

Scienza delle Costruzioni

stud. -----

Docente: Mario Fagone



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

Scuola di Architettura
Corso di Laurea Magistrale quinquennale c.u.

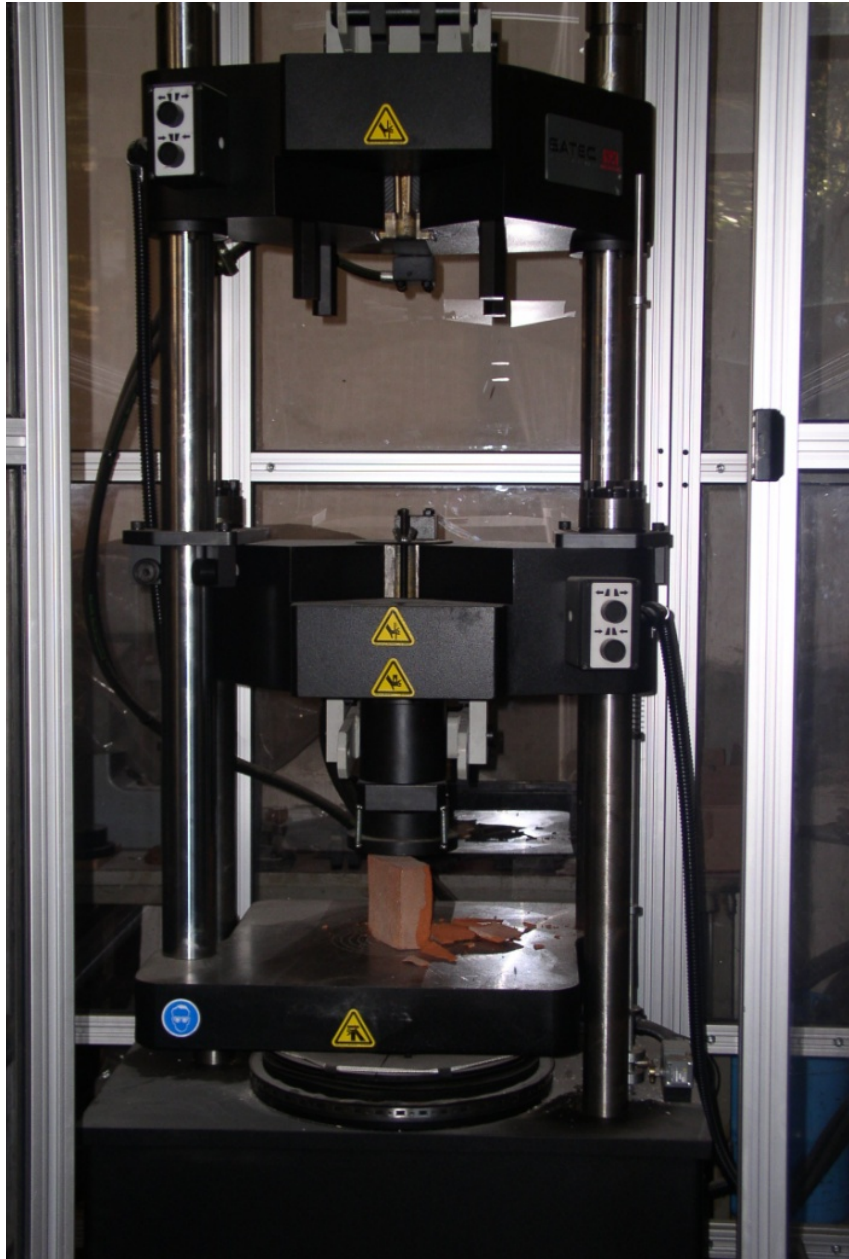


Asta sollecitata assialmente

Caratterizzazione della risposta del materiale

Le caratteristiche meccaniche essenziali dei materiali sono ricavate mediante indagini sperimentali specifiche. La più semplice, ma anche la più diffusa, prova meccanica sui materiali da costruzione è quella di carico assiale, in cui un provino di materiale di forma standard, viene sollecitato a trazione o a compressione.

Nella foto è rappresentata una pressa universale a controllo elettronico, utilizzabile per effettuare la prova assiale.

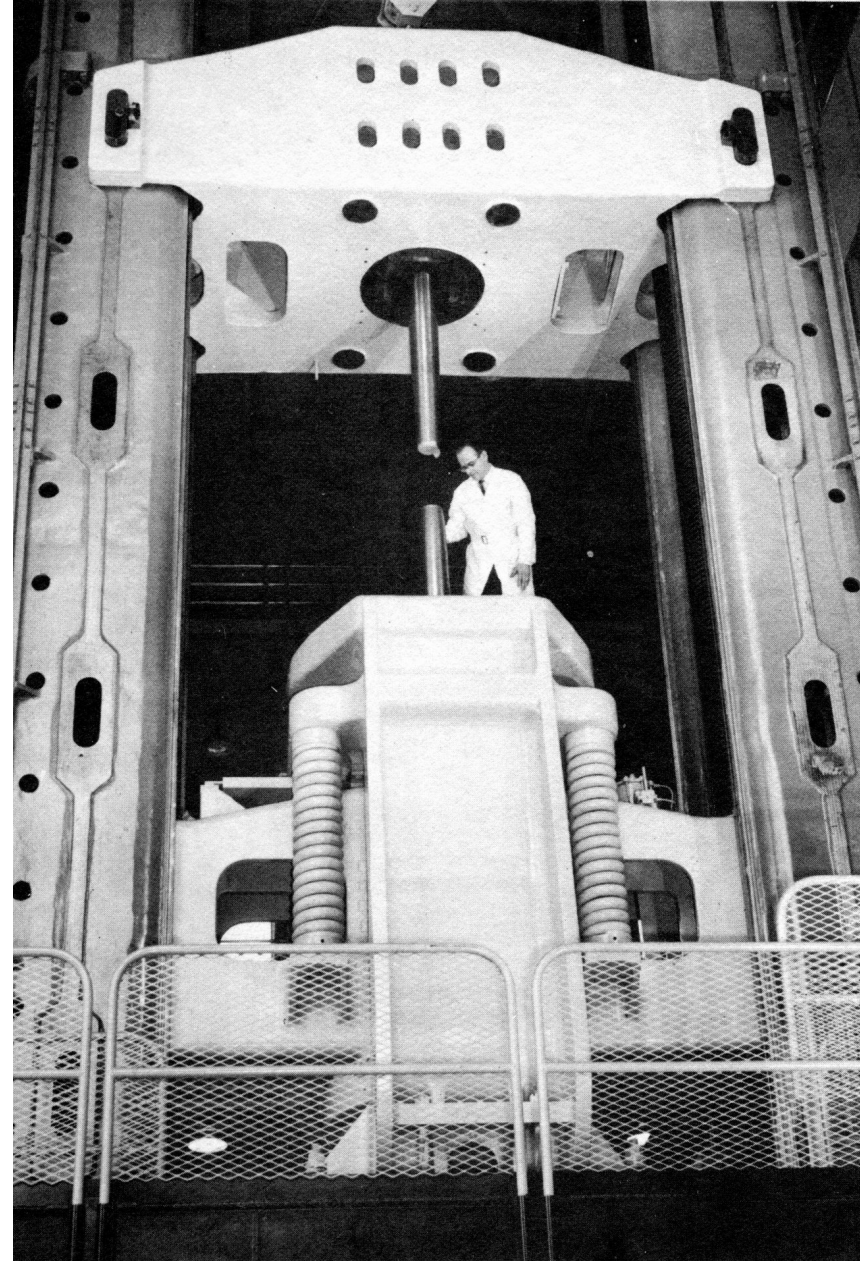
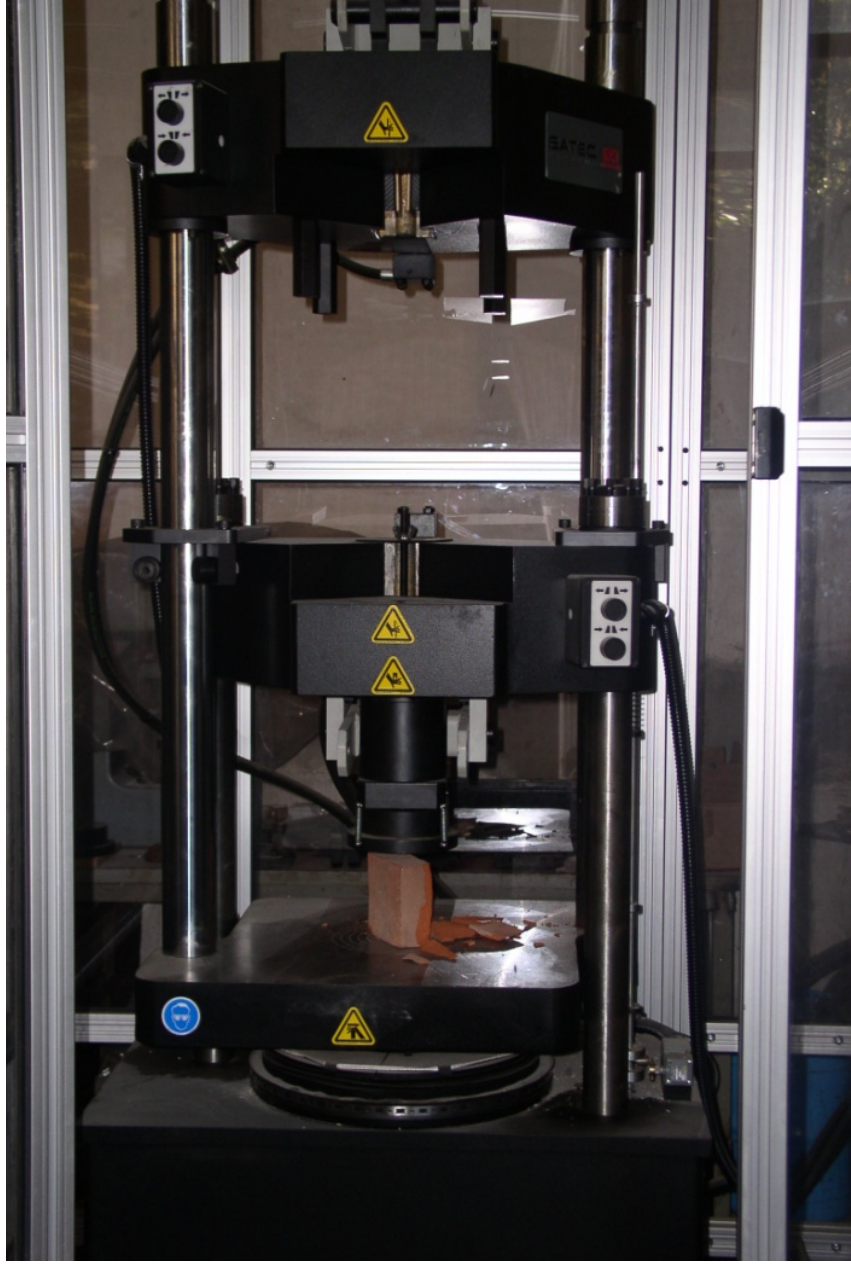


Caratterizzazione della risposta del materiale: effetti scala

Corso di Laurea: Magistrale Architettura c.u.
Insegnamento: Scienza delle Costruzioni
Docente: Mario Fagone

Scuola di Architettura

UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE



Caratterizzazione della risposta del materiale: ripetitività

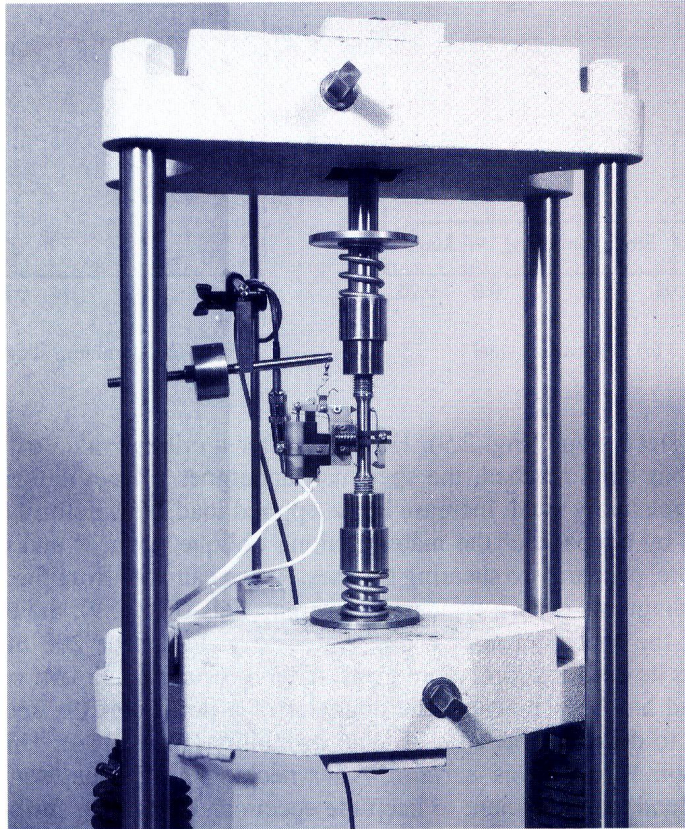


Fig. 2.7 This machine is used to test tensile test specimens, such as those shown in this chapter.

Figure tratte da F.P. Beer, E.R. Johnston, J.T. eWolf

(ASTM) - American Society for Testing Materials

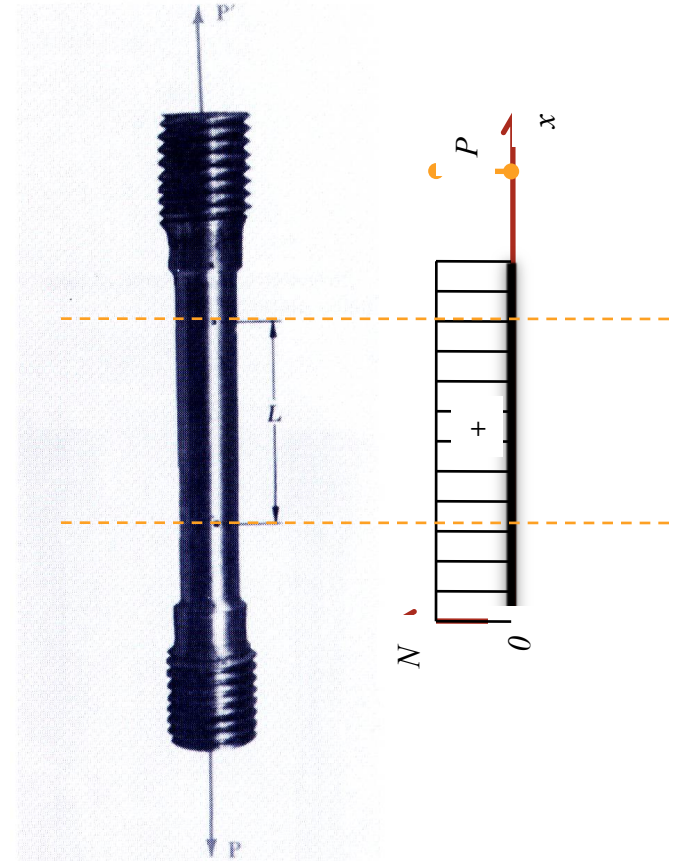


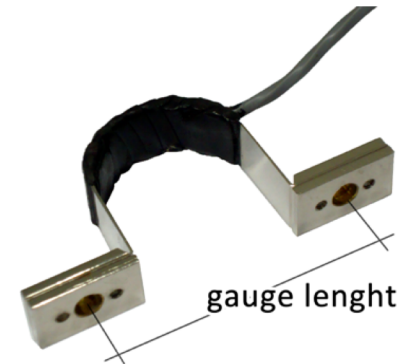
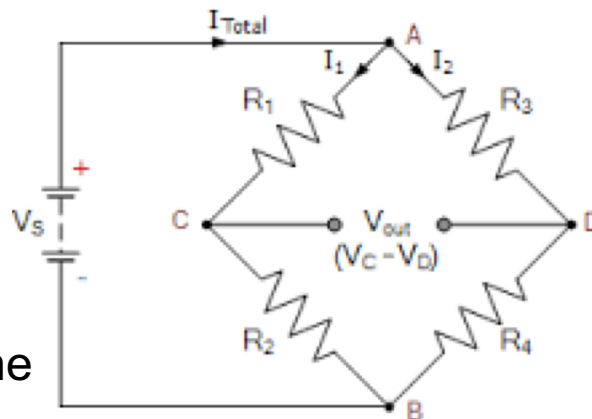
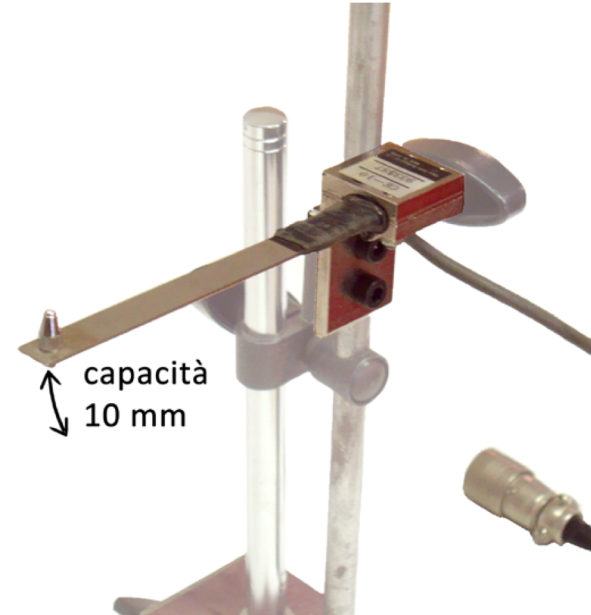
Fig. 2.8 Test specimen with tensile load.

