

LA PROGETTAZIONE DELLE STRUTTURE IN LEGNO

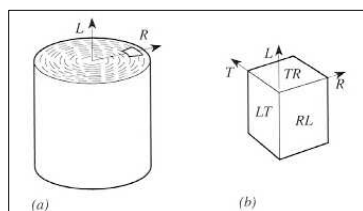
Parte 2: LE CARATTERISTICHE MECCANICHE DEL LEGNO



Prof. Ing. Bruno Calderoni - D.I.ST. – Università di Napoli Federico II

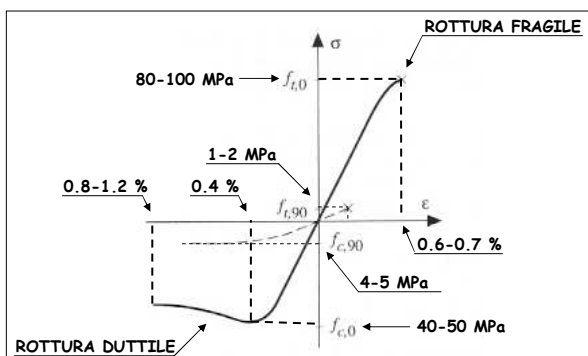
1/42

Le caratteristiche meccaniche del legno



Anisotropia del legno Definizione degli assi principali

Per la resistenza si considerano
solo 2 direzioni di sollecitazione:
-parallela alla fibratura (L)
-ortogonale alla fibratura (R=T)



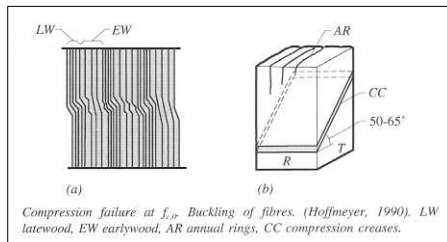
Legno NETTO
sollecitato a
trazione e
compressione

—————
parallela alla fibratura

- - - - -
ortogonale alla fibratura

2/42

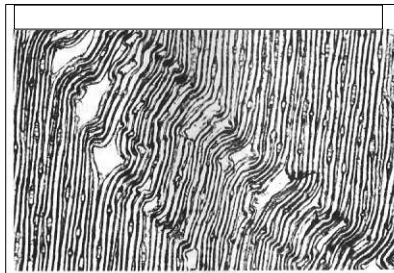
Le caratteristiche meccaniche del legno



La rottura a compressione parallela alla fibratura

Le fibre si plasticizzano progressivamente fino all'instabilizzazione

La rottura avviene lungo direzioni inclinate (piani di clivaggio)



Microfotografia ($\times 35$) dell'inizio di rottura per compressione assiale in un provino di Abete bianco (Foto Giordano, 1970).

3/42

Le caratteristiche meccaniche del legno

La rottura a compressione di provini di legno netto

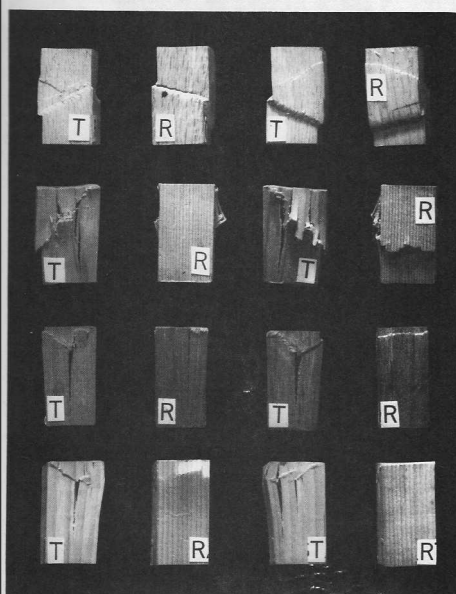
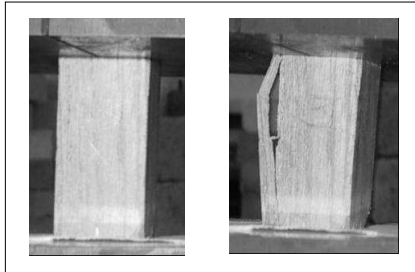


Fig. 2.13 Deformazioni di rottura apparenti sulle quattro facce di provini di dimensioni UNI ($2 \times 2 \times 4$ cm) condizionati ad umidità normale e sollecitati a compressione assiale: le lettere T ed R indicano rispettivamente le facce tangenziali e quelle radiali. Specie legnose (dall'alto verso il basso): 1° fila Rovere, 2° fila Larice, 3° fila Robinia, 4° fila Abete rosso (Foto Giordano, 1989).

