

# **LA PROVA DI TRAZIONE**

Laboratorio di Metallurgia AA 2007-2008

# INTRODUZIONE

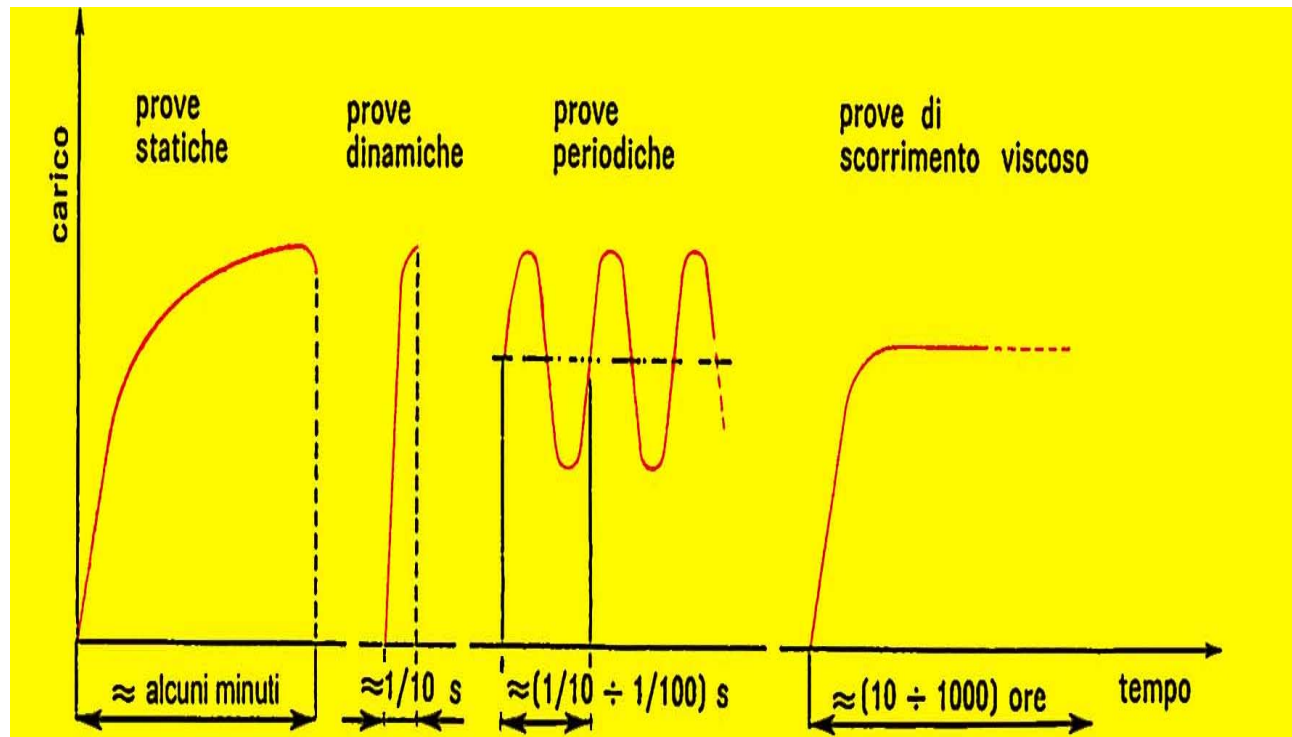
Le proprietà meccaniche di un materiale rappresentano la resistenza che questo ha nei confronti delle sollecitazioni che operano su esso.

La misura delle proprietà è effettuata mediante prove che si dividono in base al:

- metodo di esecuzione in:
  - a) convenzionali
  - b) simulate
  - c) reali

# INTRODUZIONE

- tempo di applicazione del carico in:
  - i) statiche
  - ii) dinamiche
  - iii) periodiche
  - iv) per scorrimento viscoso



# INTRODUZIONE

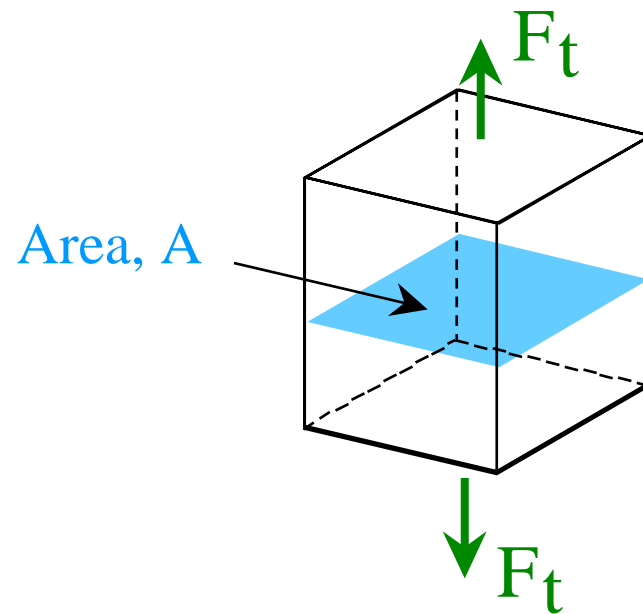
La prova di trazione è una **prova statica** e rappresenta il **più importante test convenzionale**.