Alcuni strumenti di misura

- Celle di carico



- Trasduttori di spostamento



Ponte di Wheatstone

Prova di carico assiale – acciaio dolce

Acciaio laminato a freddo

Test data:

$$L_{iniziale} = 50.000 \text{ mm}$$

$$\phi_{iniziale} = 13.000 \text{ mm}$$

$$L_{finale} = 68.750 \text{ mm}$$

$$\phi_{finale} = 0.750 \text{ mm}$$

Carico [kN]	Allungamento [mm]	Carico [kN]	Allungamento [mm]
0	0	31.40	0.300
5.70	0.010	31.40	0.400
8.30	0.015	31.20	0.500
10.90	0.020	31.40	0.600
13.80	0.025	31.60	1.250
16.50	0.030	35.00	2.500
19.20	0.035	42.30	5.000
22.00	0.040	44.60	7.500
24.60	0.045	45.60	10.000
27.50	0.050	45.60	12.500
30.40	0.055	44.60	15.000
33.00	0.060	43.00	17.500
31.10	0.100	40.20	18.750
31.40	0.200		

Prova di carico assiale – acciaio dolce

Acciaio laminato a freddo

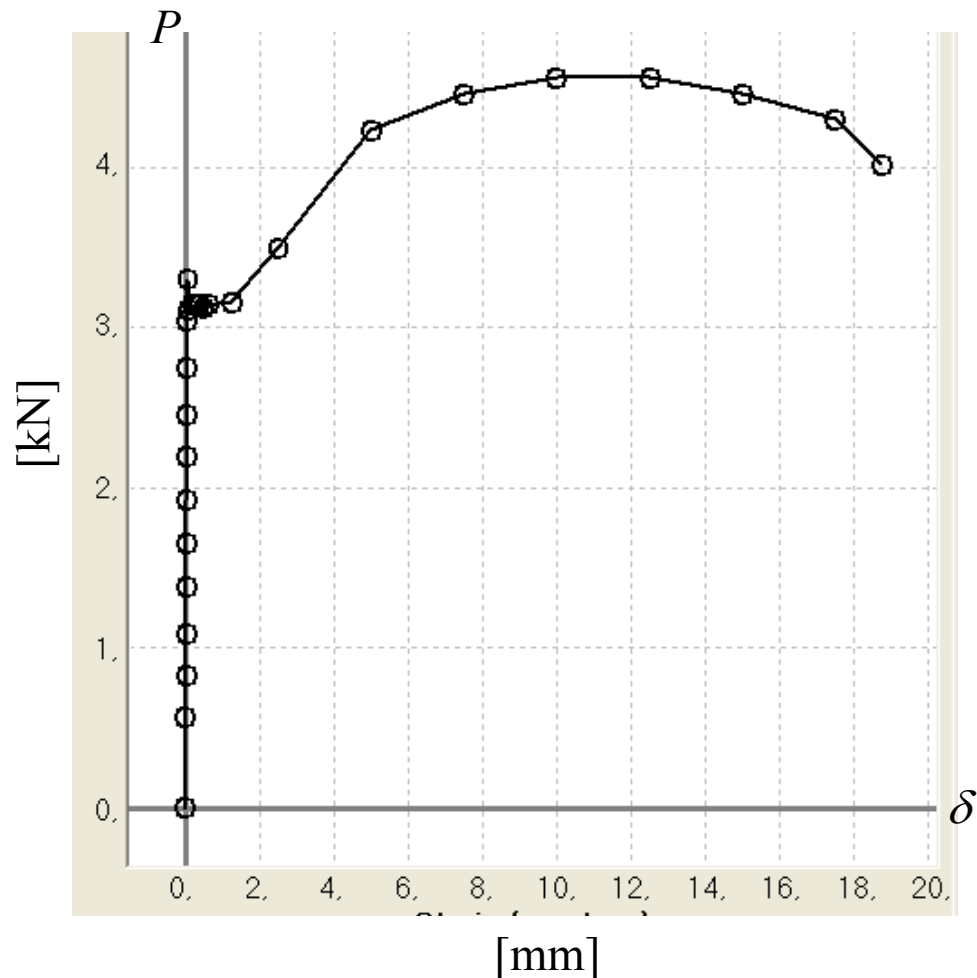
Test data:

$L_{iniziale} = 50.000$ mm

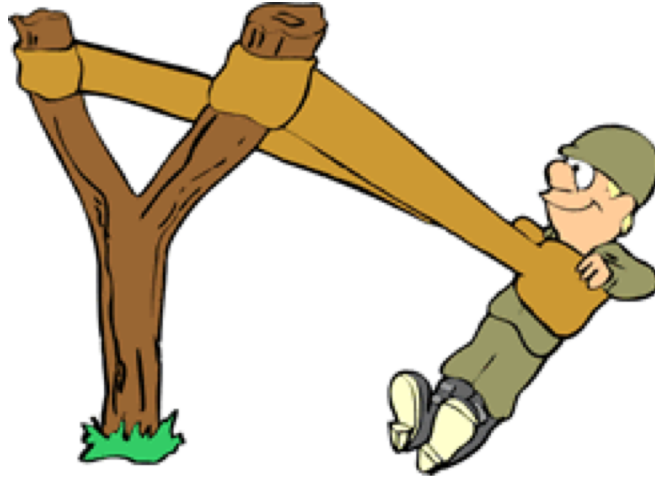
$\phi_{iniziale} = 13.000$ mm

$L_{finale} = 68.750$ mm

$\phi_{finale} = 0.750$ mm



Il solido (Omogeneo) Elastico Lineare Isotropo



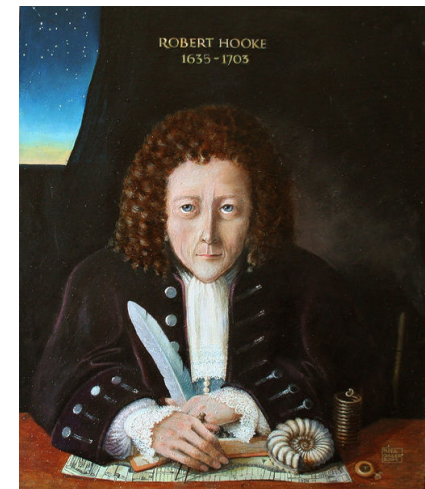
Il solido (Omogeneo) Elastico Lineare Isotropo



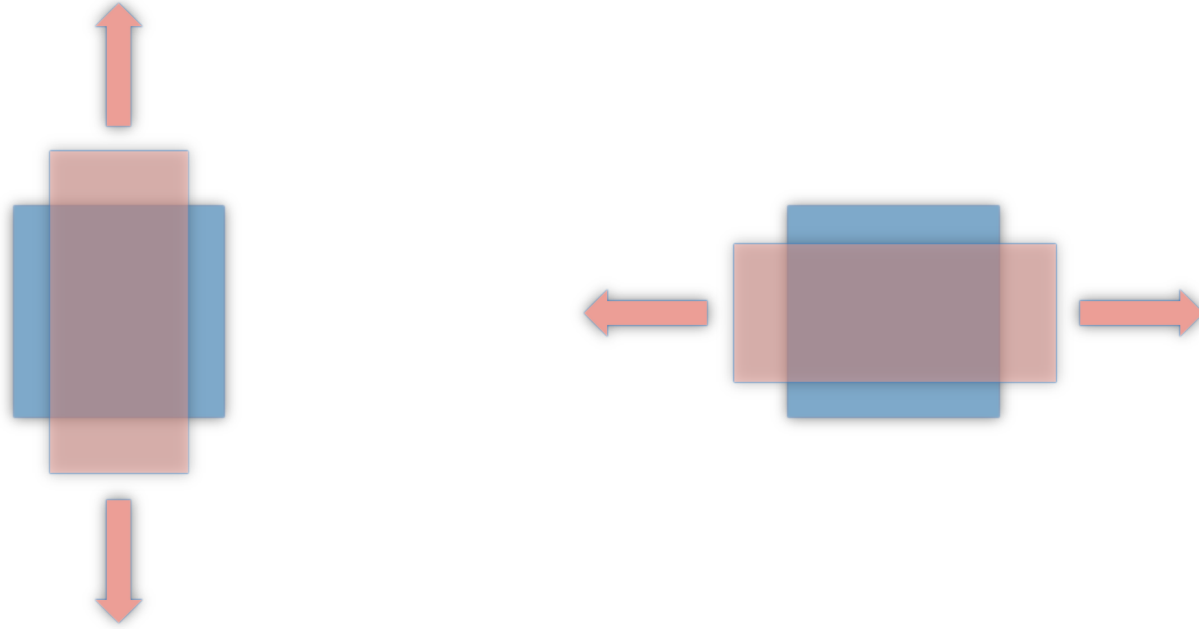
$$F = k \delta$$

Robert Hooke.

- Nato a Freshwater, isola di Wight, Inghilterra, il 18 luglio 1635.
- Morto a Londra il 3 marzo 1703.
- 1660: scoprì la legge dell'elasticità lineare. Inizialmente la descrisse in forma di anagramma (*ceiinossttuv*); nel 1678 fornisce la soluzione (*Ut tensio, sic vis*).
- 1678: scrisse "De Potentiâ Restitutiva" o anche "Of Springs", la prima pubblicazione in cui vengono discusse le proprietà elastiche dei materiali.

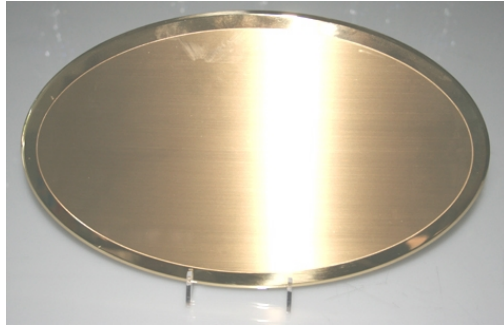


Il solido (Omogeneo) Elastico Lineare Isotropo

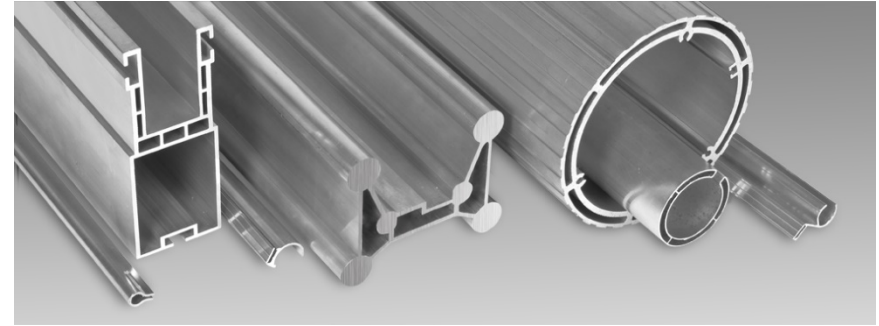


Il solido (Omogeneo) Elastico Lineare Isotropo

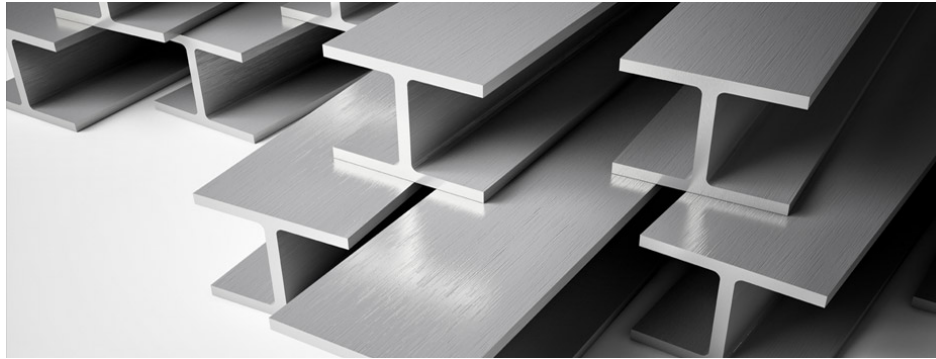
- Solido (Omogeneo) Elastico Lineare Isotropo



Ottone



Alluminio



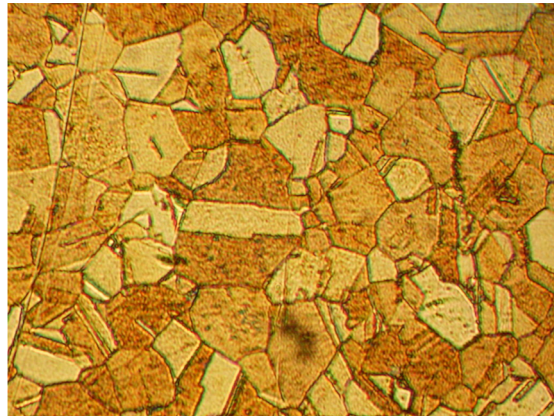
Acciaio



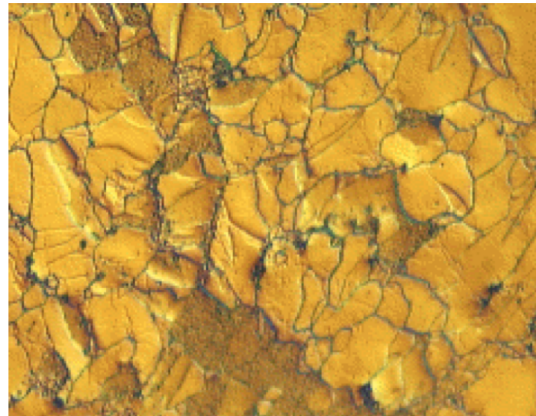
Calcestruzzo

Il solido (Omogeneo) Elastico Lineare Isotropo

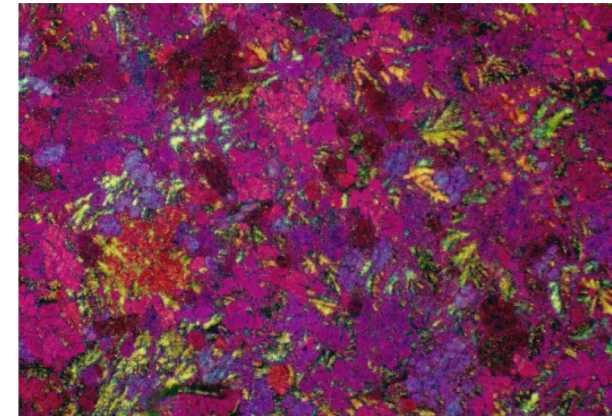
- Solido (Omogeneo) Elastico Lineare Isotropo



Superficie dell'ottone
(fig. tratta da
[http://it.wikipedia.org/wiki/Ottone_\(lega\)](http://it.wikipedia.org/wiki/Ottone_(lega)))