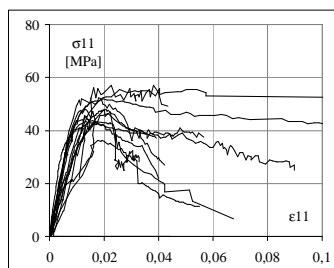
4/42

Le caratteristiche meccaniche del legno

La prova a compressione assiale parallela alla fibratura



Il provino prima e dopo la prova

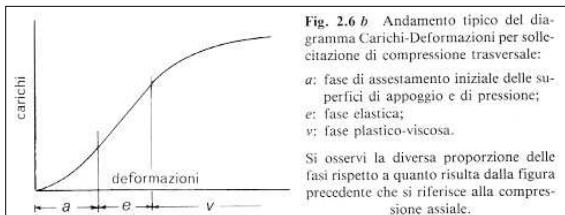


Il diagramma σ - ϵ sperimentale

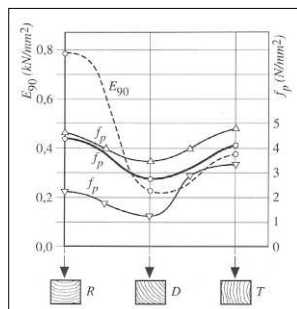
5/42

Le caratteristiche meccaniche del legno

La compressione ortogonale alla fibratura (trasversale)



Il comportamento è di tipo elasto-plastico viscoso



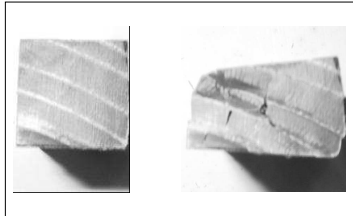
Il comportamento è diverso in direzione radiale e tangenziale

La resistenza è minima in direzione diagonale

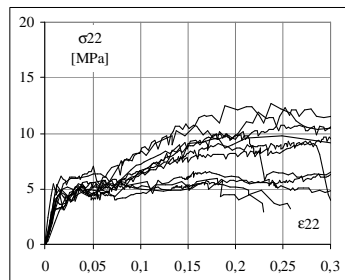
6/42

Le caratteristiche meccaniche del legno

La prova a **compressione** assiale ortogonale alla **fibratura** in direzione **radiale**



Il provino prima e dopo la prova

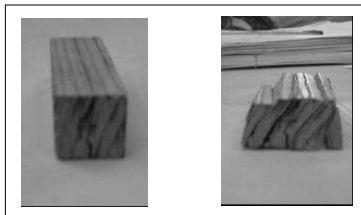


Il diagramma σ - ϵ sperimentale

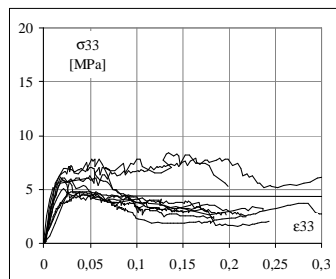
7/42

Le caratteristiche meccaniche del legno

La prova a **compressione** assiale ortogonale alla **fibratura** in direzione **tangenziale**

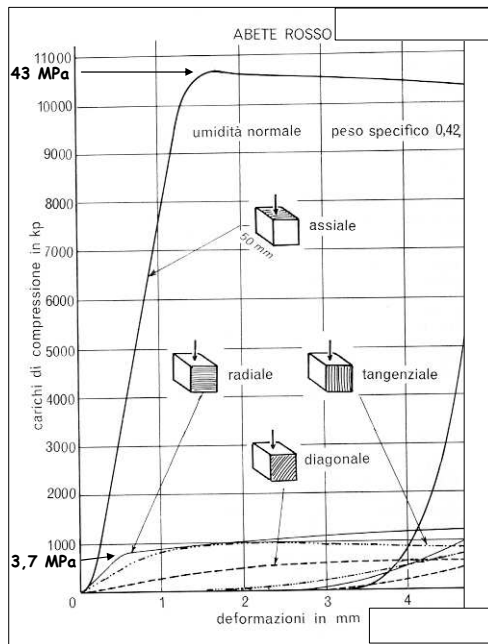


Il provino prima e dopo la prova



Il diagramma σ - ϵ sperimentale

8/42



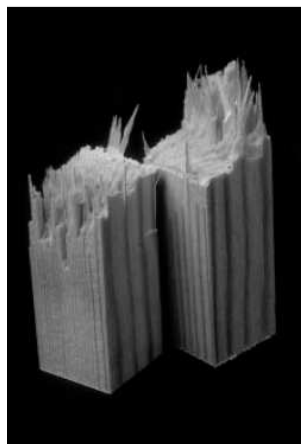
Le caratteristiche
meccaniche del
legno

Il comportamento a
compressione al
variare della
direzione del carico

9/42

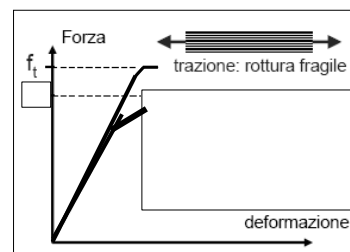
Le caratteristiche meccaniche del legno

La rottura a trazione parallela alla fibratura



Il provino di legno
netto dopo la prova

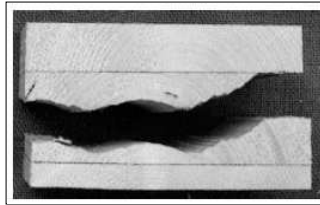
Il diagramma σ - ϵ
sperimentale



10/42

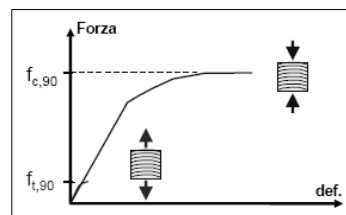
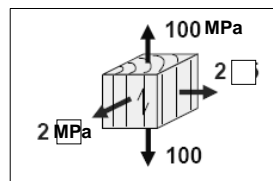
Le caratteristiche meccaniche del legno