Fornisce grandezze, che per quanto convenzionali, sono utilizzate:

- **nella progettazione**
- **nella valutazione sull'applicabilità di processi tecnologici ad un materiale**
- **in indagini di carattere scientifico o di failure-analysis**

# CONCETTO TECNOLOGICO DI TENSIONE

- Tensione di trazione,  $\sigma$ :



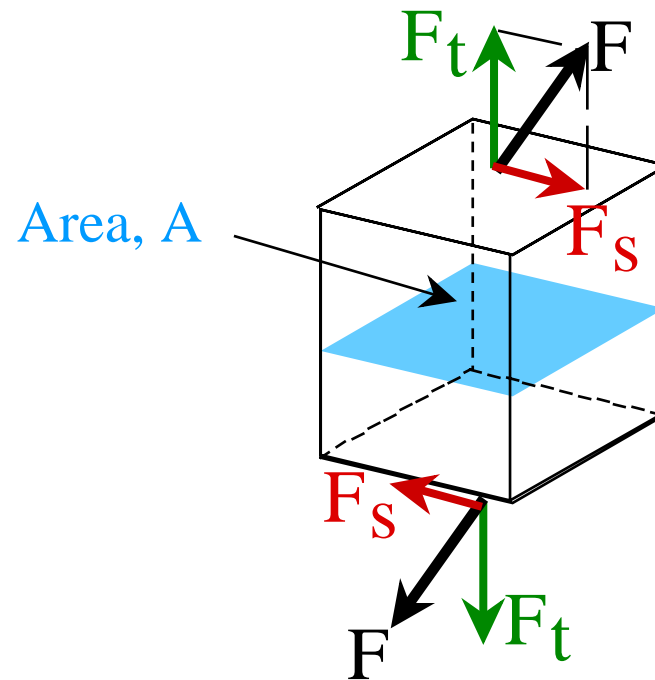
Unità di Misura: Pa

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

← Area prima del carico

# CONCETTO TECNOLOGICO DI TENSIONE

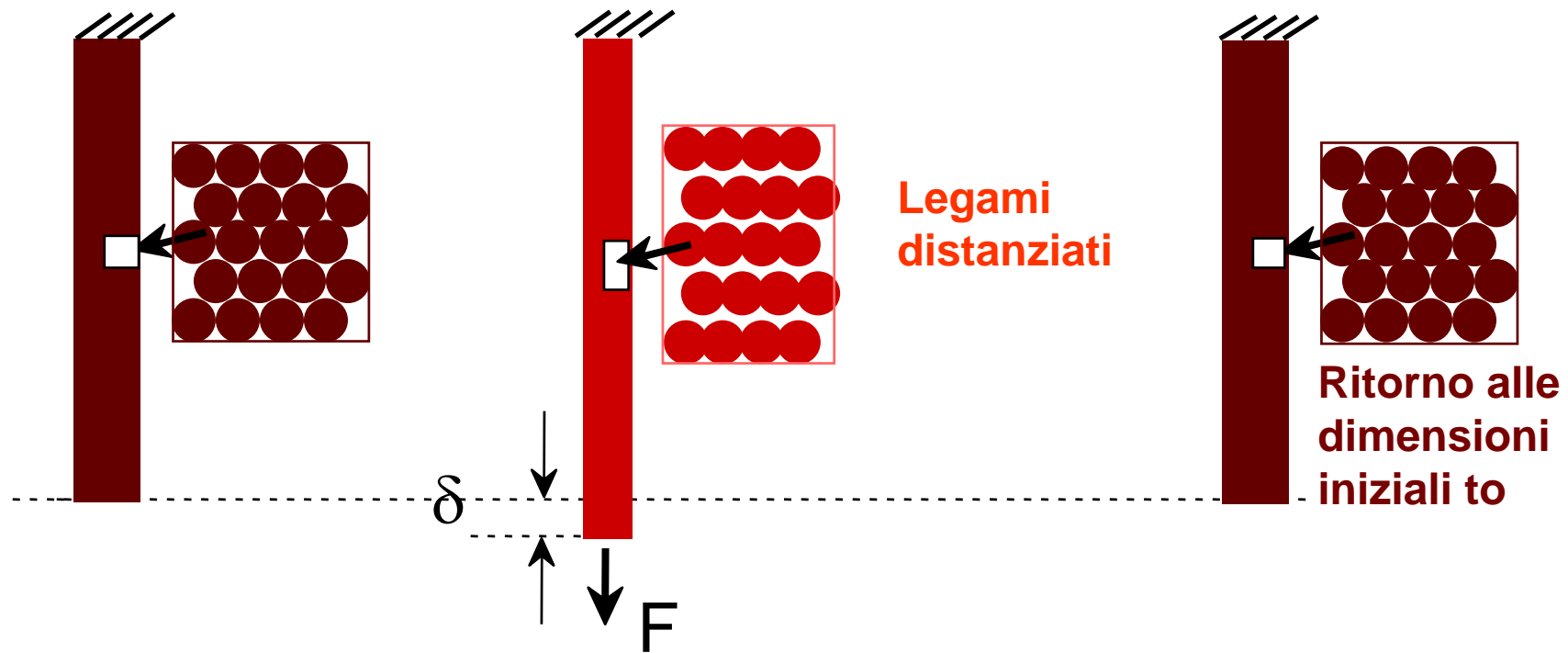
- Tensione di taglio,  $\tau$ :