Superficie dell'ottone
(fig. tratta da
<http://www.metallographic.com/Procedures/Zinc.htm>)



Superficie dell'ottone
(fig. tratta da
<http://www.metallographic.com/Procedures/Zinc.htm>)

Prova di carico assiale – acciaio dolce

Acciaio laminato a freddo

Test data:

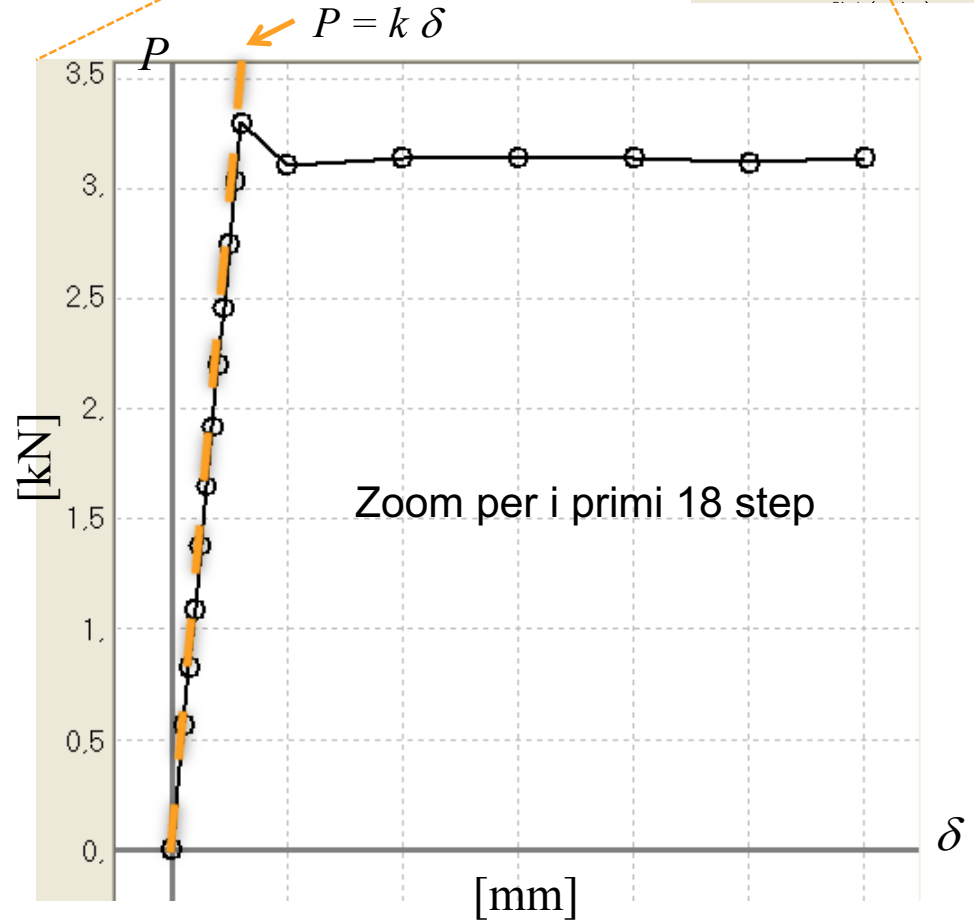
$$L_{iniziale} = 50.000 \text{ mm}$$

$$\phi_{iniziale} = 13.000 \text{ mm}$$

$$L_{finale} = 68.750 \text{ mm}$$

$$\phi_{finale} = 0.750 \text{ mm}$$

Prova sull'elemento strutturale



Introduzione al concetto di tensione e di deformazione

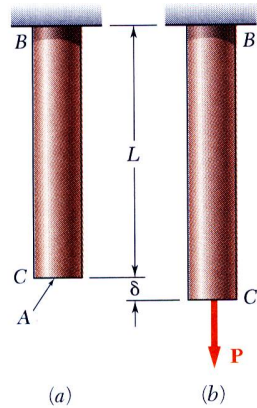


Fig. 2.1

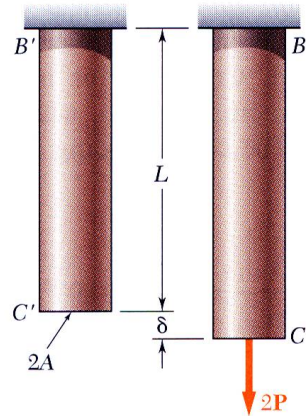


Fig. 2.3

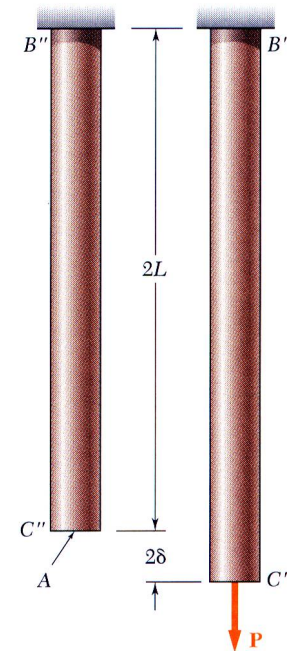


Fig. 2.4

$$\sigma = \frac{P}{A} = \text{stress}$$

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} = \text{normal strain}$$

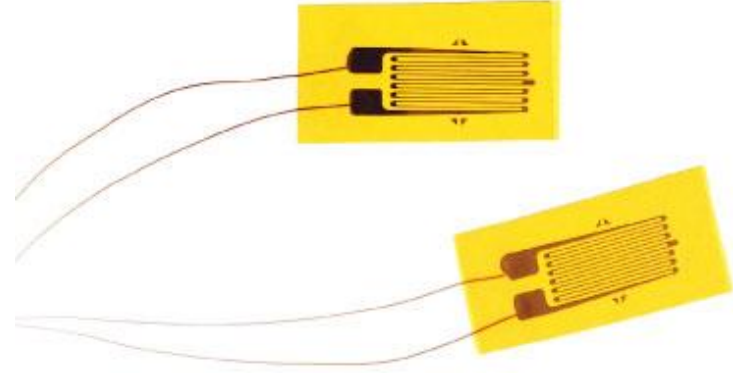
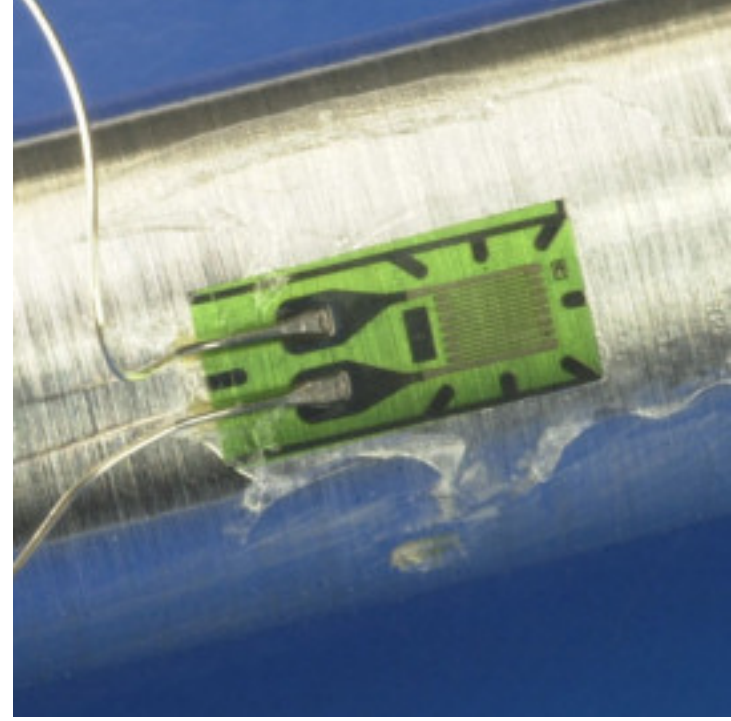
$$\sigma = \frac{2P}{2A} = \frac{P}{A}$$

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L}$$

$$\sigma = \frac{P}{A}$$
$$\varepsilon = \frac{2\delta}{2L} = \frac{\delta}{L}$$

Alcuni strumenti di misura

- Strain gauge
- D.I.C.
- ...



Prova di carico assiale – acciaio dolce

Acciaio laminato a freddo

Test data:

$$L_{iniziale} = 50.000 \text{ mm}$$

$$\phi_{iniziale} = 13.000 \text{ mm}$$

$$L_{finale} = 68.750 \text{ mm}$$

$$\phi_{finale} = 0.750 \text{ mm}$$

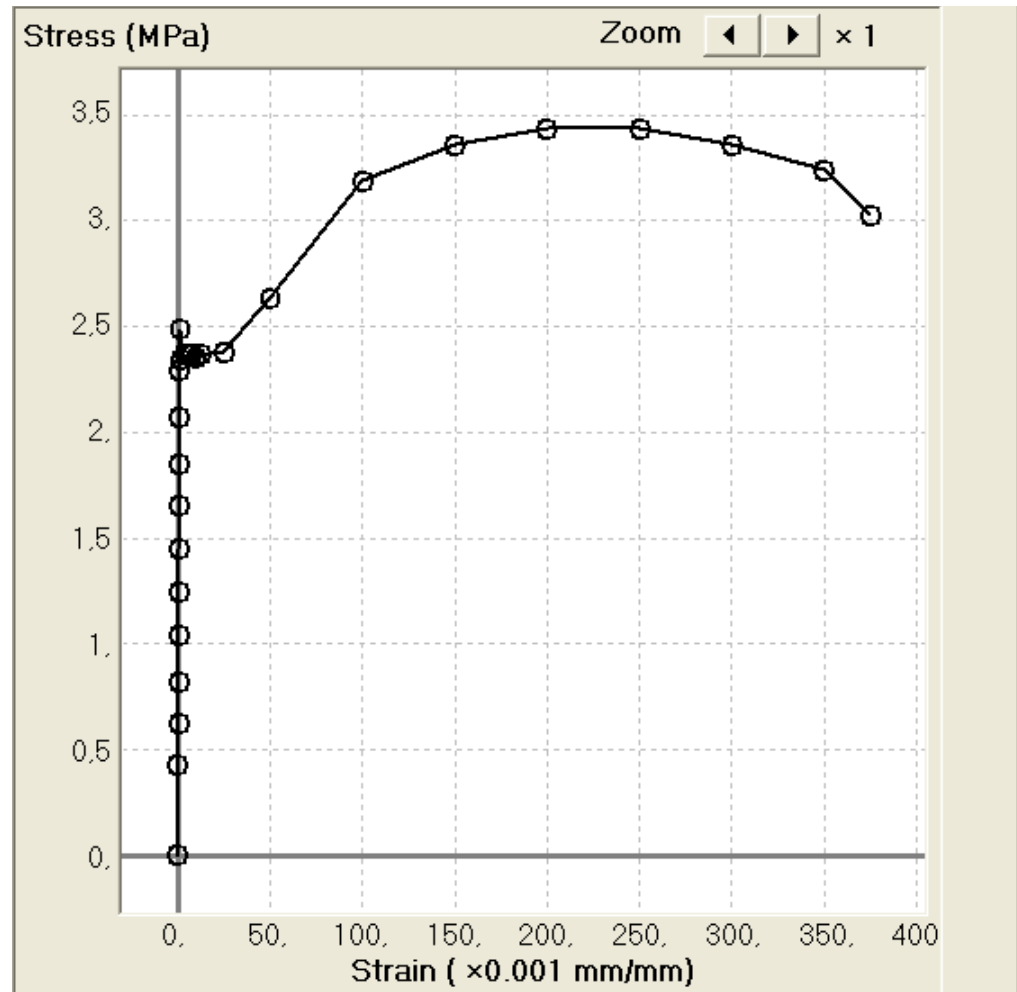
Prova sull'elemento strutturale

$$P = k\delta$$



Prova sul materiale

$$\frac{P}{A} = \frac{kl_0}{A l_0} \delta \rightarrow \sigma = E\varepsilon$$



Nota biografica: Thomas Young

Secondo Young:

“The modulus of **elasticity** of any substance is a column of the same substance, capable of producing a pressure on its base which is to the weight causing a certain degree of compression as the length of the substance is to the diminution of its length.

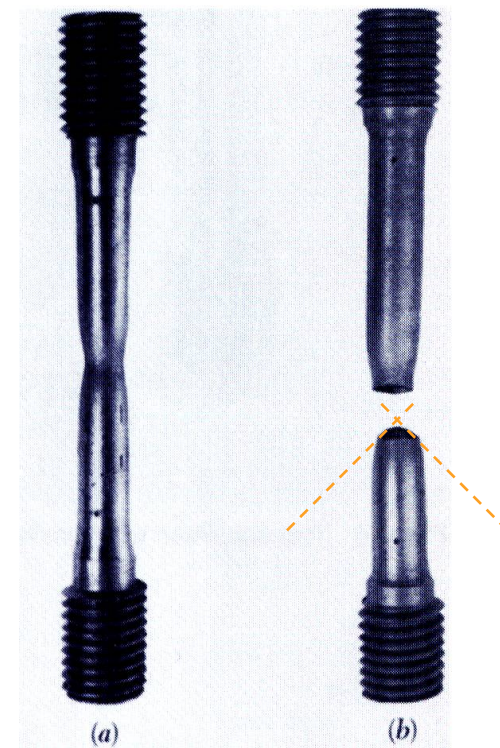
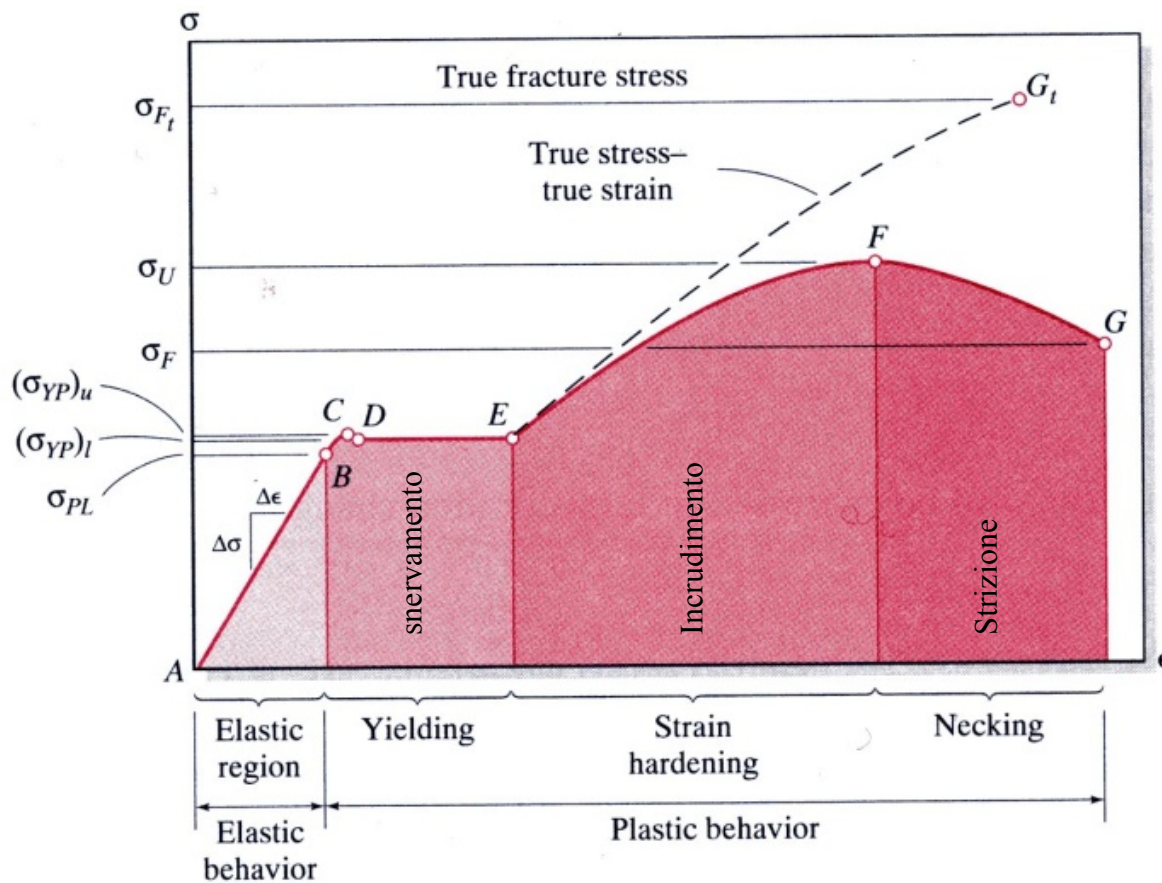
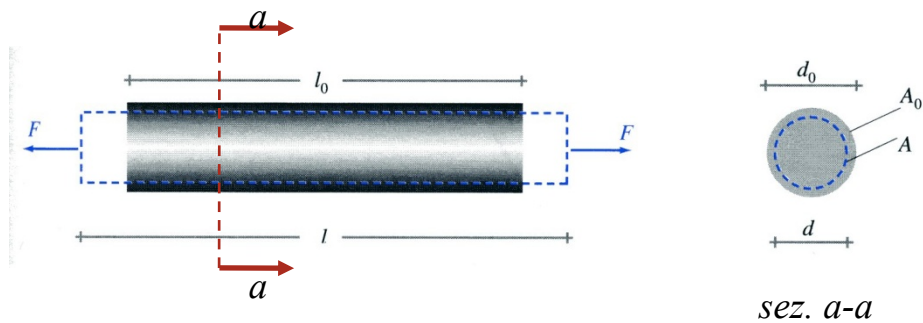
Il “peso del modulo” definito da Young è pari a EA .