La trazione ortogonale alla fibratura (trasversale)



Il provino di legno
netto dopo la prova

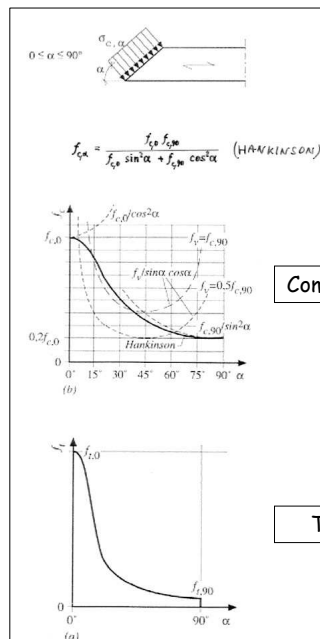
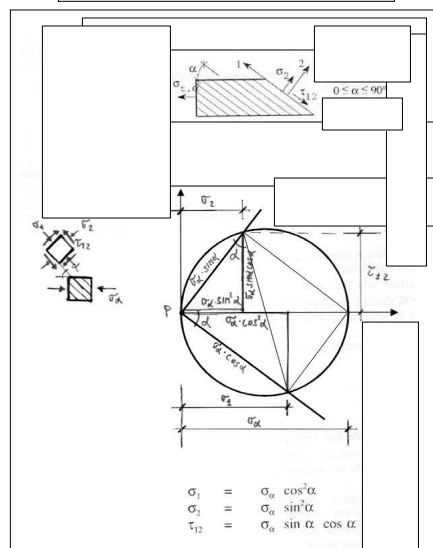
La rottura è fragile ed
improvvisa con valori molto
bassi di resistenza



11/42

Il carico inclinato rispetto alla fibratura

Il cerchio di Mohr e la curva di Hankinson



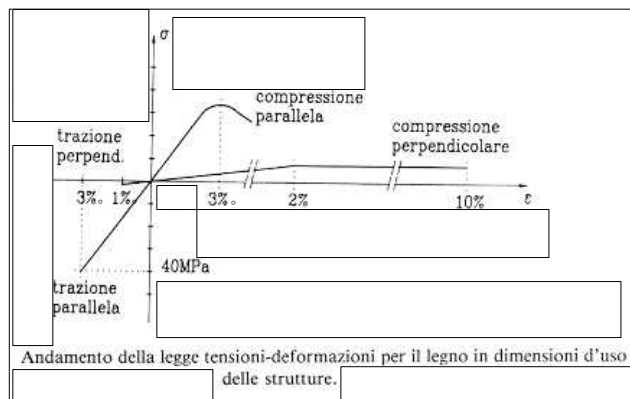
Compressione

Trazione

12/42

Le caratteristiche meccaniche del legno

Legno STRUTTURALE sollecitato a trazione e compressione

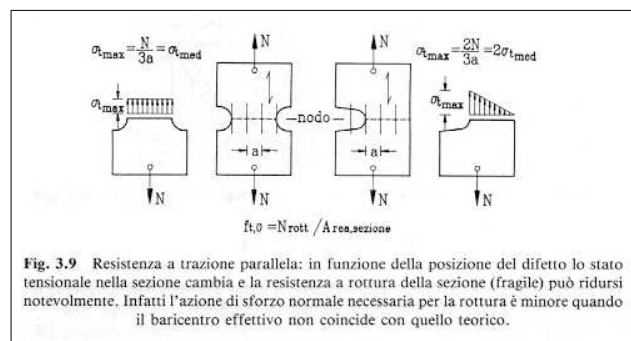


13/42

Le caratteristiche meccaniche del legno

Legno STRUTTURALE sollecitato a trazione parallela alle fibre

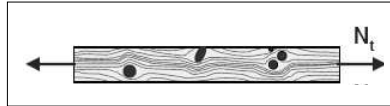
L'influenza dei difetti sulla resistenza a trazione



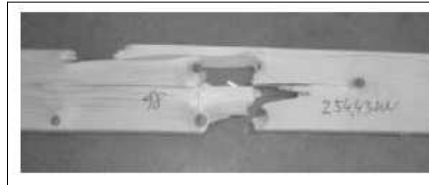
14/42

Le caratteristiche meccaniche del legno

Legno STRUTTURALE sollecitato a trazione parallela alle fibre



La rottura a trazione
(fragile) avviene sempre in
corrispondenza dei difetti



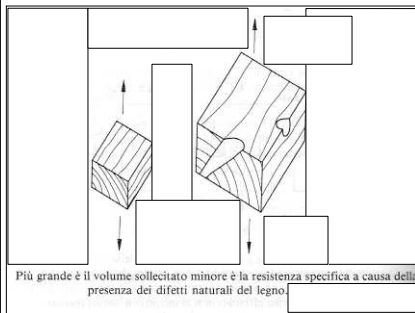
15/42

Le caratteristiche meccaniche del legno

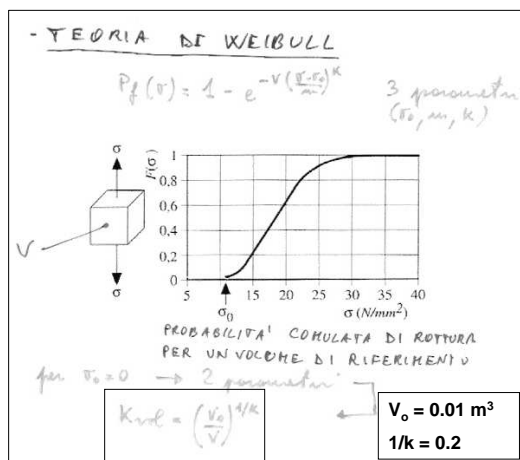
Legno STRUTTURALE sollecitato a trazione ortogonale alle fibre

L'influenza dei difetti sulla resistenza a trazione ortogonale

L'EFFETTO VOLUME



Più grande è il volume sollecitato minore è la resistenza specifica a causa della presenza dei difetti naturali del legno.