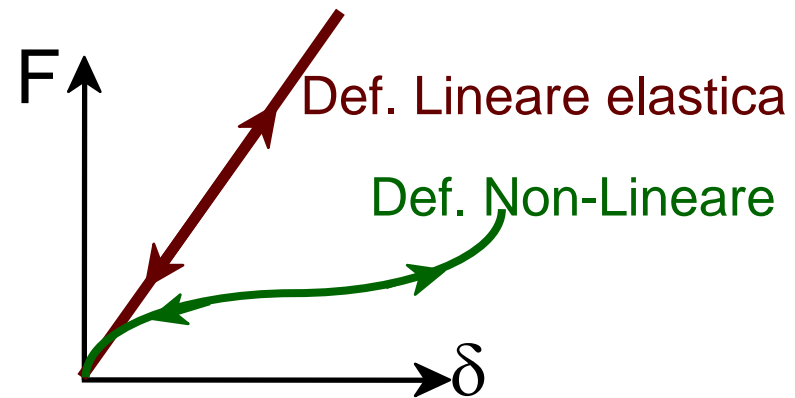
Unità di Misura: Pa

$$\tau = \frac{F_s}{A_o}$$

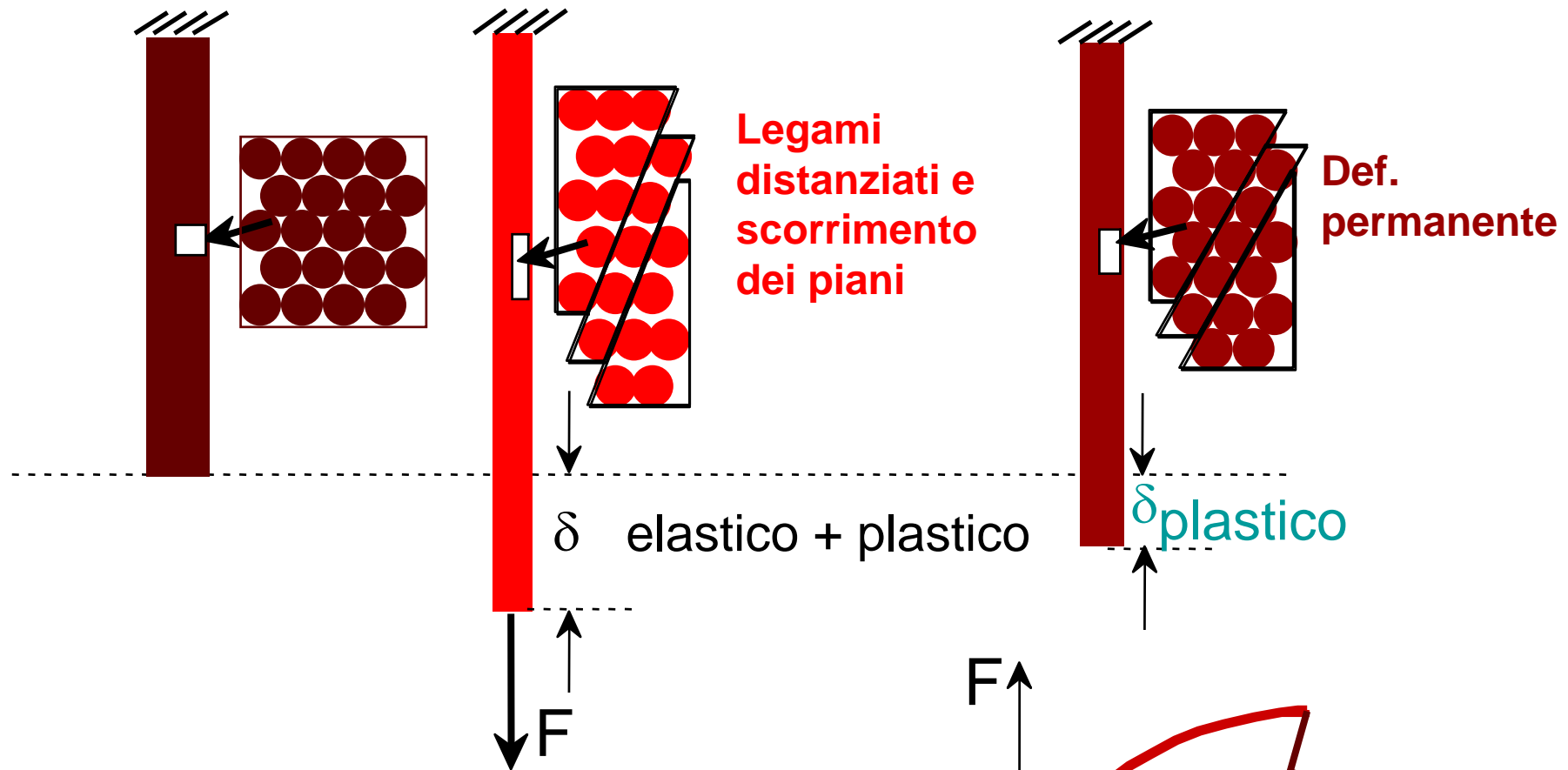
# CONCETTO DI DEFORMAZIONE ELASTICA



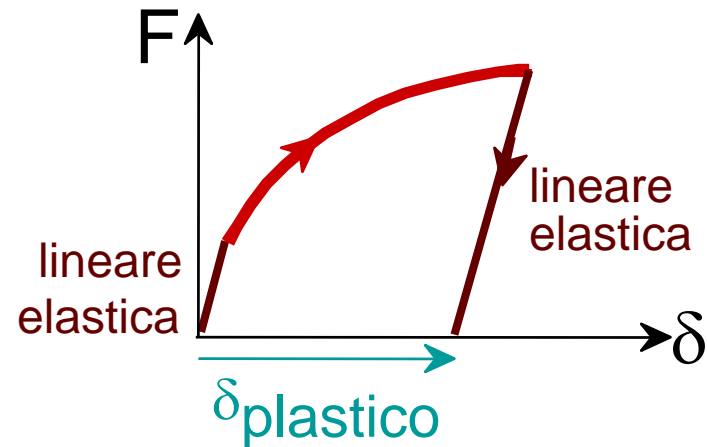
Una deformazione elastica è reversibile



# CONCETTO DI DEFORMAZIONE PLASTICA



Una deformazione plastica è irreversibile





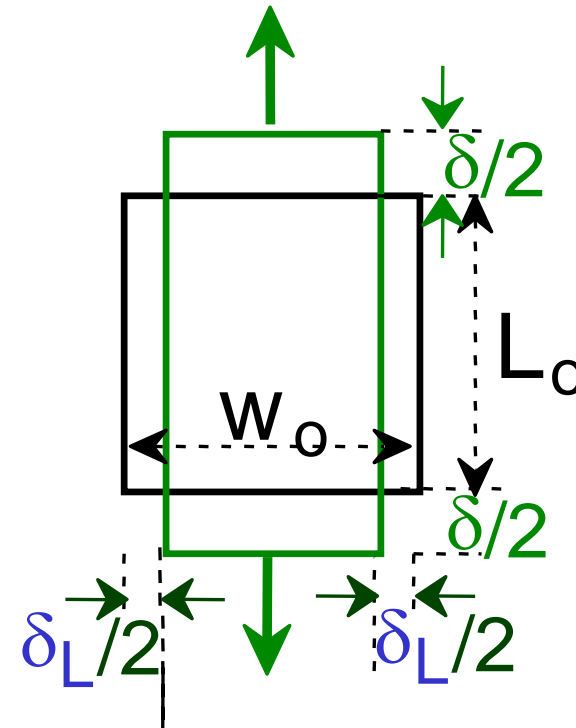
# CONCETTO TECNOLOGICO DI DEFORMAZIONE

- Deformazione longitudinale:

$$\varepsilon = \frac{L_f - L_0}{L_0} \quad \varepsilon = \frac{\delta}{L_0}$$

- Deformazione laterale:

$$\varepsilon_L = \frac{W_f - W_0}{W_0} \quad \varepsilon_L = \frac{-\delta_L}{W_0}$$



La deformazione è espressa da un numero puro

# CONCETTO DI TENSIONE E DEFORMAZIONE REALI

- Tensione reale

$$\sigma = \frac{P}{A_i}$$

$A_i$  ← Sezione istantanea

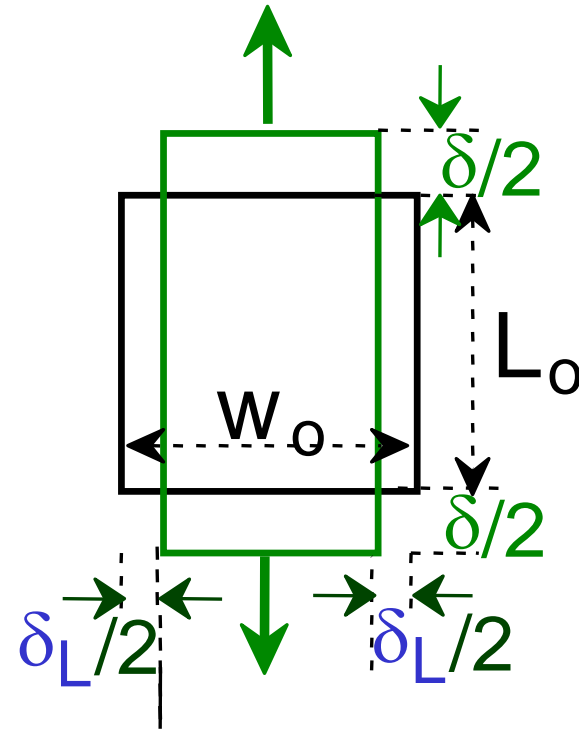
- Deformazione reale

$$d\varepsilon = \frac{dl}{l_i}$$

$l_i$  ← Lunghezza istantanea

$$\varepsilon = \int_{L_0}^{L_f} \frac{dl}{l_i} = \ln \frac{L_f}{L_0}$$

$L_f$  ← Lunghezza finale  
 $L_0$  ← Lunghezza iniziale

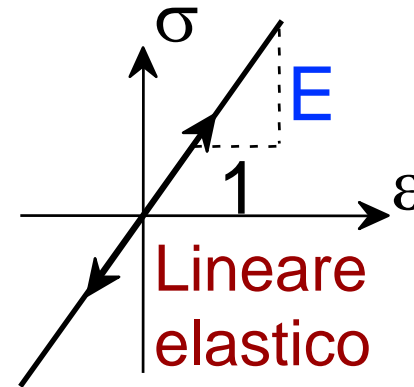


# PROPRIETA' LINEARI ELASTICHE

- Modulo di elasticità  $E$ :  
(Modulo di Young)