Il modulo di elasticità è un **parametro meccanico del materiale** (non è necessario riferirsi ad una struttura)

- Nato a Milverton, Somerset, Inghilterra, 1773.
- Morto a Londra il 10 maggio 1829.
- 1807: “A Course of Lecturers on Natural Philosophy and the Mechanical Arts” (2 vols.)



Prova di carico assiale – acciaio dolce



Prova di carico assiale – confronti fra vari tipi di acciaio

RESIST. σ_y σ_{max}

RIGID. E

$$\frac{\epsilon_u}{\epsilon_y} = \delta$$

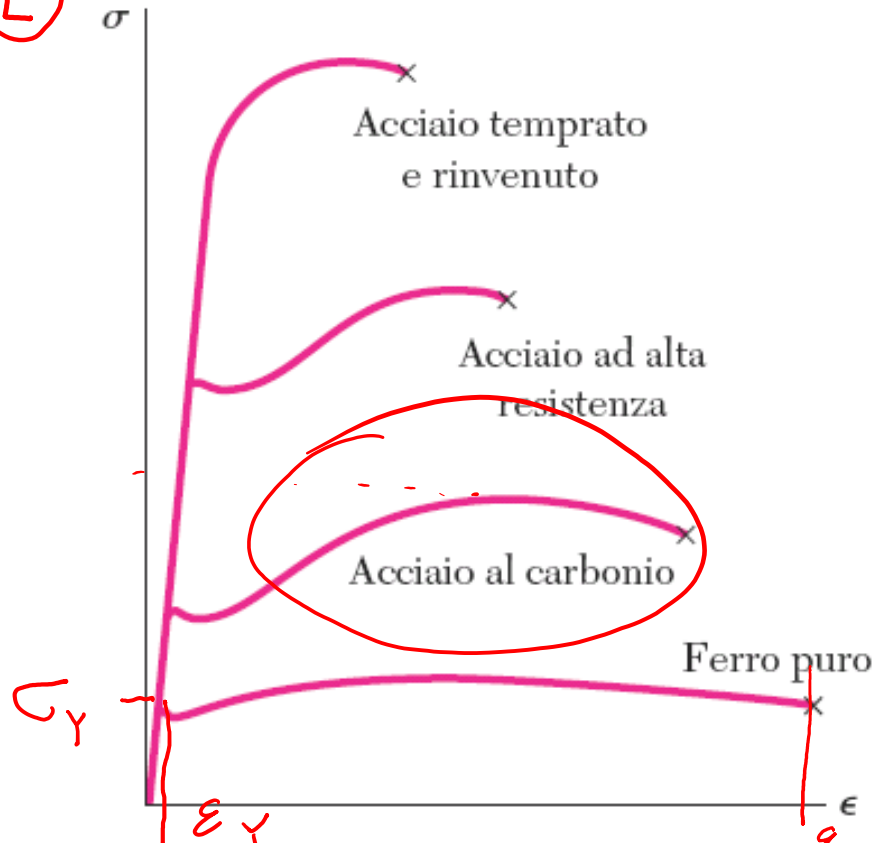
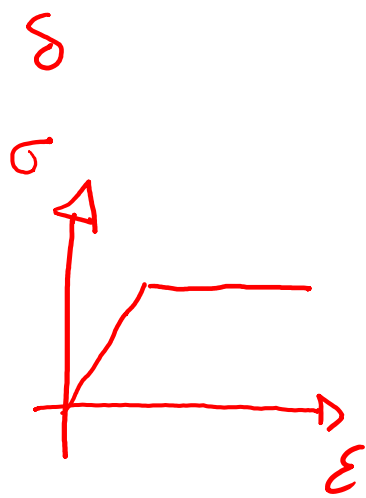


Figura 2.16 Diagrammi tensione-deformazione per il ferro e per diversi tipi di acciaio.



Prova di carico assiale – acciaio dolce carichi ciclici

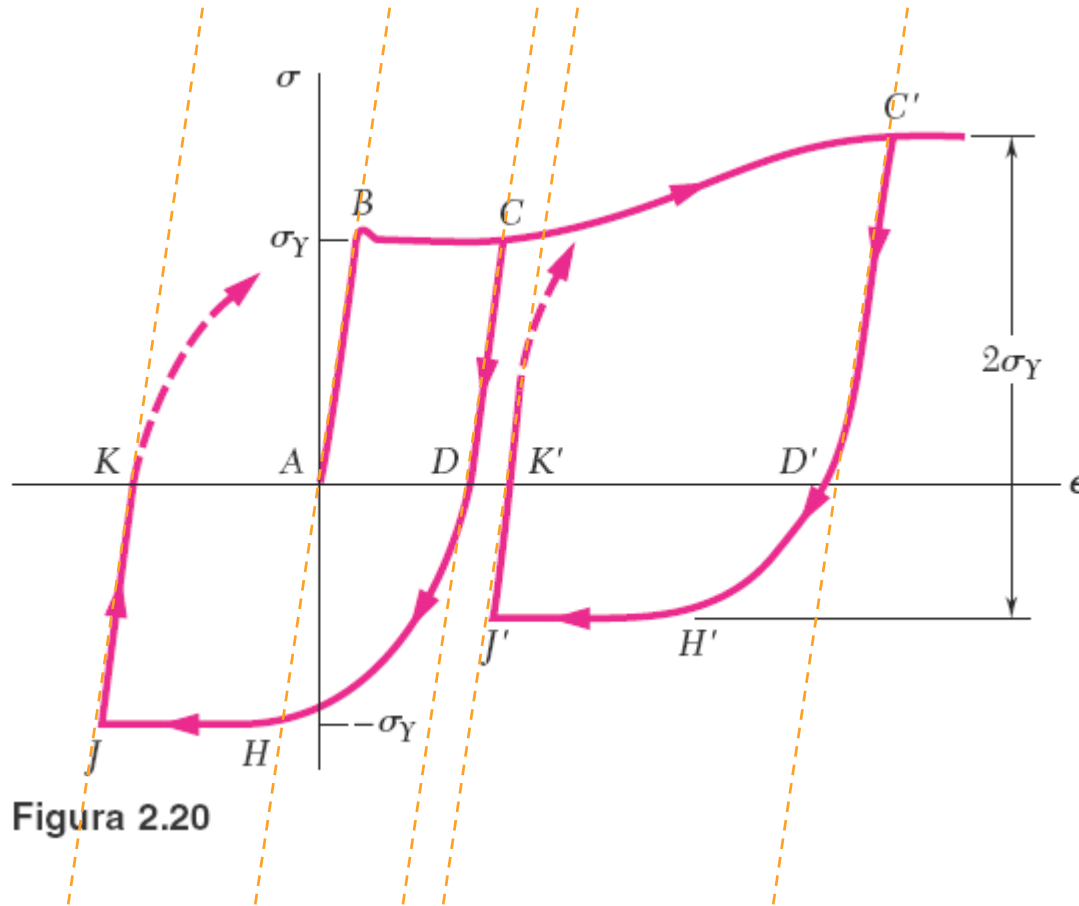


Figura 2.20

Elasticità lineare: la legge di Hooke

Modello costitutivo monoassiale

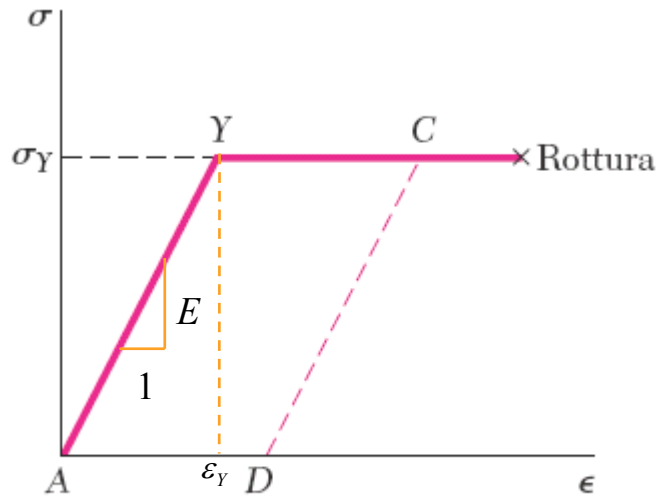


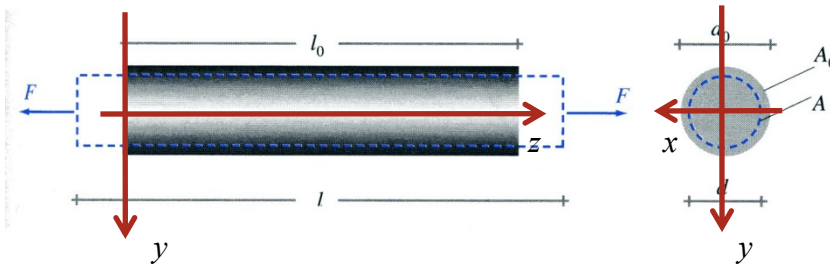
Figura 2.62

$$\sigma_z = E \epsilon_z \iff \epsilon_z = \frac{\sigma_z}{E}$$

$$\epsilon_x = \epsilon_y = -\nu \epsilon_z$$

$$\nu = -\frac{\epsilon_y}{\epsilon_z}$$

Diseguaglianze costitutive

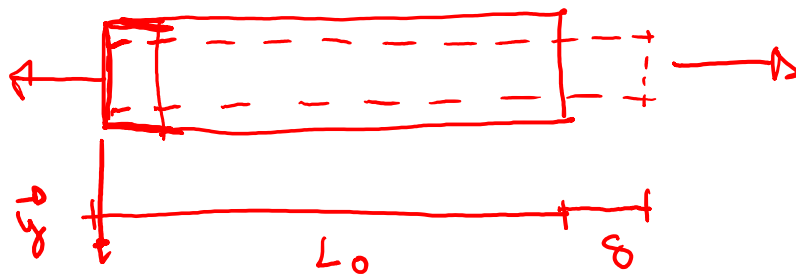


$$E > 0$$

Evidenza fisica

$$-1 < \nu < \frac{1}{2}$$

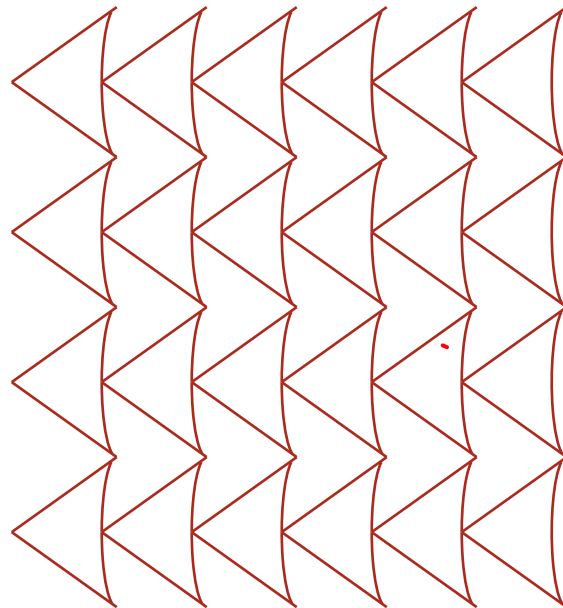
Lo dimostreremo prossimamente



$$\epsilon_z = \frac{\delta}{L_0} \quad \epsilon_y$$

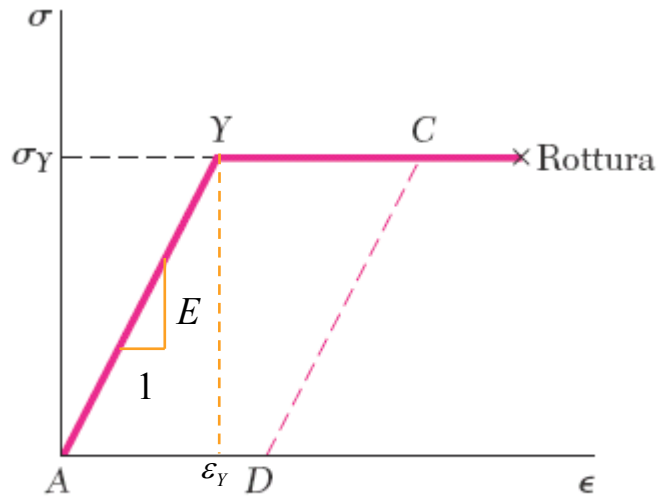
Materiali a coefficiente di Poisson negativo

Per completezza (v. Nunziante, Gambarotta, Tralli a pag. 381) si riporta che esistono materiali sintetici, aventi una particolare struttura come quella schematizzata in figura, che macroscopicamente manifestano un comportamento paragonabile a quello di un materiale avente coefficiente di Poisson negativo.