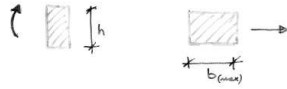


16/42

- EFFETTO DIMENSIONE

PER LA FLESSIONE E LA TRAZIONE PARALLELA

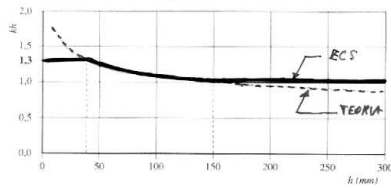
$$h_{ref} (o b_{ref}) = \begin{cases} 150 \text{ mm} & \text{legno massiccio} \\ 600 \text{ mm} & \text{legno lamellare} \end{cases}$$



$$\bullet \text{ se } h < h_{ref} \text{ (o } b < b_{ref}) < \begin{cases} f_{t,y,z,k} = f_{t,y,z} \cdot K_{tr} \\ f_{t,y,z,k} = f_{t,y,z} \cdot K_{tr} \end{cases}$$

$$K_{tr} = \min \left\{ \left(\frac{150}{h} \right)^{0,2}, 1,3 \right\}$$

$$K_{tr} = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0,4}, 1,4 \right\}$$



ECS size factor for solid timber in bending or tension (solid line), related to theory (dashed line).

Le caratteristiche meccaniche del legno

Legno STRUTTURALE

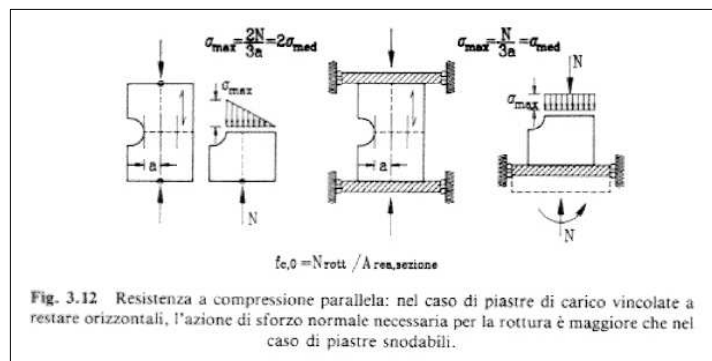
Trazione e flessione parallele alla fibratura

17/42

Le caratteristiche meccaniche del legno

Legno STRUTTURALE sollecitato a compressione parallela alle fibre

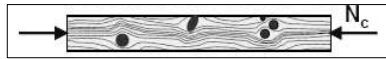
L'influenza dei difetti e delle modalità di prova sulla resistenza a compressione parallela alla fibratura



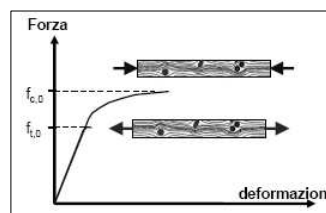
18/42

Le caratteristiche meccaniche del legno

Legno STRUTTURALE sollecitato a compressione parallela alle fibre



La rottura a compressione non è influenzata in modo determinante dai difetti

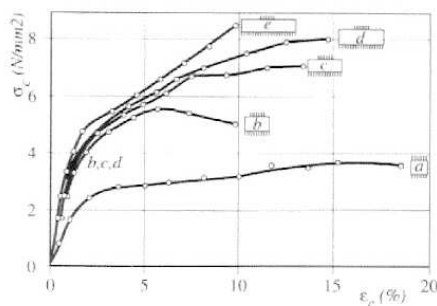


19/42

Le caratteristiche meccaniche del legno

Legno STRUTTURALE sollecitato a compressione ortogonale alle fibre

L'influenza della larghezza della zona caricata - Carichi concentrati



Applied stress perpendicular to the grain vs. vertical compressive strain from tests on timber $15 \times 15 \text{ cm}^2$. Suenson (1938).