- Legge di Hooke:

$$\sigma = E \varepsilon$$



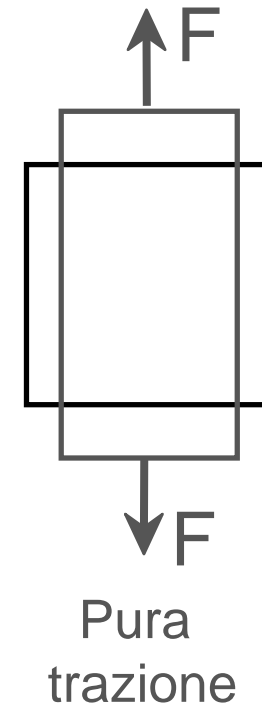
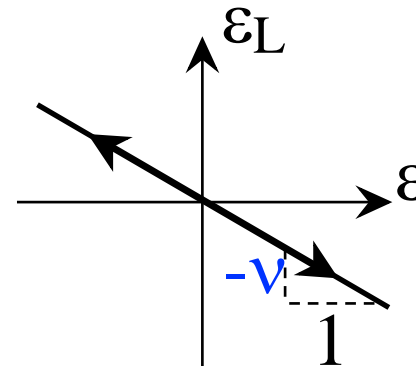
- Coefficiente di Poissons  $\nu$ :

$$\nu = - \frac{\varepsilon_L}{\varepsilon}$$

Unità di misura:

$E$ : [GPa]

$\nu$ : a-dimensionale



# RELAZIONI LINEARI ELASTICHE

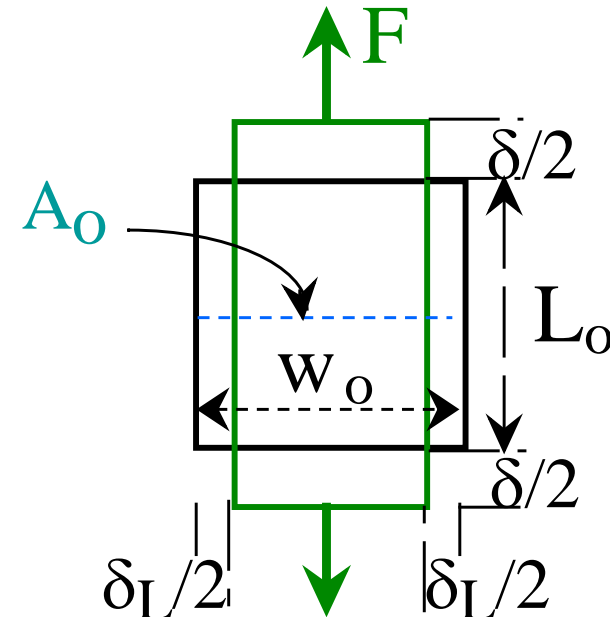
- Tensione semplice:

Deformazione longitudinale

$$\delta = \frac{FL_o}{EA_o}$$

Deformazione laterale

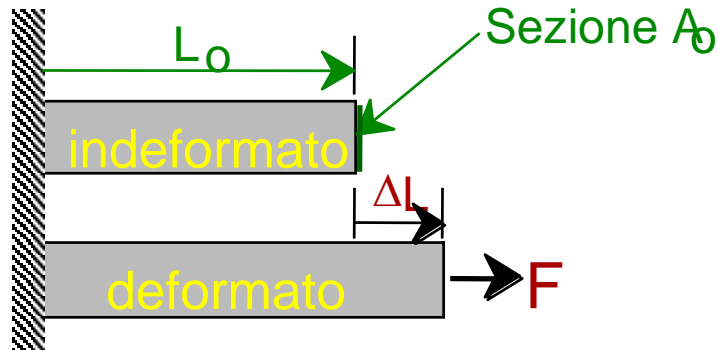
$$\delta_L = -\nu \frac{FW_o}{EA_o}$$



- La deformazione a cui è soggetto un componente meccanico è legato al materiale con cui è costruito, alla sua geometria ed alle condizioni di carico.
- Un elevato modulo elastico riduce le deformazioni sotto carico.

