 74\%$**
- **Guaiaco (*Guaiacum officinale*) $\rho_0 = 1350 \text{ kg/m}^3 \quad z_0 = 12\%$**

Variatione di ? con l'umidità del legno

Al crescere di U cresce:

- la massa (sempre)
- il volume (soltanto fra 30% e zero)
- il loro rapporto ? (sempre, ma con tassi diversi > e < 30%)
- più il legno è umido, più è pesante

Per i già citati valori notevoli di U, la massa volumica risulta:

- **allo stato fresco:**
 - ?? più comodo per misurare il volume (costante)
 - ?? incertezza sull'umidità effettiva del legno
 - ?? valore importante per trasporto tronchi freschi
 - ~~☞~~ carico mezzi di trasporto
 - ~~☞~~ tronchi floater / sinker
- **a umidità normale:**
 - ?? condizione di riferimento, tabulata (valori confrontabili)
 - ?? occorre equilibrare il legno al 12% (lungo, delicato)
- **stato anidro**
 - ?? facile misurare il peso
 - ?? difficile misurare il volume
 - ~~☞~~ forma divenuta irregolare
 - ~~☞~~ non si può immergere in acqua senza assorbimento!
- **umidità commerciale (U~ 15%)**
 - ?? spesso usata per "legname stagionato all'aria"
 - ?? condizione poco definita, dipende da molti fattori
- **densità basale: $\rho_b = m_0 / V_f$**
 - ?? massa anidra / volume fresco
 - ?? condizioni di misura ben definite (ma non contemporaneamente!)
 - ?? esprime quanta "sostanza secca" è presente nel volume fresco
 - ?? usata nell'industria cartaria e nella ricerca
 - ?? numericamente è la più piccola di tutte le ?

Determinazione del volume dei provini:

- **se prismatici, col calibro**
- **se piatti, ma con sez. principale irregolare: misuro la superficie**
- **di qualsiasi forma (possibilmente freschi o imbibiti):**
 - ?? xilometro
 - ?? spinta di Archimede (capirla bene...)

Importanza della massa volumica:

- **fini pratici (peso, ecc.)**
- **fini cartari, pannelli, ecc.**
- **correlazione con caratteristiche meccaniche (durezza, resistenze, moduli elastici ...)**
- **nella selezione genetica: in passato è stata spesso considerata il principale parametro indicatore della qualità**

Cause della variabilità (CV= 10-15%):

- **specie legnosa**
- **nell'ambito di una stessa specie:**
 - ?? **provenienza geografica (fattori climatici, stagionali, ereditari...)**
 - ?? **stazione (fertilità del suolo, piovosità, esposizione ...)**
 - ?? **posizione sociale nel popolamento (forme di governo e trattamento, cure colturali ...)**
 - ?? **caratteri individuali (genotipo ...)**
- **nell'ambito di uno stesso individuo (tronco):**
 - ?? **proporzione tra legno primaticcio e tardivo**
 - ?? **ampiezza anelli accrescimento (influenza diversa per specie diverse!)**
 - ?? **presenza di estrattivi (durame in genere più denso)**
 - ?? **posizione nel tronco (alla base è più denso che al cimale)**
 - ?? **legno di reazione, l. giovanile ...**

**Intervalli indicativi dei valori medi tipici di ρ per legni italiani
(kg/m^3 , a umidità normale)**

Legni leggeri	$\rho = 300 - 500$	Abete bianco, A. rosso, Cirmolo, Pino insigne, Pino strobo, Gattice, Pioppi, Salici ...
Legni medi	$\rho = 500 - 700$	Cipresso, Larice, Pino silvestre, Aceri, Betulla, Castagno, Frassino, Ontano, Olmo, Platano, Tiglio ...
Legni pesanti	$\rho = 700 - 900$	Tasso, Carpini, Cerro, Faggio, Farnia, Robinia, Rovere ...
Legni molto pesanti	$\rho > 900$	Bosso, Leccio, Olivo, Sughera ...