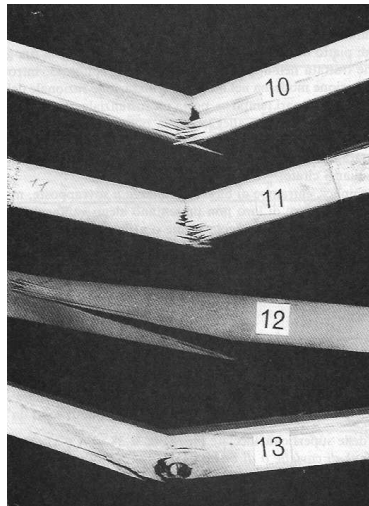
$$\sigma_{c,90} \leq K_{c,90} \cdot f_{c,90}$$

↳ coefficiente incrementativo

20/42

Le caratteristiche meccaniche del legno

La resistenza a flessione

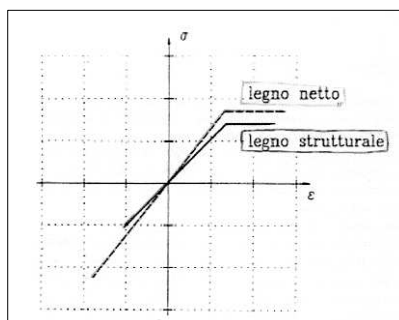


La rottura a flessione di provini in legno di buona qualità (I e II) e con difetti (III e IV)

21/42

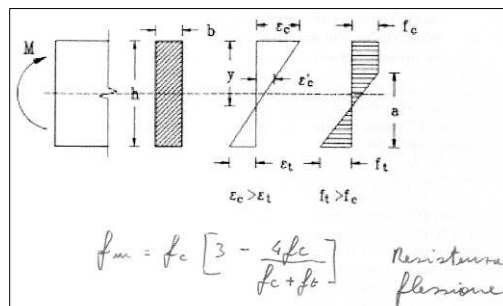
Le caratteristiche meccaniche del legno

La resistenza a flessione



Il diagramma tens.-deform. idealizzato per legno netto e legno strutturale

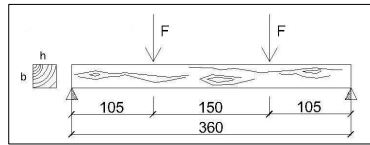
La distribuzione delle tensioni a rottura nel legno NETTO
Il comportamento è duttile



22/42

Prove di rottura a flessione su provini di legno NETTO

Lo schema della prova

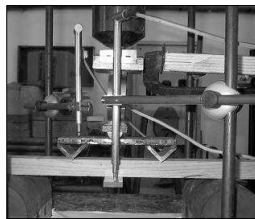


Le dimensioni dei provini

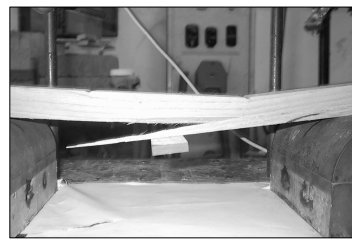
Table 2. Main dimensions of tested specimens.

Specimen	span L [mm]	cross section		loading scheme
		width b [cm]	depth h [cm]	
A	360	3,08	2,88	a
B	300	3,00	3,10	b
C	300	2,48	2,50	b

L'elemento ligneo prima della prova



La rottura del provino in zona tesa



23/42

Prove di rottura a flessione su provini di legno NETTO

La determinazione della resistenza a trazione e delle ϵ di rottura a trazione e a compressione

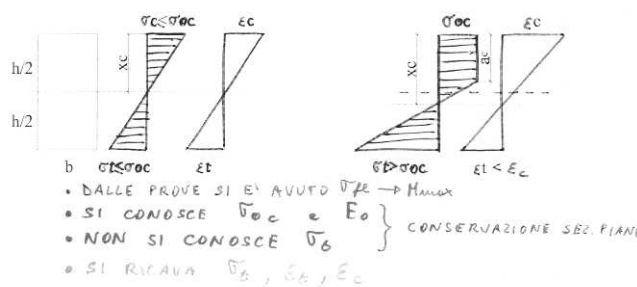


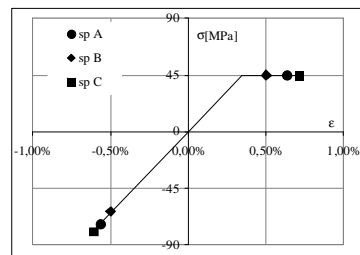
Table 3. Main values of stress and strain in the mid-span cross section.

Specimen	M_{max} [kNm]	$\sigma_{fl,el}$ [MPa]	σ_t [MPa]	ϵ_t [%]	ϵ_c [%]	E_0 [MPa]	σ_c [MPa]
A	28.30	66.45	73.20	0.56	0.63	13000	45,0
B	28.95	60.20	63.40	0.49	0.52	15000	45,0
C	17.45	69.80	79.20	0.61	0.71	15000	45,0

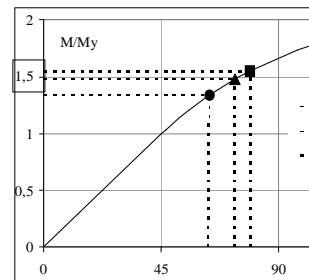
24/42

Prove di rottura a flessione su provini di legno NETTO

Il diagramma σ - ϵ
teorico-sperimentale



Il coefficiente di forma.
Incremento di resistenza
per effetto della
plasticizzazione



$$M_y = M (\sigma_c = \sigma_{c0} = 45 \text{ MPa})$$

25/42

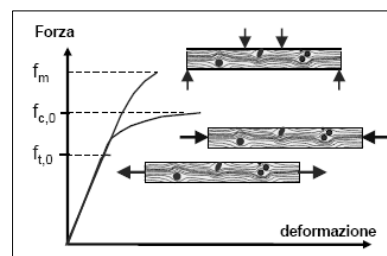
La resistenza a flessione di elementi in
legno STRUTTURALE (in dimensioni d'uso)