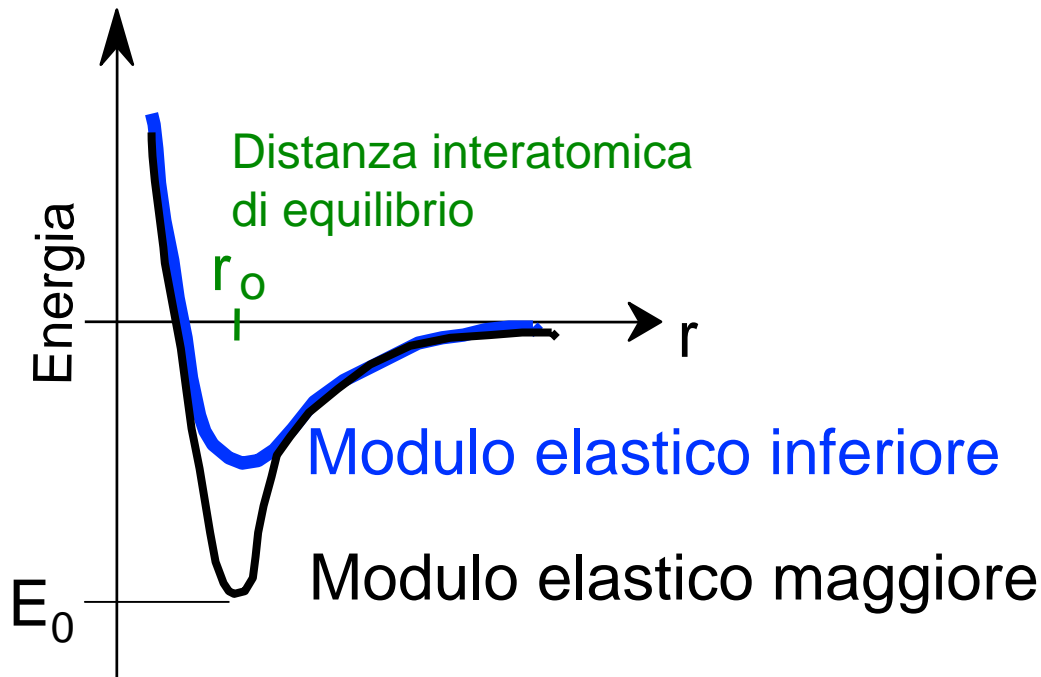
# MODULO ELASTICO E LEGAME ATOMICO

- Modulo elastico E:



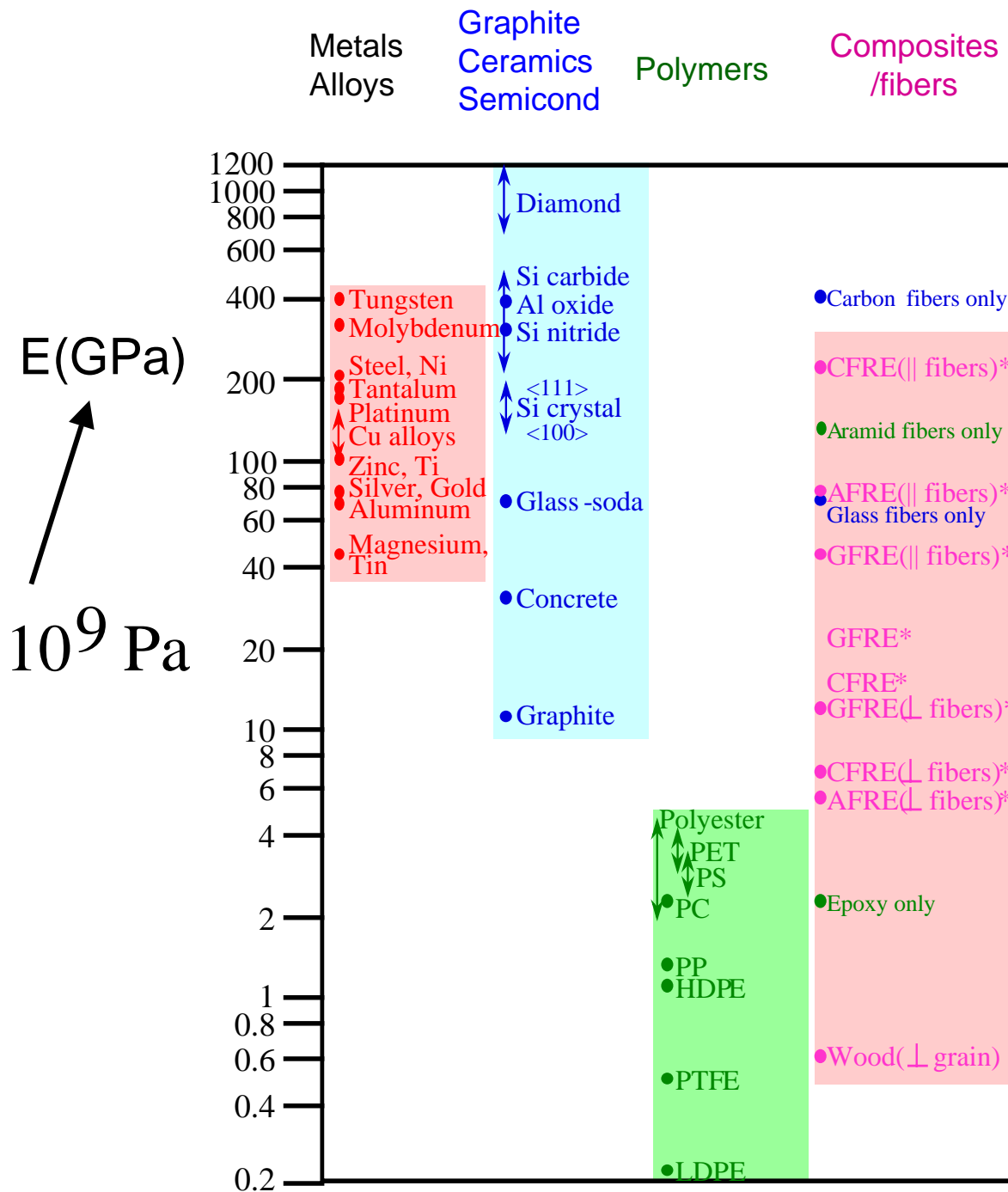
Modulo elastico

$$\frac{F}{A_0} = E \frac{\Delta L}{L_0}$$



- $E \sim$  curvatura in  $r_0$

E aumenta all'aumentare del valore  $E_0$  dell'energia



$E_{\text{ceramics}}$

$> E_{\text{metals}}$

$>> E_{\text{polymers}}$

Based on data in Table B2, *Callister 6e*.

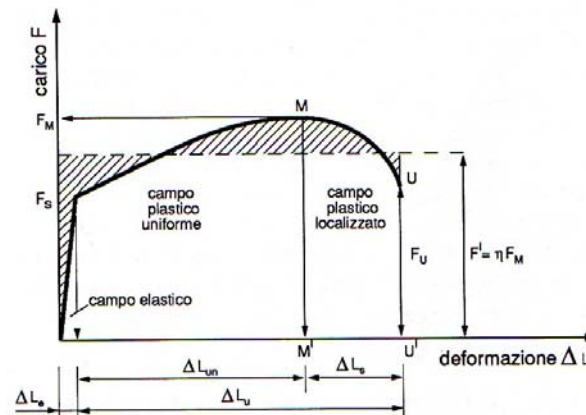
Composite data based on reinforced epoxy with 60 vol% of aligned carbon (CFRE), aramid (AFRE), or glass (GFRE) fibers.

# LA PROVA DI TRAZIONE

La prova di trazione è eseguita su **provette** (con dimensioni e geometria opportuna) attraverso l'applicazione di un **carico monoassiale crescente** (se pur lentamente).

I risultati della prova di trazione sono rappresentati da un diagramma **carico-allungamento** e da una serie di grandezze relative alla resistenza, deformabilità, ed all'elasticità di cui è costituito il provino.

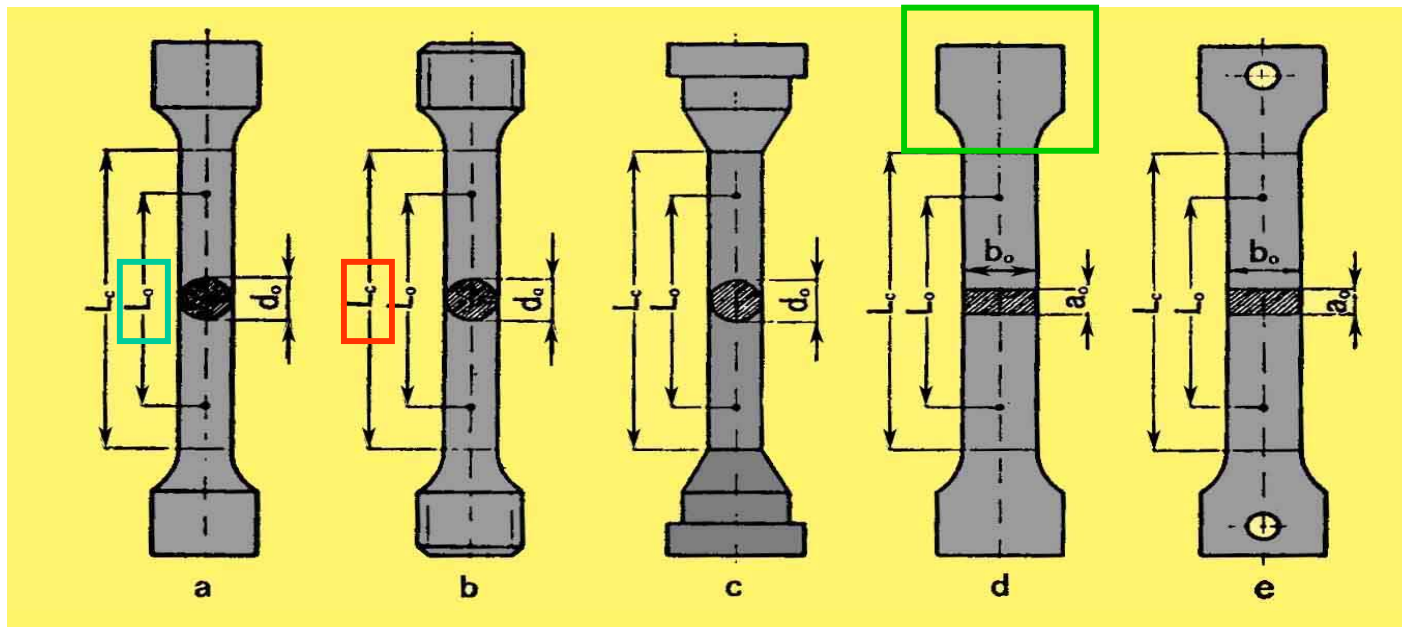
La normativa di riferimento per l'Europa è la **EN 10002**



# LA PROVA DI TRAZIONE

Nelle **provette** di trazione si distinguono:

- **Tratto utile**  $L_0$
- **Tratto calibrato**  $L_C$  ( $L_0 + d_0/2 < L_C < L_0 + 2d_0$ )
- Le **teste** opportunamente raccordate al tratto calibrato
- La sezione che può essere circolare, quadrata, rettangolare.