CARATTERISTICHE MECCANICHE

Modalità con cui reagisce a sollecitazioni (forze, coppie...) applicate:

- **deformabilità**
 - ?? istantanea
 - ?? nel tempo (↗ viscoelasticità, reologia)
- **resistenza**

N.B. (come per altre proprietà) per le CM il legno è:

- **anisotropo**
- **non omogeneo**
- **influenzato da T e UR**

Definizioni e unità di misura (valide per qualsiasi materiale):

- **forze (Newton: $1\text{N} \sim 0,1\text{kp}$)**
- **vincoli, reazioni vincolari, equilibrio statico**
- **sollecitazioni esterne ↗ tensioni interne ↗ deformazioni**
- **tensione = forza / area (Pascal: $1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$)**
 $1\text{Mpa} = 1\text{N/mm}^2 = 1\text{MN/m}^2 \sim 10\text{kp/cm}^2$

Tensioni:

- **normali** s
 - ?? trazione (+)
 - ?? compressione (-)
- **tangenziali** t

Cenni sullo studio della distribuzione delle tensioni nei solidi:

- **taglio (idealmente, opportunamente) il solido**
- **identifico quali tensioni fanno equilibrio alle sollecitazioni esterne**

Esempio di s e t in:

- **pilastro compresso**
- **trave inflessa**
- **asta sottoposta a torsione**

Calcolo delle relazioni fra sollecitazioni e tensioni (Ingegneri!):

- progettazione
- verifica

Caratterizzazione di un materiale:

- in laboratorio ~~≠~~ sollecitazioni semplici, ben identificabili
- macchine prova materiali, più o meno:
 - ?? versatili (molte sollecitazioni, tipi di prova, accessori)
 - ?? complesse (comando, applicazione forza, controllo, misura)
 - ?? capaci (forza massima esercitabile)
 - ?? precise (risoluzione, accuratezza)

((Noi abbiamo:

- Amsler universale “d’antiquariato” (4 tonn. = 40 KN)
- Metro-Com “su misura” (20 tonn. = 200 KN)
- Pressa da officina, strumentata (100 tonn. = 1 MN)))

Diagramma tensioni-deformazioni (per legno, longitudinale)

- caso semplice: compressione assiale
- provino parallelepipedo, piccolo, netto
- fra i piatti di macchina prova-materiali
- misuro (spesso) forza applicata e conseguente accorciamento
- calcolo (dopo)
 - ?? tensione s (nella sezione retta)
 - ?? accorciamento relativo e
- traccio il diagramma s - e
 - ?? tratto rettilineo (legge di Hooke; il modulo E di Young rappresenta l’inclinazione di questo tratto)
 - ?? limite di proporzionalità
 - ?? limite di elasticità (deformazioni permanenti)
 - ?? limite di plasticità
 - ?? rottura ~~≠~~ valore di rottura = resistenza

In compressione trasversale:

- ?? diagramma analogo
- ?? andamento e valori assai diversi (elevate deformazioni, E molto più piccolo, manca punto di rottura ben definito)

Esempi numerici

Studio delle Caratteristiche Meccaniche del legno:

- prove con sollecitazioni “pure”
- condizioni T e UR ben definite
- modalità e durata della prova ben definite
- norme tecniche (“metodologiche”)

Obiettivi delle prove (esempi):

- caratterizzazione del materiale \simeq provini piccoli e netti
?? (p.es. prodotto da una specie, provenienza, trattamento, parte di fusto, influenza dello spessore anelli, ecc.)
- determinazione della “qualità resistente” \simeq legname in dimensione d’uso
?? p.es. dopo avere classificato i segati, per determinare i “valori minimi garantiti” (\sim per ricavare le “tensioni ammissibili”)

Caratterizzazione del legno netto:

- legno condizionato al 12%
- provini e metodi di prova unificati
- vari tipi di prova, per evidenziare specifiche proprietà:
?? carico di rottura (s e/o t , e/o modulo elastico)
 - \simeq compressione assiale
 - \simeq compressione trasversale
 - \simeq trazione assiale
 - \simeq trazione trasversale
 - \simeq flessione statica
 - \simeq taglio
- ?? valori legati al metodo di prova
 - \simeq fissilità*
 - \simeq durezza (Janka, Brinell, Chalais-Meudon,...)
 - \simeq impronta (prova del tacco a spillo)
 - \simeq resilienza (flessione dinamica, pendolo di Charpy)

*** Casi pratici in cui si manifesta la fissilità (longitudinale) del legno:**

- pezzo di legno che si spacca se piantiamo un grosso chiodo
- ciocco di legno per fuoco, spaccato piantandovi l’ascia
- riduzione di tronchetti in tavole mediante spacco (per scandole, doghe da botte, tavole armoniche di violini...)

Fattori che influenzano la resistenza del legno:

- **per uno stesso provino (o segato)**
 - ?? temperatura
 - ?? durata del carico
 - ?? umidità del legno (coefficienti correttivi)
- **per provini (o segati) diversi**
 - ?? specie legnosa
 - ?? massa volumica
 - ?? spessore anelli
 - ?? anomalie e difetti (nodi, fibratura,...)
 - ?? alterazioni (funghi, insetti,...)

Entità delle principali proprietà meccaniche (ordine di grandezza, campi di variazione)**Resistenza del legno in dimensioni strutturali**

- **prove eseguite su segati in dimensione d'impiego**
- **popolazione statistica di riferimento:**
 - ?? non più la specie legnosa
 - ?? ma il tipo di legname (specie+provenienza+"qualità resistente")
- **valori risultanti:**
 - ?? non più valore medio e scarto-tipo
 - ?? ma il valore caratteristico ("minimo garantito": 5° percentile)
- **qualità resistente:**
 - ?? scelta (classificazione) pezzo per pezzo (a vista, a macchina)
 - ?? in base a ben precise regole (norme)

INFLUENZA DEL TEMPO

(comportamento reologico, dal greco “rhein” = scorrere)

Finora non è stato considerato il trascorrere del tempo, che invece influisce notevolmente:

- sulle deformazioni prodotte dai carichi
- sui valori di rottura

N.B. Questo NON significa che con l'invecchiamento la resistenza del legno diminuisca (antiche strutture, vecchie di secoli, perfettamente efficienti: solai e capriate di case, chiese, palazzi, templi orientali...): si ha diminuzione soltanto se il legno è stato degradato da attacchi di xilofagi, da agenti abiotici, o da carichi eccessivi.

Particolarmente importanti per il legno: lo scorrimento viscoso e lo scorrimento meccano-sorbitivo.

Scorrimento viscoso (si manifesta anche in altri materiali):

- le deformazioni sotto carico aumentano col trascorrere del tempo
- quando il carico rimane applicato per tempi lunghi (ore, giorni, mesi, anni...), la rottura avviene per carichi più piccoli rispetto alla resistenza che si determinerebbe con prove di breve durata (standard: 3 minuti) [tipicamente: dopo 50 anni, rottura avviene per carichi pari al 60% del carico di rottura a breve durata]
- deformazioni (vedere diagramma in funzione del tempo):
 - applicando il carico: *deformazione istantanea*
 - mantenendo a lungo il carico: *deformazione differita* (a seconda dell'entità del carico, può sfociare nella rottura)
 - togliendo il carico: *recupero istantaneo*
 - lasciando senza carico: *recupero differito*
 - può rimanere una *deformazione residua* (non recuperabile)

Scorrimento meccano-sorbitivo (caratteristico del legno):

- la deformazione *sotto carico* viene notevolmente incrementata se *varia l'umidità* (dell'ambiente, che fa variare quella del legno)
- tale deformazione può quindi aumentare di molto, rispetto al semplice scorrimento viscoso, in ambienti con clima ciclicamente variabile (giorno/notte, periodi pioggia/secco, stagioni...)