La rottura a flessione è di tipo fragile e avviene di regola
dal lato della parte tesa



I difetti influenzano in modo
diverso le varie resistenze

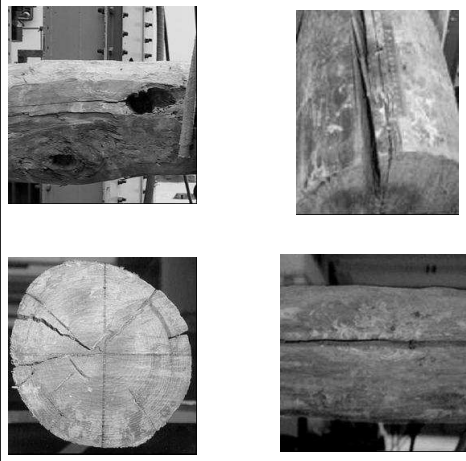
La resistenza a flessione
 $f_m = M/W$
è in genere \geq di quella a
compressione



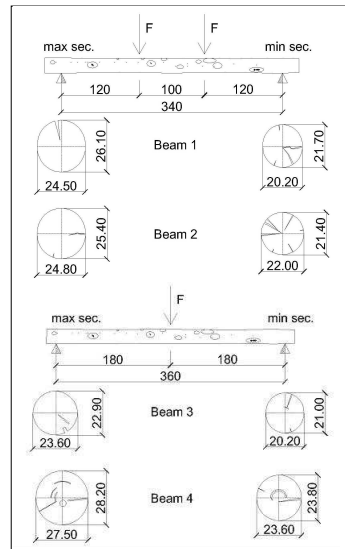
26/42

Prove a flessione su travi REALI di castagno

I difetti tipici



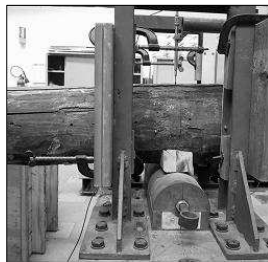
Gli schemi delle prove



27/42

Prove a flessione su travi REALI di castagno

Dettagli delle travi prima della prova



Il sistema di appoggio a cerniera



Le zone di applicazione dei carichi



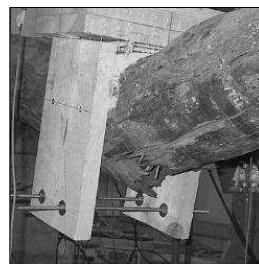
28/42

Prove a flessione su travi REALI di castagno

Le modalità di rottura



La rottura a
flessione

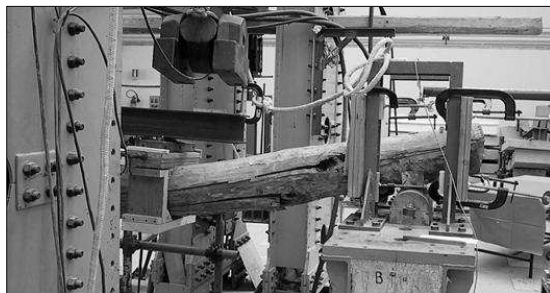


29/42

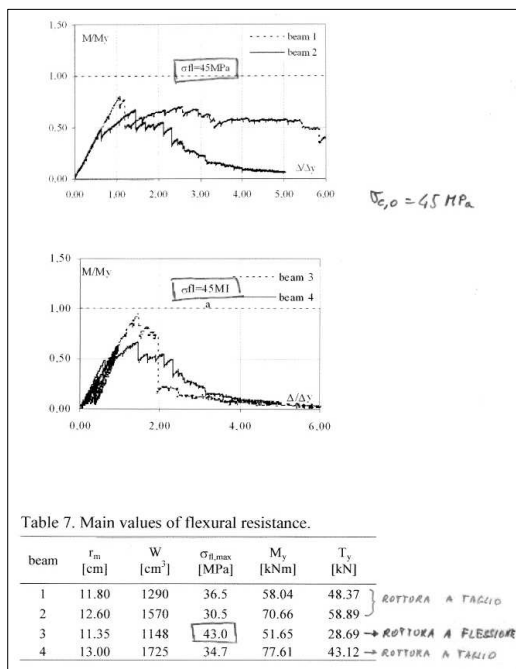
Prove a flessione su travi REALI di castagno

Le modalità di rottura

La rottura a
taglio



30/42



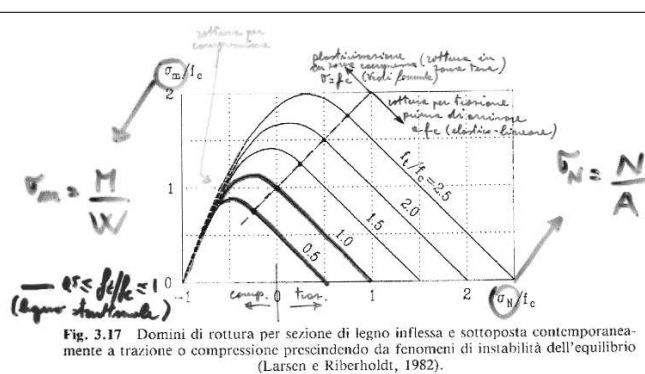
Prove a flessione
su travi REALI di
castagno