Elasticità lineare: la legge di Hooke

Modello costitutivo monoassiale

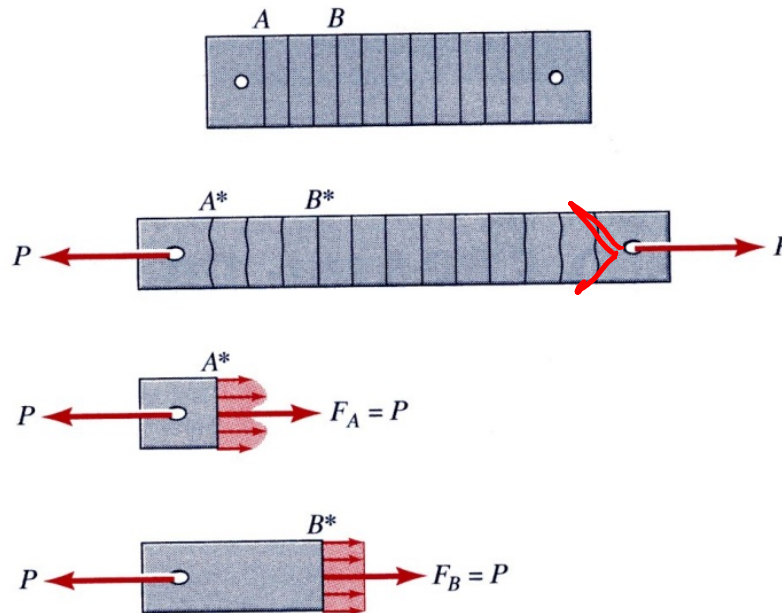


$$\sigma_z = E \epsilon_z \iff \epsilon_z = \frac{\sigma_z}{E}$$

$$\epsilon_x = \epsilon_y = -\nu \epsilon_z$$

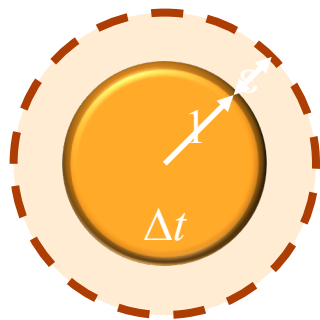
$$\sigma = \frac{N}{A_0}$$

Figura 2.62



$$N = \int \sigma dA$$

Deformazioni termiche



$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} + \alpha \Delta t$$

$$\epsilon_z = \frac{\sigma_z}{E} + \alpha \Delta t = \epsilon_e + \epsilon_a$$

$$\sigma_z \leq \sigma_Y;$$

$$\epsilon_z \leq \epsilon_Y$$

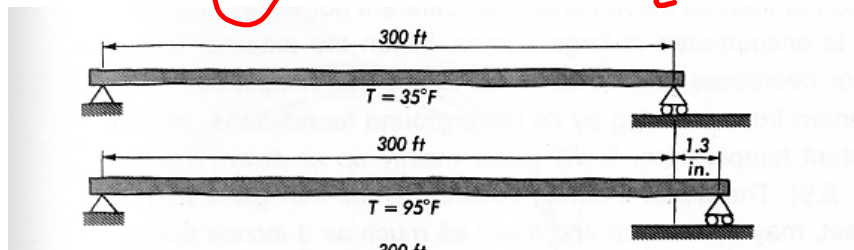
$$\frac{\delta}{L_0} = \frac{N}{AE} + \alpha \Delta t$$

↓

$$\delta = \frac{L_0}{EA} N + \alpha \Delta t L_0$$

$$\epsilon = \alpha \Delta t$$

$$[] = \frac{1}{^\circ C} [^\circ K]$$



$$\epsilon_x = \epsilon_y = -\nu \epsilon_z + \alpha \Delta t$$



D

$$S = \left(\frac{L_0}{EA} \right) N + 2 \Delta t L_0$$



$$N \frac{L_0}{EA} = S - \underbrace{2 \Delta t L_0}_{\delta_2} \rightarrow$$

$$N = \left(\frac{EA}{L_0} \right) (S - \delta_2)$$

k

$$k = D^{-1}$$

Biella a comportamento elastico lineare

Comportamento assiale di una biella

- materiale: omogeneo, elastico, lineare;
- sezione trasversale costante

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + \alpha \Delta t = \varepsilon_e + \varepsilon_a$$

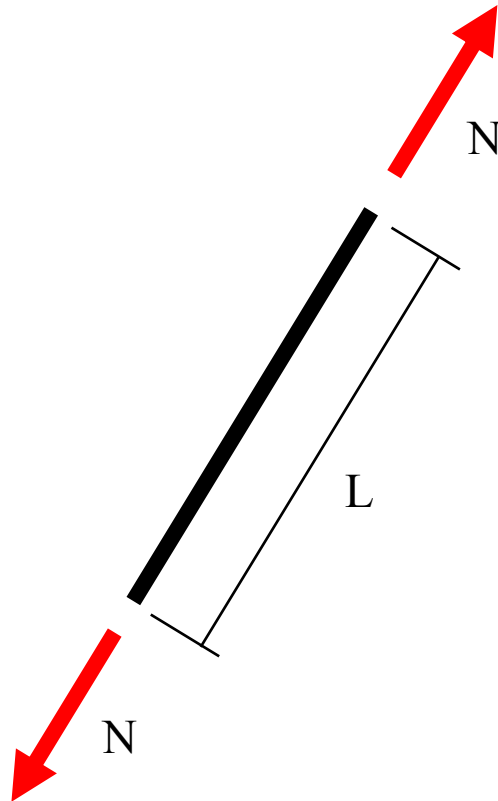
$$\varepsilon = \frac{\delta}{l_0}$$

$$\sigma = \frac{N}{A}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow \delta &= \varepsilon l_0 = \frac{\sigma l_0}{E} + \alpha \Delta t l_0 = \\ &= N \frac{l_0}{E A} + \alpha \Delta t l_0 = \\ &= \delta_e + \delta_a \end{aligned}$$

$$\rightarrow N = k(\delta - \delta_a)$$

$$k = \frac{E A}{l_0}$$



Biella a comportamento elastico lineare

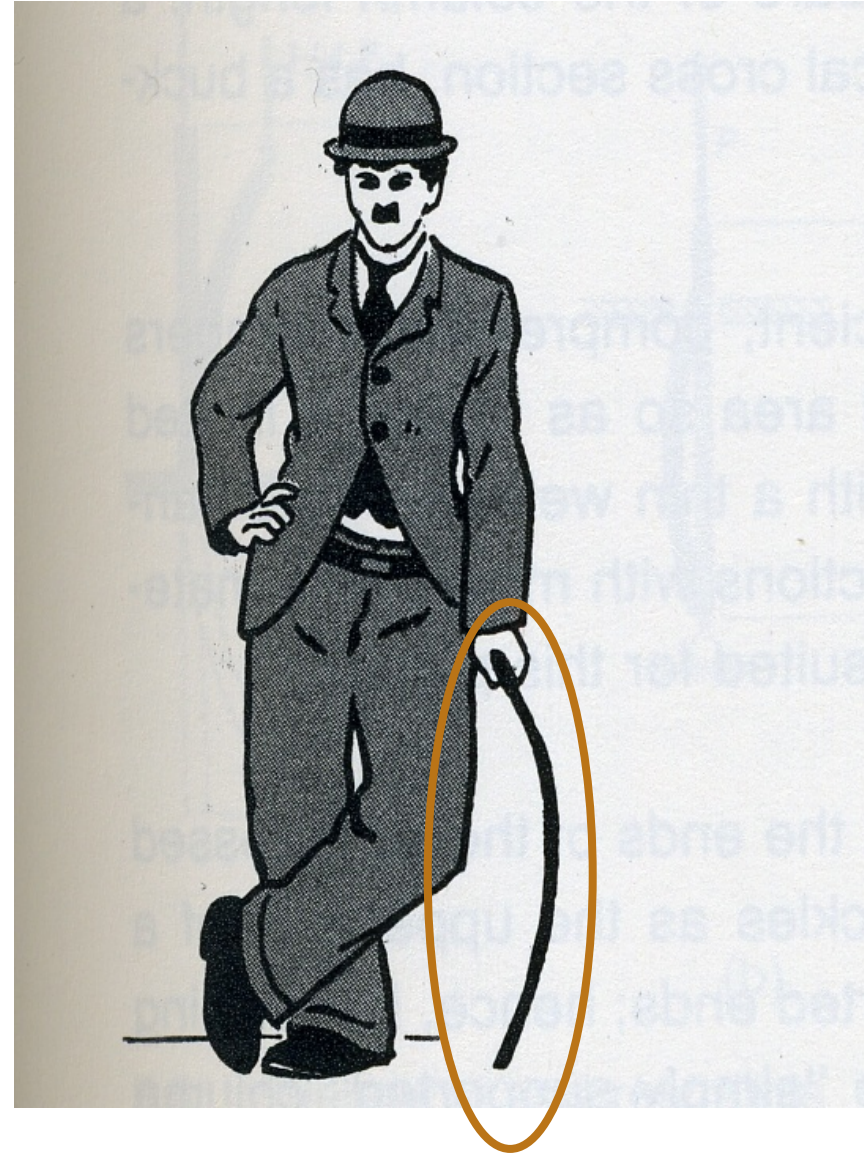
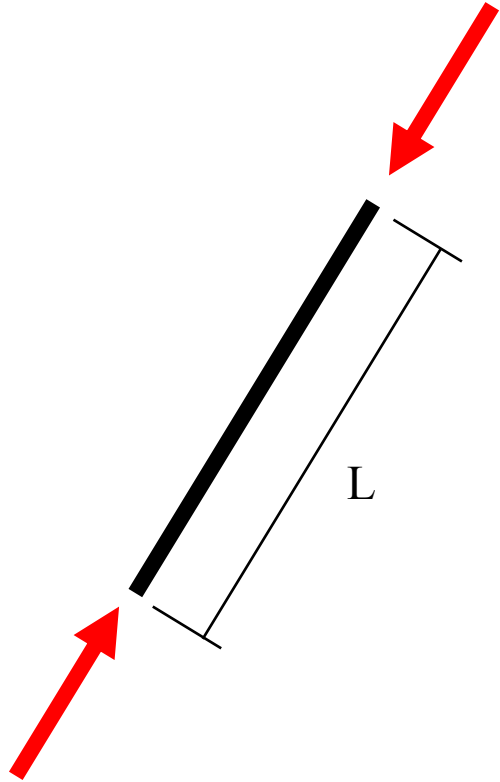


Figura tratta da M. Salvadori, R. Heller. "Structure in architecture"

Caratteristiche meccaniche di alcuni materiali

Materiale	Densità kg/m ³	E GPa	ν	$\alpha \times 10^6$ °C ⁻¹	σ_0 MPa	σ_p (traz) MPa	σ_p (comp) MPa
Acciaio							
<i>strutturale</i>	7860	200-210	0.3	11.7	235-450	360-550	sim.
<i>alta resistenza</i>	7860	200-210	0.3	11.7	345-650	450-900	sim.
<i>per armature</i>	7860	200-210	0.3	11.7	275-415	480-620	—
σ_y							
Ghisa grigia	7200	70	0.2	12.1	—	170	650
Leghe di alluminio ⁽¹⁾	2600-2800	70-75	0.34	23.5	95-400	110-450	sim.
Rame	8900	120	0.36	16.9	70	220	sim.
Ottone ⁽¹⁾	8500-8800	105-120	0.35	20.9	100-400	250-510	sim.
Titanio e leghe di titanio	4750	110-120	0.34	9.0	380-830	—	sim.
Calcestruzzo							
Mattoni pieni	2450	25-30	0.12	9.9	—	2-6	25-60
	1800	30	—	6.0	—	5	60
Granito ⁽²⁾							
	2770	70	—	7.2	—	20	240
Marmo ⁽²⁾							
	2770	55	—	10.8	—	15	125
Arenaria ⁽²⁾							
	2300	65	—	9.0	—	7	85
Legno ⁽³⁾							
	400-720	9-15	—	3.0-4.5	—	55-100	35-60
Gomma							
	900	$\ll 1$	0.49	160	—	15	—
Poliestere PBT							
	1340	2.4	—	135	55	55	75
Nylon 6/6							
	1140	2.8	—	144	45	75	95
Vetro da lastra							
	2200	70	0.2	8.7	—	30-80	1000

(1) Variabilità dipendente dalla composizione della lega.

(2) Valori medi.

(3) Secco, in direzione delle fibre. Variabilità legata alle essenze.

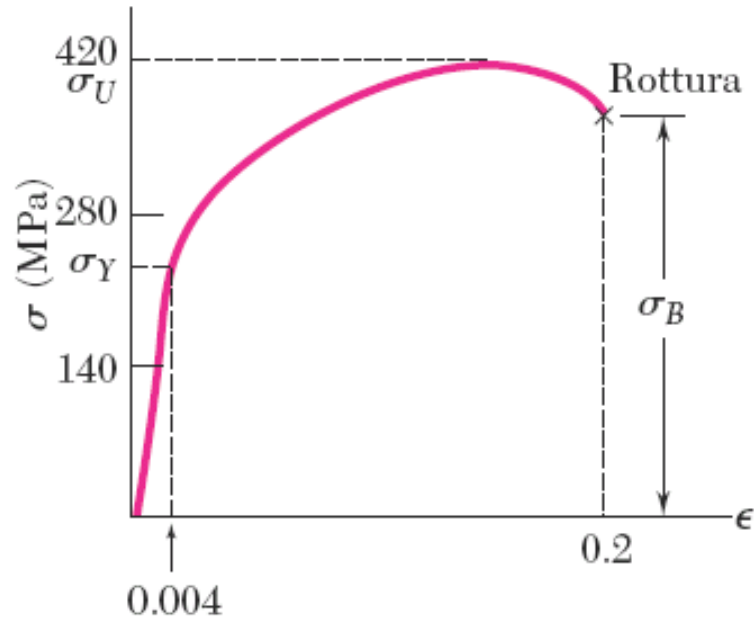
$$1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 1 \frac{\text{MPa}}{\text{mm}^2} = 10 \frac{\text{kg}_f}{\text{cm}^2}$$

Tabella tratta da C.Comi L.C. Dell'Acqua.
"Introduzione alla meccanica strutturale"



Proprietà di altri materiali

Prova di carico assiale – alluminio



(b) Lega di alluminio

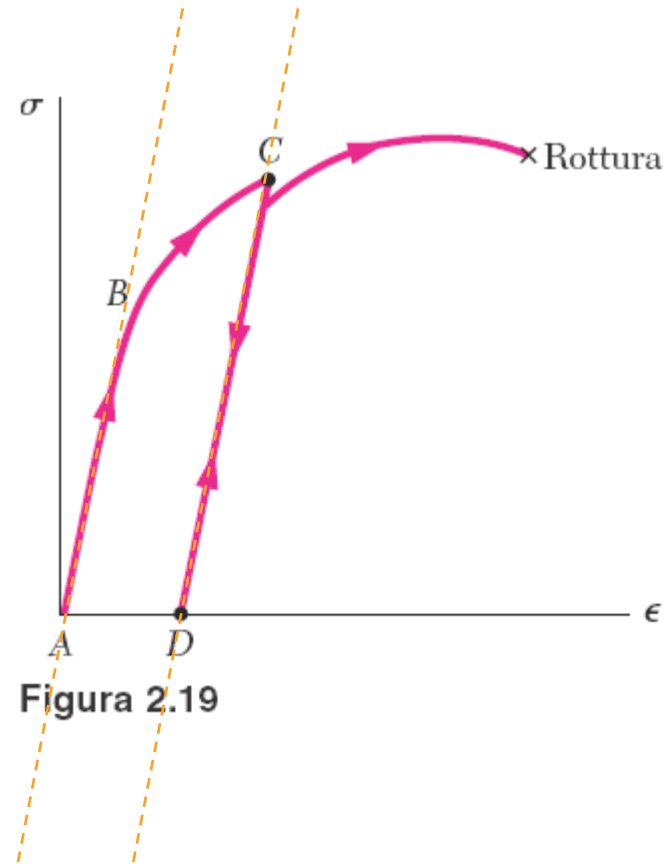


Figura 2.19

Tensione di snervamento nei materiali duttili

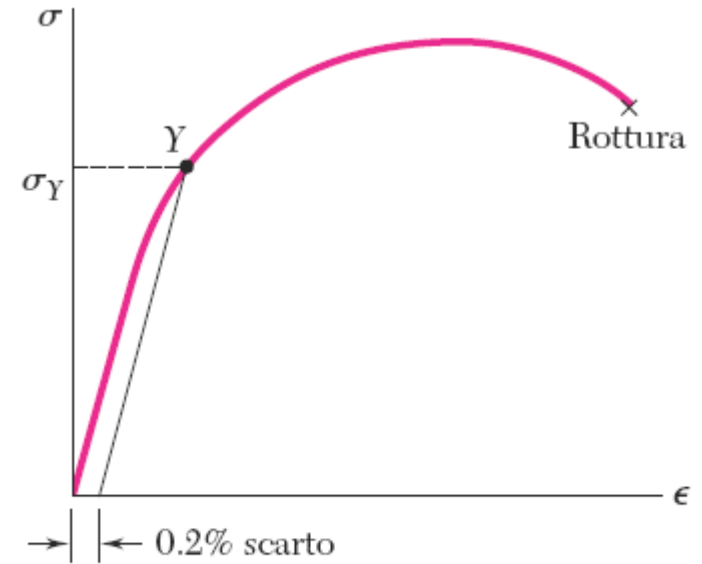
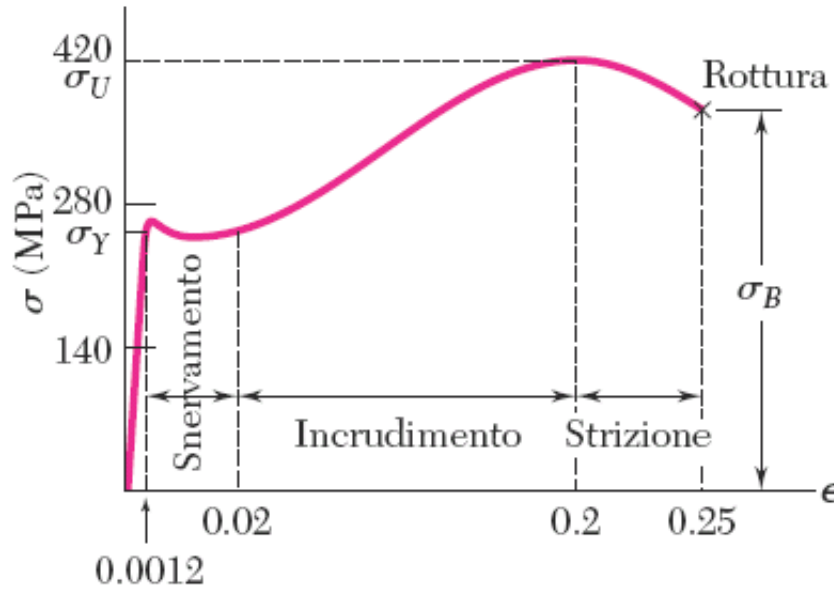


Figura 2.13 Determinazione della tensione di snervamento con il metodo dello scarto.