I risultati

I diagrammi
 $M/M_y - \Delta/\Delta_y$

Le tensioni di
flessione a rottura

31/42



Le
caratteristiche
meccaniche del
legno

La resistenza a
flessione
composta

Il dominio di
resistenza

$$f_m = \frac{3(\sigma_N + f_c) - 4(\sigma_N + f_c)^2}{(f_c + f_c)}$$

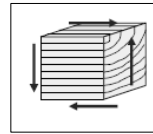
32/42

Le caratteristiche meccaniche del legno

La resistenza a taglio in direzione parallela alla fibratura



La rottura a taglio è in genere di tipo fragile



Non si formano lesioni diagonali

La rottura avviene per scorrimento in corrispondenza degli anelli di accrescimento

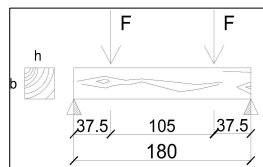
33/42

Le caratteristiche meccaniche del legno

La resistenza a taglio

Prove di rottura a taglio su provini di legno NETTO

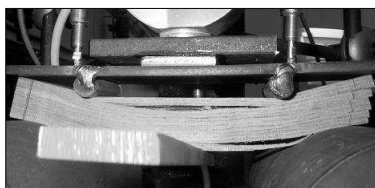
Lo schema della prova



Le dimensioni dei provini

Table 4. Main dimensions of tested specimens.

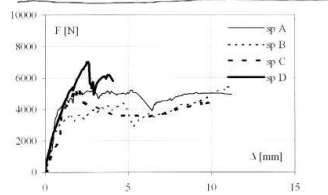
Specimen	span L [mm]	cross section	
		width b [cm]	depth h [cm]
A	180	2.37	2.40
B	180	2.40	2.40
C	180	2.38	2.40
D	180	2.30	2.40



La rottura del provino a taglio con scorrimento

34/42

DIAGRAMMI F-Δ - RILEVATI



DIAGRAMMI ADIMENSIONALI M/My - Δ

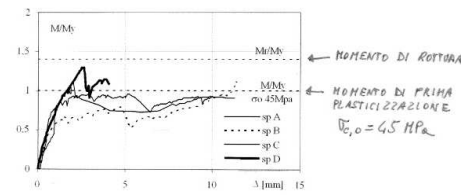


Table 5. Maximum shear force and corresponding maximum tangential stress in the cross-section.

Specimen	T_{max} [kN]	τ_{max} [MPa]
A	2.63	6.90
B	2.20	5.70
C	2.74	7.80
D	3.52	9.35

$$\tau_{med} = 7.44$$

Prove a taglio su
provini di legno
NETTO

I risultati

I diagrammi
 $M/My - D$

Le tensioni di taglio
a rottura

35/42

Le caratteristiche meccaniche del legno

La resistenza a taglio per il legno STRUTTURALE

L'influenza dei difetti sulla resistenza a taglio

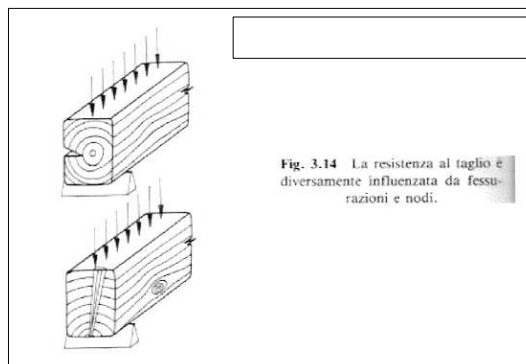


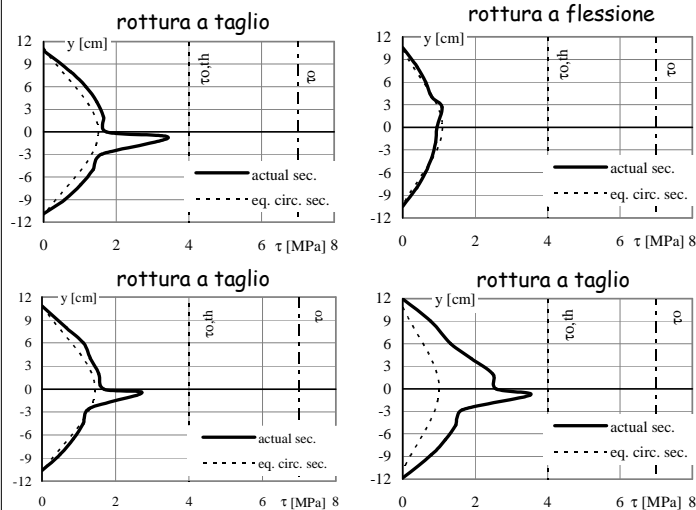
Fig. 3.14 La resistenza al taglio è diversamente influenzata da fessurazioni e nodi.