Diagramma tensione-deformazione per un materiale fragile

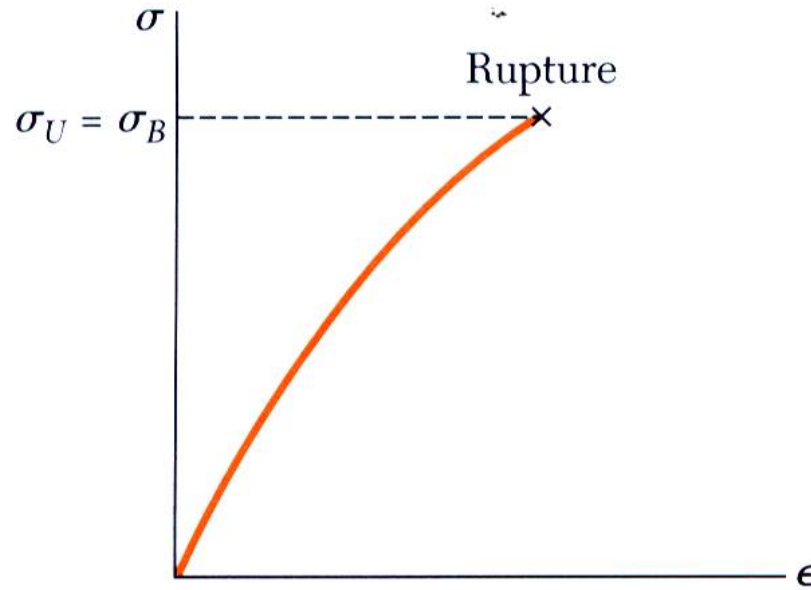
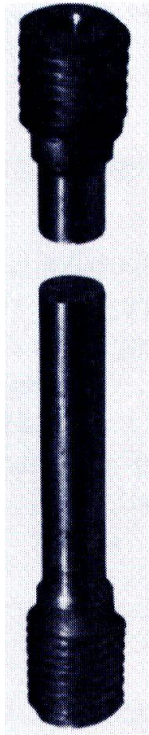


Fig. 2.11 Stress-strain diagram for a typical brittle material.

Materiali fragili e duttili - confronti

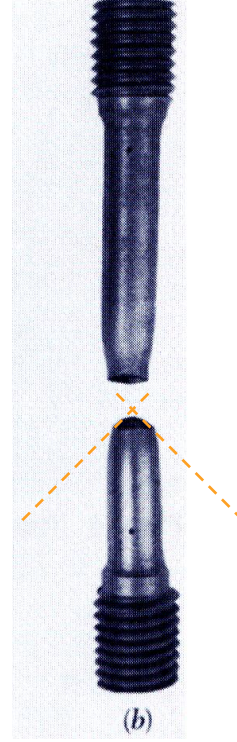
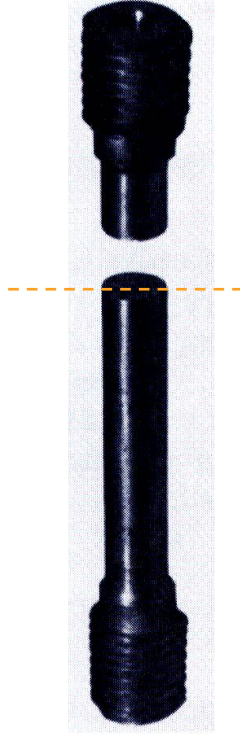


Diagramma tensione-deformazione per il calcestruzzo

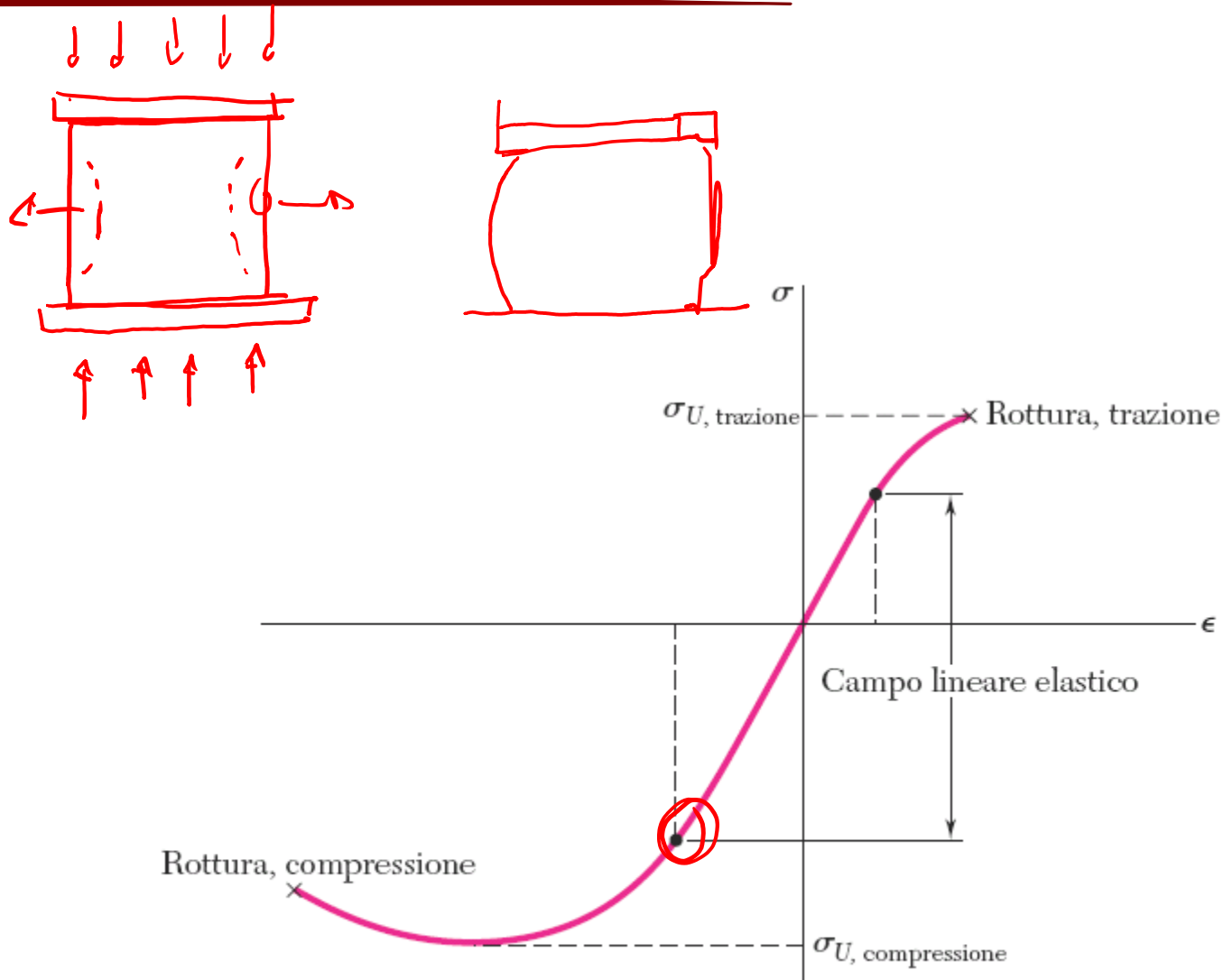


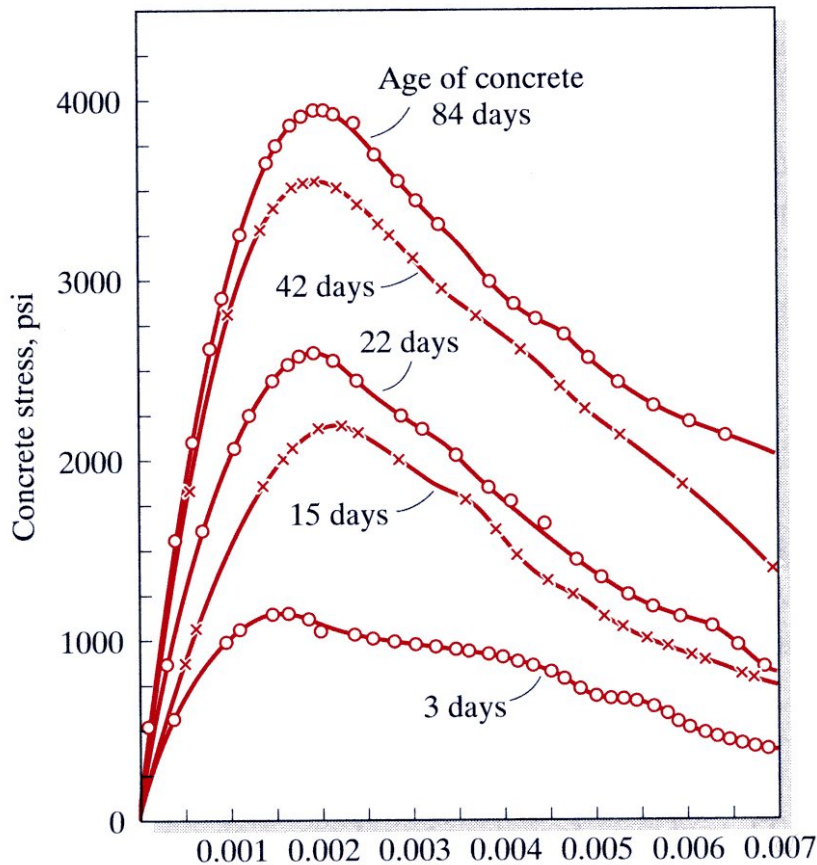
Figura 2.14 Diagramma tensione-deformazione del calcestruzzo.

Diagramma tensione-deformazione per il calcestruzzo

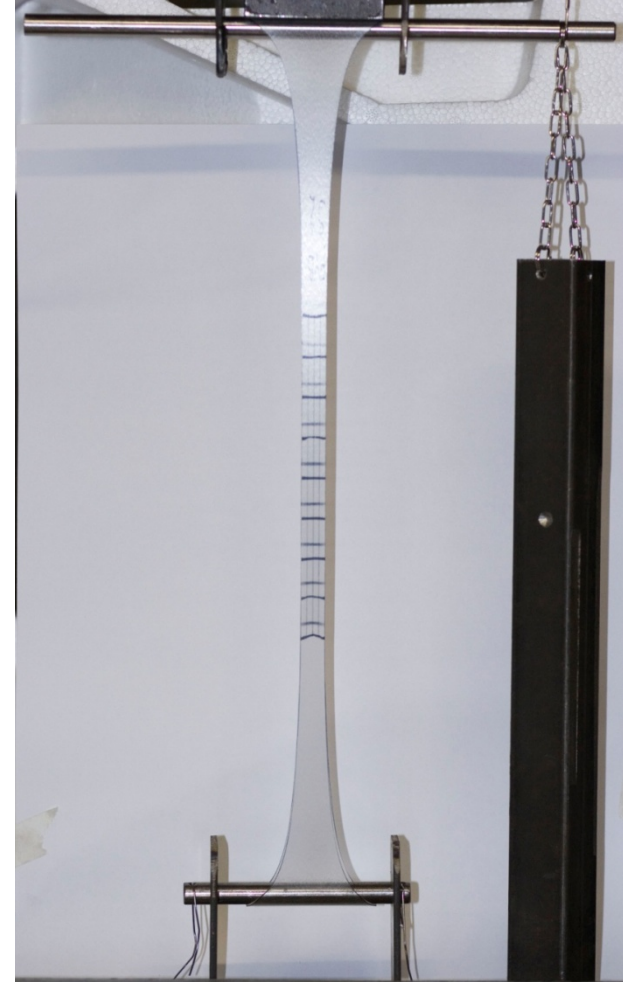
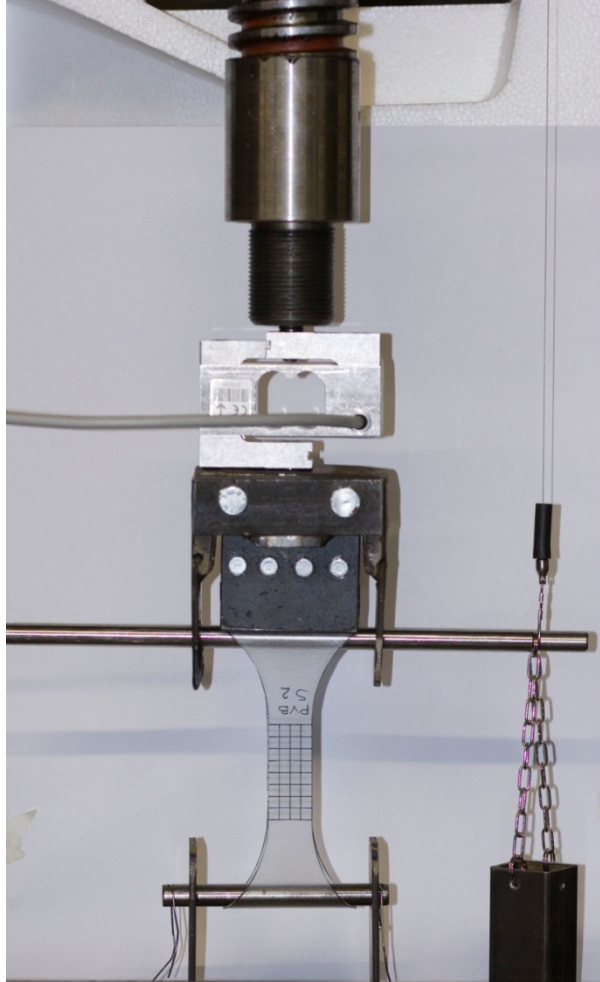
Il calcestruzzo è un materiale che ha una scarsa resistenza a trazione, la quale viene in genere trascurata nelle normali applicazioni strutturali.

Il suo comportamento meccanico è di tipo fragile anche a compressione e viene in genere investigato da prove di compressione monoassiale.

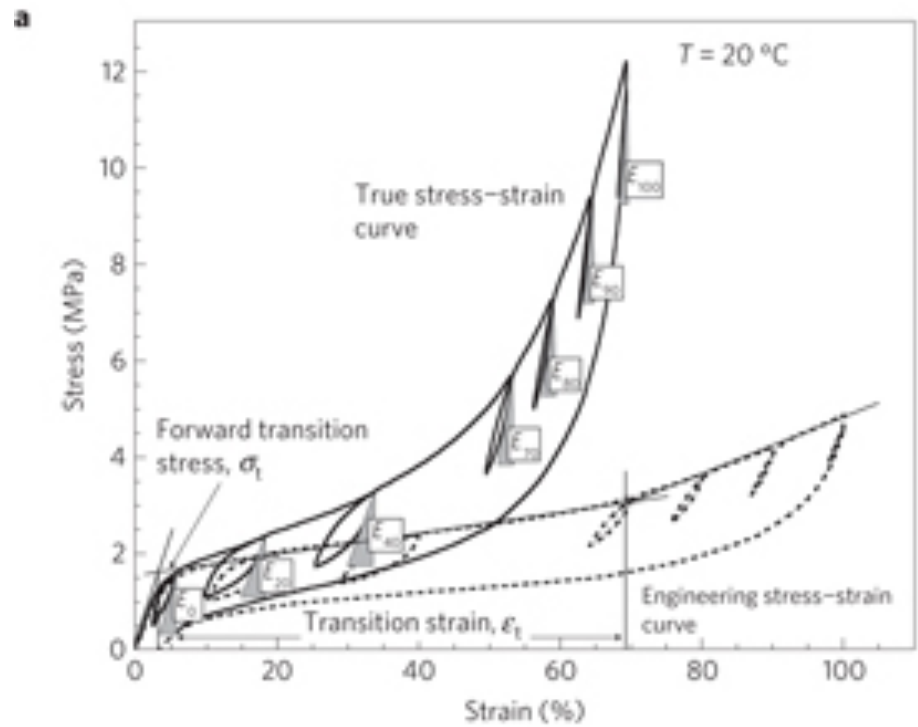
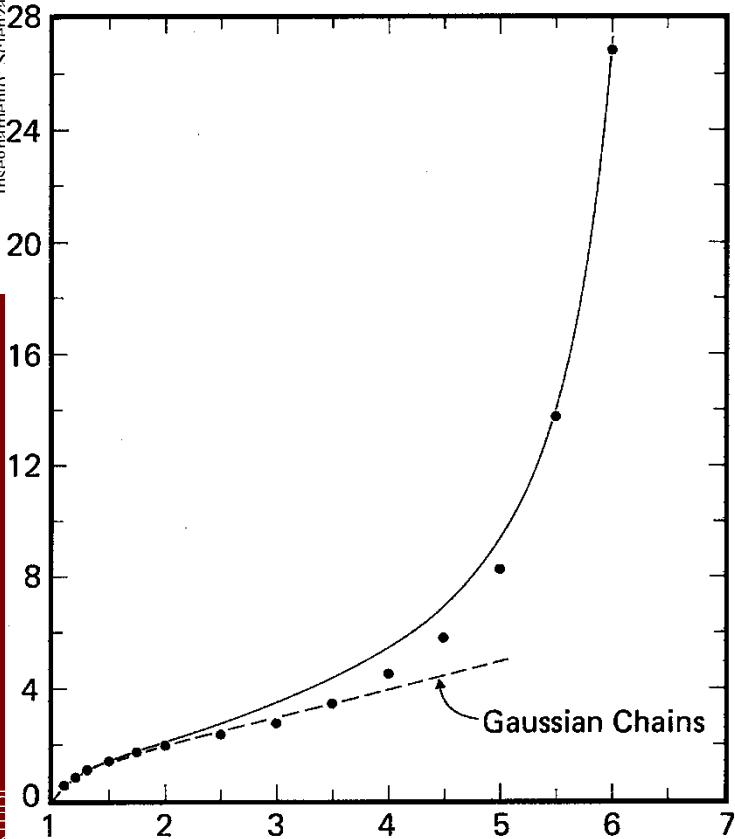
Il calcestruzzo è un materiale composito (formato da cemento, sabbia, inerti, acqua) e le sue caratteristiche meccaniche variano nel tempo come indicato nello schema a fianco che si riferisce a prove di compressioni effettuate su calcestruzzi aventi dai 3 agli 84 giorni di maturazione.



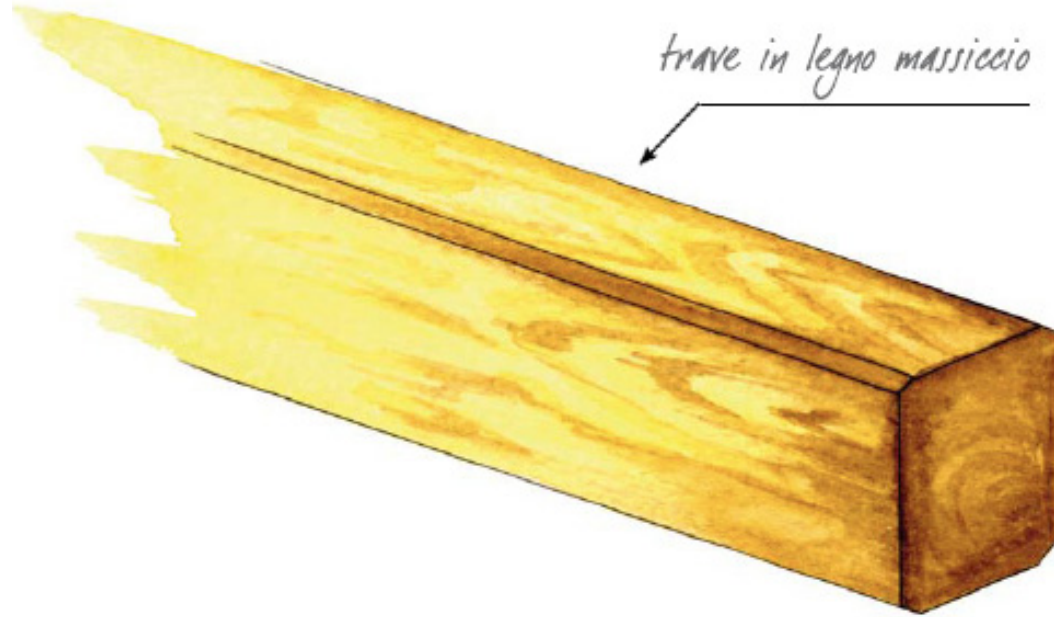
Prova di carico assiale – Polivinilbutirrale



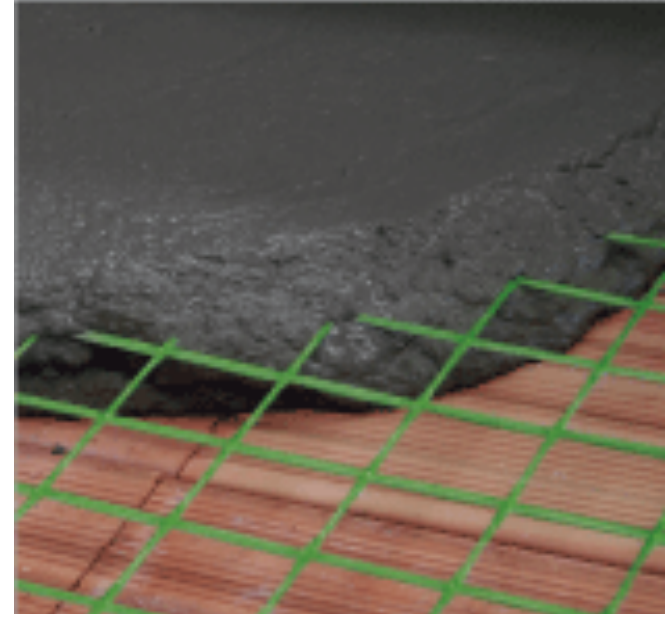
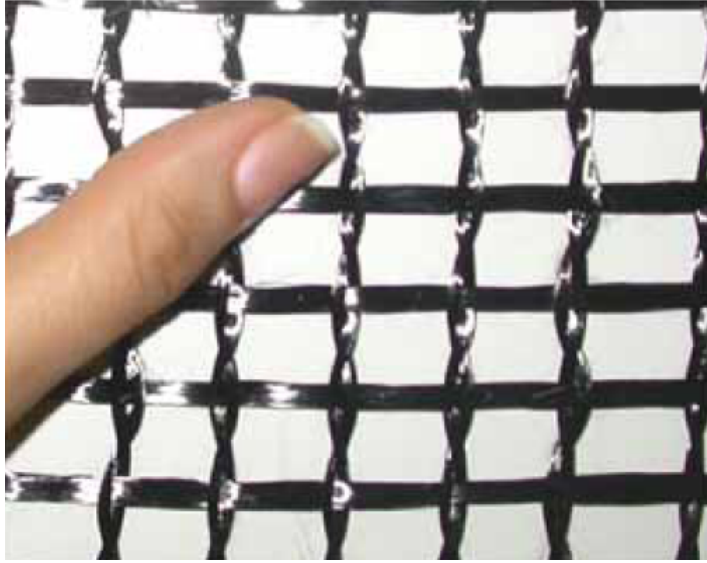
Prova di carico assiale – rubber-like



Introduzione al concetto di (an-)isotropia

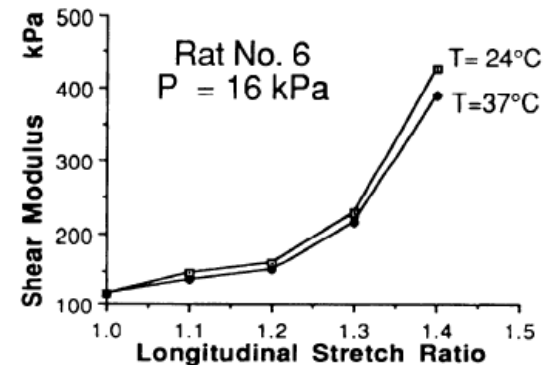
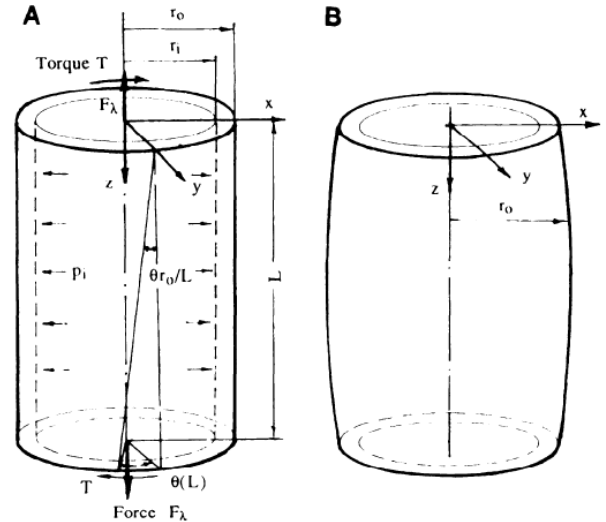
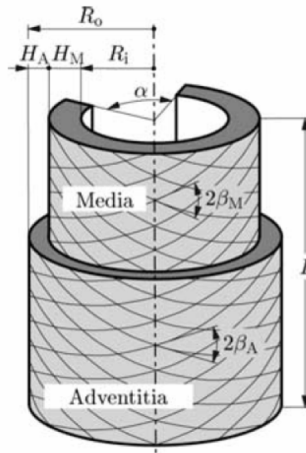
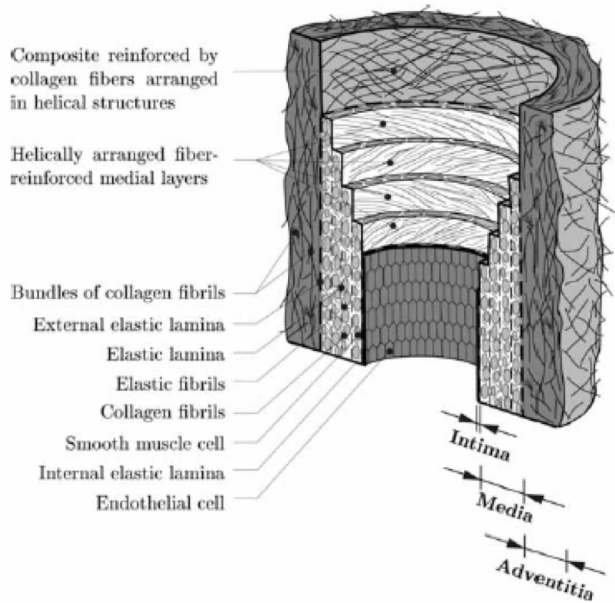


Introduzione al concetto di (an-)isotropia

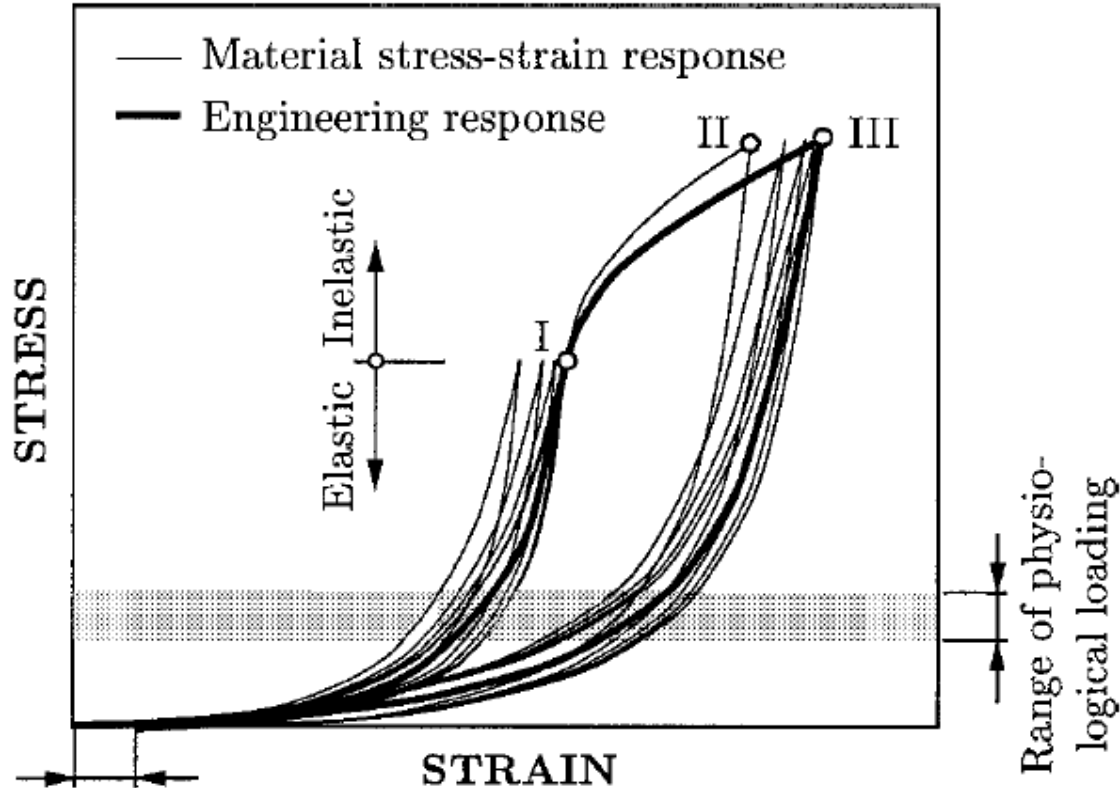


Introduzione al concetto di (an-)isotropia

ARTERIAL WALL MECHANICS



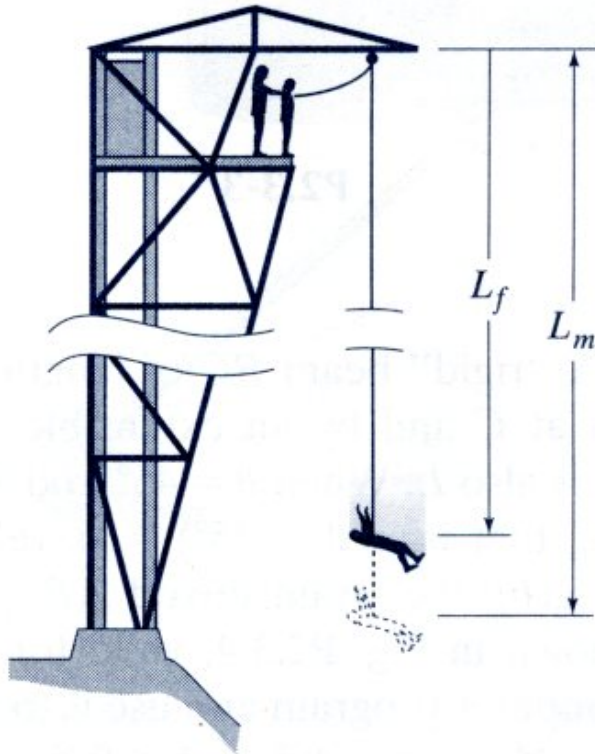
Prova di carico assiale – tessuti soffici



Strain remaining after plastic deformation

Range of physio-logical loading

Esercizio



da R.R.Craig Jr. "Mechanics of Materials"

Quando il bungee jumper schematizzato in figura si trova sulla piattaforma, la lunghezza iniziale dell'elastico è pari a $L_0=4.5m$.

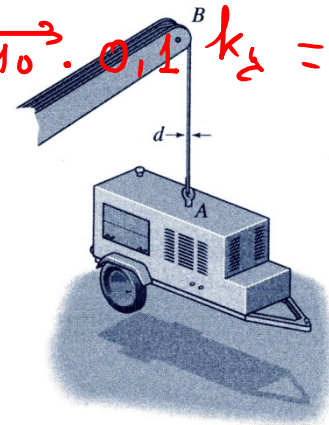
1. Quando il jumper si butta la lunghezza massima della corda è pari a $L=12.6m$. Assumendo che la corda si deformi assialmente in modo omogeneo, si determini l'allungamento assiale dell'elastico.
2. Dopo una serie di rimbalzi, il jumper si ferma e la lunghezza finale della corda è di $9.8 m$. Qual è la deformazione assiale finale del cavo?