36/42

Le caratteristiche meccaniche del legno

La resistenza a taglio per legno STRUTTURALE

I diagrammi delle τ nelle travi reali



τ_0 = resistenza a taglio per legno NETTO

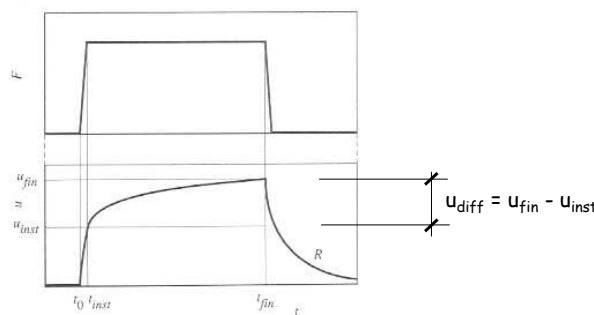
$\tau_{0,th}$ = resistenza a taglio per legno STRUTTURALE

37/42

Le caratteristiche meccaniche del legno

Il comportamento deformativo

IL CREEP nel legno



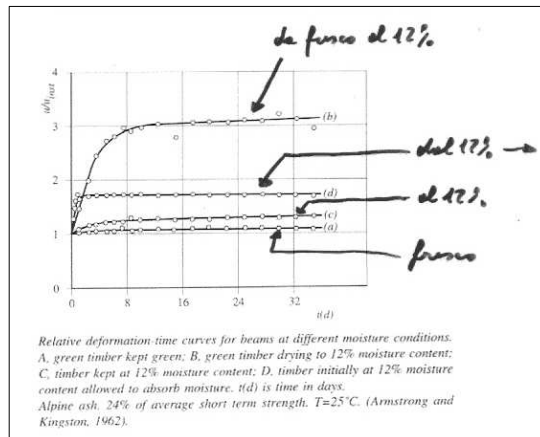
A schematic representation of viscoelastic behaviour of a material. u is the deformation, F the load and t the time. Creep at time t_{fin} is $u_{fin} - u_{inst}$. R is the recovery.

38/42

Le caratteristiche meccaniche del legno

Il comportamento deformativo

I fattori che influenzano il CREEP del legno



L'umidità e le variazioni di umidità

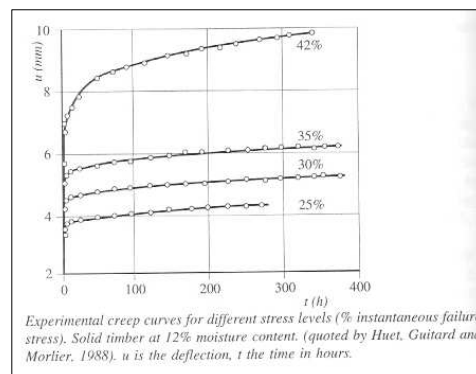
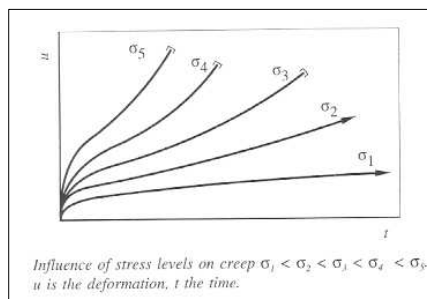
39/42

Le caratteristiche meccaniche del legno

Il comportamento deformativo

I fattori che influenzano il CREEP del legno

Il livello di tensione



40/42

Le caratteristiche meccaniche del legno

Il comportamento deformativo

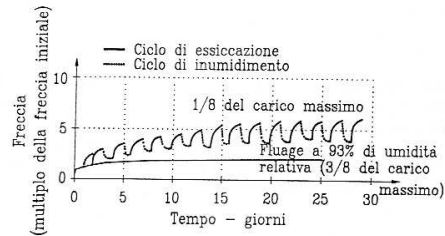


Fig. 3.22 Effetti delle variazioni cicliche di umidità su trave di legno di faggio (da Bodig, 1982).

Il comportamento "meccanico-adsorbitivo"

$$U_{fin} = u_{inst} \times (1 + K_{def})$$

Valori di K_{def}	Classe di servizio		
	1	2	3
Legno massiccio e legno lamellare	0,60	0,80	2,00
+ 2,00 per legno messo in opera fresco e fatto essiccare sotto carico			

Il coefficiente K_{def} per il calcolo della deformazione totale

41/42

Le caratteristiche meccaniche del legno

Il comportamento deformativo

L'influenza della deformabilità tagliente

- materiali elastici classici: $G = E / (2(1+\nu))$

$$E / G \approx 2.5$$

- per il legno il modulo G è invece molto più basso: $E/G \approx 16$

conifera C24: $E_o = 11000 \text{ N/mm}^2$ $E_{90} = 370 \text{ N/mm}^2$
 $G = 690 \text{ N/mm}^2$ $E/G \approx 16$

latifolia D50: $E_o = 14000 \text{ N/mm}^2$ $E_{90} = 930 \text{ N/mm}^2$
 $G = 880 \text{ N/mm}^2$ $E/G \approx 16$

lamellare GL24: $E_o = 11600 \text{ N/mm}^2$ $E_{90} = 390 \text{ N/mm}^2$
 $G = 720 \text{ N/mm}^2$ $E/G \approx 16$

Trave appog. con q unif.: $\delta_{tot} = \delta_m + \delta_v = (5 q l^4) / (384 EI) + (q l^2 X) / (8 GA)$

$$\delta_v / \delta_m = 0,96(E/G)(h/l)^2 \quad \begin{array}{l} \text{per } h/l = 1/10 \rightarrow \delta_v / \delta_m \approx 0,15 \\ \text{per } h/l = 1/20 \rightarrow \delta_v / \delta_m < 0,05 \end{array}$$

42/42