Esercizio

$$L_0 = 5 \text{ m}$$

In un cantiere un generatore viene appeso ad un filo come indicato in figura. Sapendo che:

- il generatore pesa $2.5 \text{ kN} = 2.5 \cdot 10^3 \text{ N} \approx 2.5 \cdot 10^3 \cdot 0,1 \text{ kg} = 250 \text{ kg}$
- il filo è in acciaio ($E=210 \text{ GPa}$) ed ha il diametro pari a 5 mm



Si determini la tensione normale nel filo e lo spostamento verticale del punto A (il punto B può essere considerato fisso)

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{2500 \text{ N}}{\pi \cdot 2,5^2 \text{ mm}^2} = \text{MPa}$$

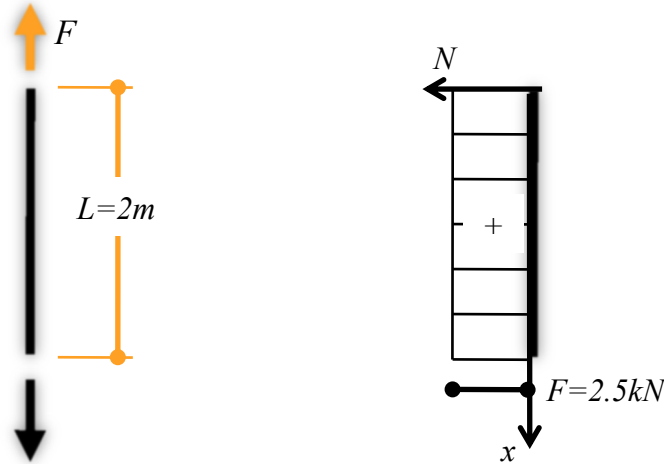
$$\delta = \Delta N = \frac{(L_0)}{EA} N = \frac{5000 \text{ mm} \cdot 2,5 \cdot 10^3 \text{ N}}{210000 \pi \cdot 2,5^2 \text{ mm}^2}$$

da R.R.Craig Jr. "Mechanics of Materials"

Esercizio - soluzione

$$\Delta = \frac{R}{S} = \frac{235 \text{ MPa}}{127,3 \text{ MPa}} = 1,9 \dots ?$$

Tensione nominale



$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{2500 \text{ N}}{\pi 2,5^2 \text{ mm}^2} \cong 127,3 \text{ MPa}$$

Allungamento

$$\delta = \frac{N}{EA} L + \alpha \Delta t L = \frac{2500 \text{ N}}{210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \pi 2,5^2 \text{ mm}^2} 2000 \text{ mm} \cong 1,2 \text{ mm}$$

N.B.

- Nella scrittura di qualunque relazione (anche in forma simbolica) si consiglia di effettuare sempre una analisi dimensionale;
- Nella sostituzione dei valori numerici è fortemente consigliato di esplicitare l'unità di misura al fine di verificarne la congruenza;
- La tensione di esercizio è inferiore a quella di snervamento per il materiale, determinata in una prova di trazione assiale. Nei problemi strutturali la sicurezza è una grandezza "misurabile": è infatti necessario sapere quanto siamo in sicurezza nelle applicazioni strutturali. Alcuni criteri relativi alla misura della sicurezza strutturali saranno introdotti in una successiva parte del corso.

Esercizio

In un porto, la banchina è sostenuta da piloni in legno come mostrato in figura. La parte superiore di un pilone, AB , è al di sopra del pelo libero dell'acqua. La parte intermedia, BC , è a diretto contatto con l'acqua e la restante parte, al di sotto della sezione C , è sottoterra. Il pilone aveva originariamente sezione trasversale circolare e diametro $d_0=30\text{cm}$. Gli agenti biologici e l'azione dell'acqua hanno ridotto il diametro della parte BC .

- a. Se il valore del carico trasferito dalla banchina è $P=890\text{kN}$, trascurando il peso proprio quanto vale la tensione normale nel tratto AB ?

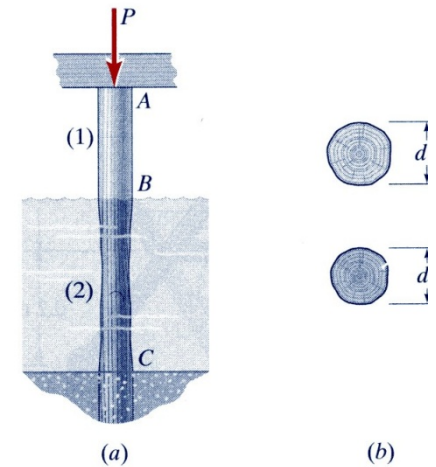
Da una ispezione è emerso che il diametro della parte sott'acqua BC è pari al 95% di quello del tratto AB . Quanto vale la tensione normale presente nella parte sott'acqua della pila?

- c. Se la tensione massima applicabile al legno in compressione è pari a 50MPa , quanto vale il carico massimo P_{max} applicabile alla pila?

$$\sigma_{AB} = \frac{890 \cdot 10^3 \text{ N}}{\pi \cdot 150^2 \text{ mm}^2} =$$

$$\sigma_{BC} = \frac{890 \cdot 10^3 \text{ N}}{\pi \cdot (0,95 \cdot 150)^2 \text{ mm}^2} =$$

$$= \frac{890 \cdot 10^3 \text{ N}}{\pi \cdot 150^2 \text{ mm}^2} \cdot \frac{1}{(0,95)^2}$$



$$\sigma = \frac{N}{A}$$

$$\hookrightarrow N_{max} = A \cdot \sigma_{max}$$

da R.R. Craig Jr. "Mechanics of Materials"

Esercizio - soluzione

a.

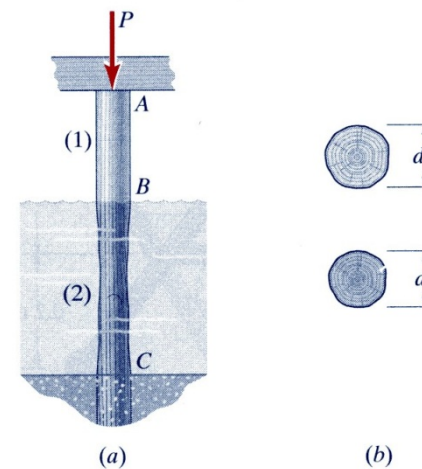
$$\sigma_{AB} = \frac{890000N}{\pi 150^2 mm^2} \cong 12.6MPa$$

b.

$$\sigma_{BC} = \frac{890000N}{\pi (0.95 \times 150)^2 mm^2} = \frac{\sigma_{AB}}{0.95^2} \cong 14.0MPa$$

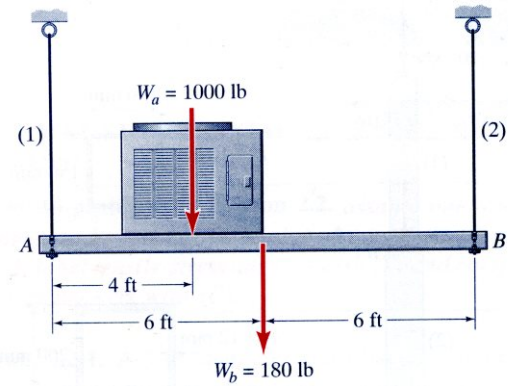
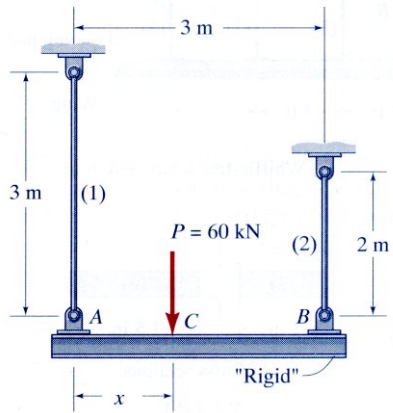
c.

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= \frac{P_{\max}}{A_{\min}} \rightarrow P_{\max} = \sigma_{\max} A_{\min} = \\ &= 50MPa \times \pi (0.95 \times 150)^2 mm^2 \cong 3190kN \end{aligned}$$

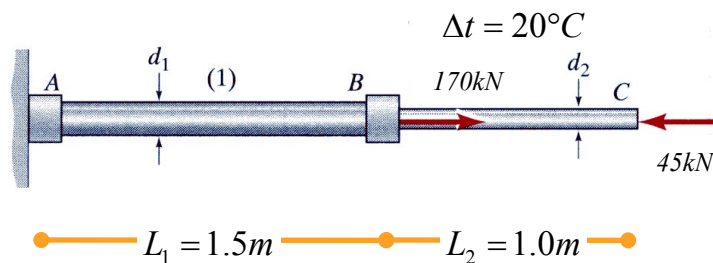


da R.R.Craig Jr. "Mechanics of Materials"

Craig 2.2-9 e 2.2-10 p. 87



Esercizio



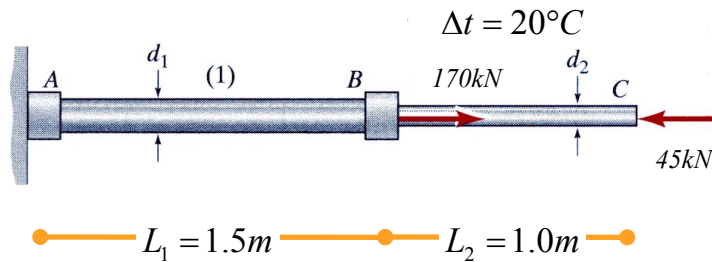
La barra in ottone AB ($E_{ott}=110\text{GPa}$) e quella di alluminio BC ($E_{Al}=70\text{GPa}$, $\alpha_{Al}=23.5 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$) sono collegate in corrispondenza della sezione B come indicato in figura. Entrambe hanno sezione trasversale circolare i cui diametri sono rispettivamente $d_1=60\text{mm}$ e $d_2=50\text{mm}$.

Il tratto BC è sottoposto omogeneamente ad un incremento di temperatura pari a 20°C .

Si determinino:

1. le tensioni normali presenti nelle due aste
2. lo spostamento orizzontale della sezione finale C

Esercizio - soluzione



1. le tensioni normali presenti nelle due aste

$$N_1 = 170 - 45 = 125 \text{ kN}$$

$$\rightarrow \sigma_{AB} = \frac{N_1}{A_1} = \frac{125000}{\pi 30^2} \cong 44.2 \text{ MPa}$$

$$N_2 = -45 \text{ kN}$$

$$\rightarrow \sigma_{BC} = \frac{N_2}{A_2} = -\frac{45000}{\pi 25^2} \cong 22.9 \text{ MPa}$$

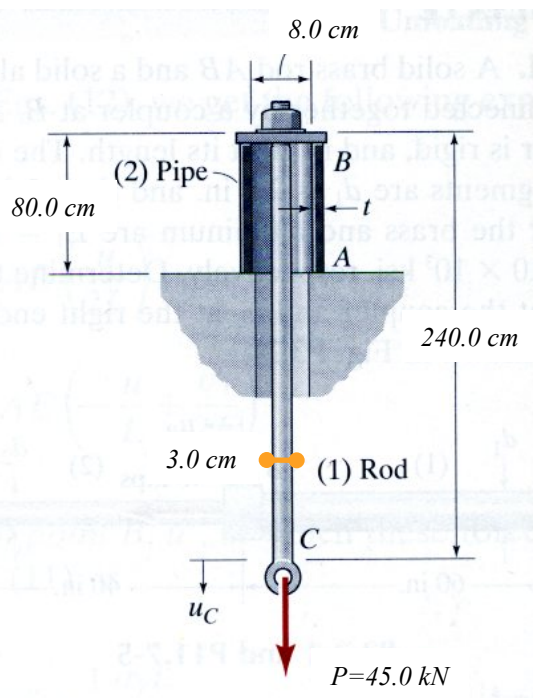
2. lo spostamento orizzontale della sezione finale C

$$\delta_1 = \frac{N_1 L_1}{E_1 A_1} = \frac{125000 \text{ N} \times 1500 \text{ mm}}{110000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \pi 30^2 \text{ mm}^2} \cong 0.6 \text{ mm}$$

$$\delta_2 = \frac{N_2 L_2}{E_2 A_2} + \alpha \Delta t L_2 = -\frac{45000 \text{ N} \times 1000 \text{ mm}}{70000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \pi 25^2 \text{ mm}^2} + \frac{23.5 \times 10^{-6}}{^\circ\text{C}} 20^\circ\text{C} \times 1000 \text{ mm} \cong 0.1 \text{ mm}$$

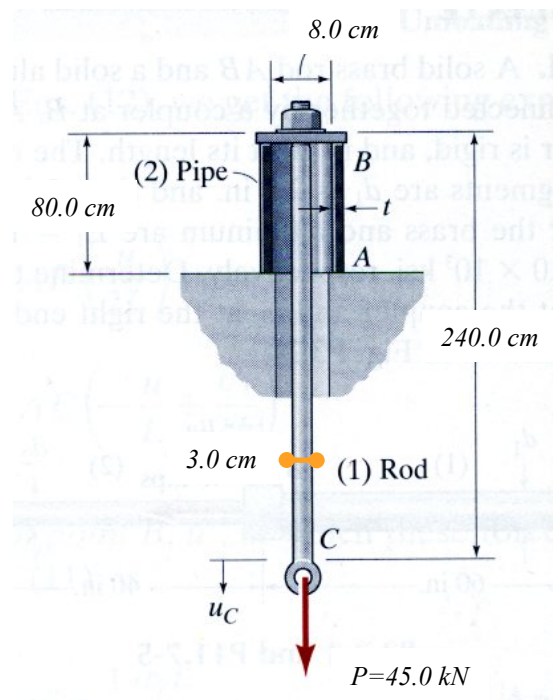
$$u_C = \delta_1 + \delta_2 = 0.7 \text{ mm}$$

Esercizio



L'asta BC indicata in figura è realizzata in alluminio ($E_{Al} = 70 \text{ GPa}$) ed ha sezione trasversale circolare. È collegata in corrispondenza della sezione B ad una camicia in acciaio ($E_{acc} = 210 \text{ GPa}$). Si determini il minimo diametro della camicia metallica AB tale che lo spostamento verticale della sezione c sia inferiore a 2.5 mm .

Esercizio - soluzione



$$N_1 = -N_2 = P = 45.0 \text{ kN}$$

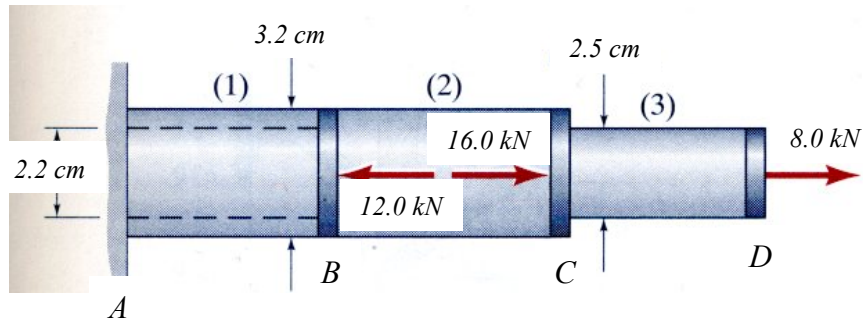
$$u_c = P \left(\frac{L_1}{E_1 A_1} + \frac{L_2}{E_2 A_{2_{\min}}} \right)$$

$$\rightarrow A_{2_{\min}} = \frac{L_2}{E_2} \left(\frac{u_c}{P} - \frac{L_1}{E_1 A_1} \right)^{-1} \cong 540 \text{ mm}^2$$

$$A_{2_{\min}} = \pi (r_e^2 - r_i^2) = \pi [(r_i + t_{\min})^2 - r_i^2]$$

$$\rightarrow t_{\min} \cong 1.1 \text{ mm}$$

Esercizio



● $L_1 = 1.0\text{ m}$ ● $L_2 = 1.2\text{ m}$ ● $L_3 = 0.8\text{ m}$ ●