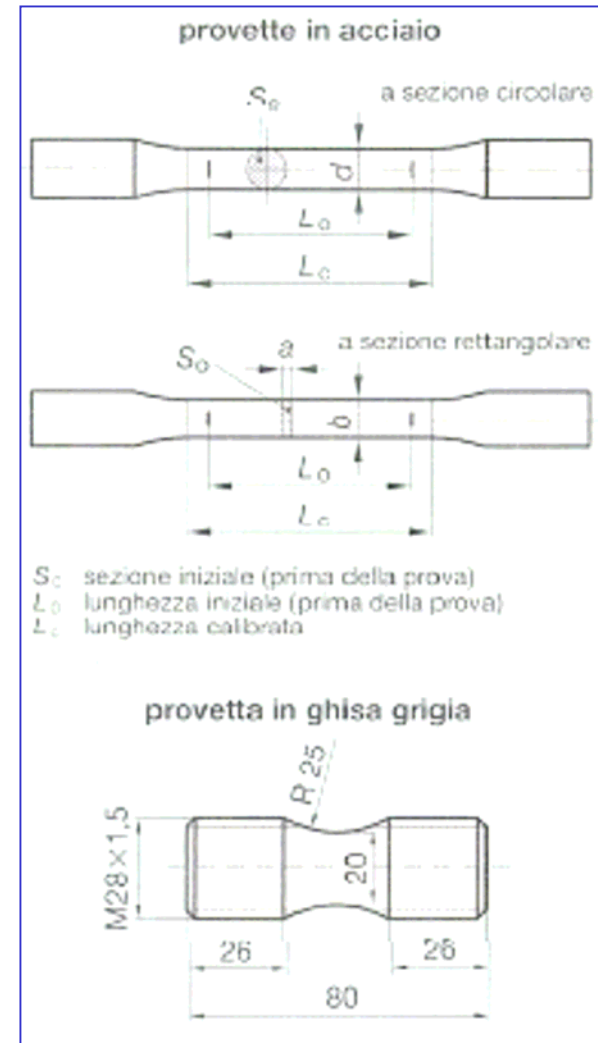




# LA PROVA DI TRAZIONE

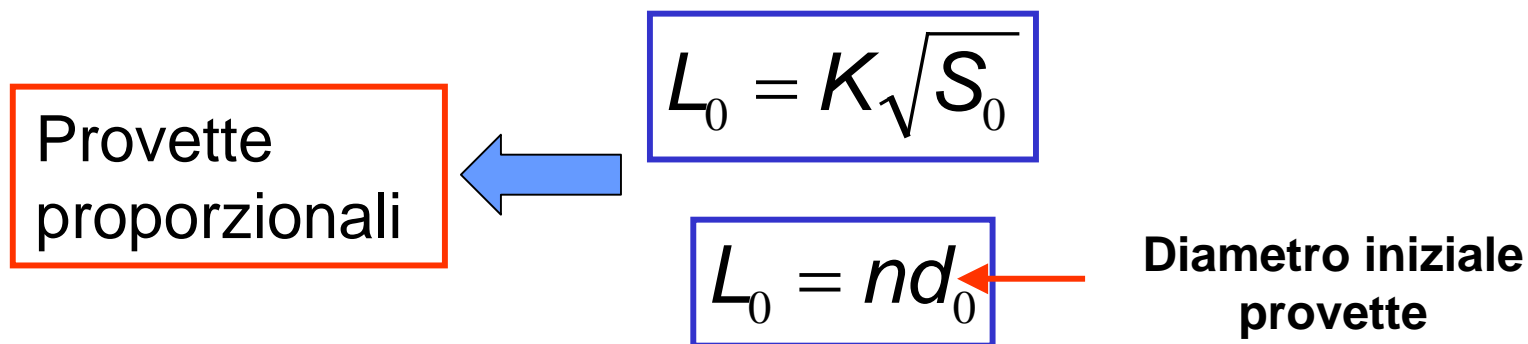
La geometria delle provette può variare in funzione di:

- Materiale da testare
- Processo tecnologico con cui è stato prodotto il materiale (fusione, deformazione, ecc )
- Tipologia di componente da cui il provino è stato ricavato (lamiera, tubo, filo ecc..)



# LA PROVA DI TRAZIONE

Affinché tutte le grandezze che si ottengono dalla prova risultino indipendenti dalla geometria della provetta è necessario che il rapporto fra la **lunghezza**  $L_0$  e la **sezione iniziale**  $S_0$  rispetti le seguenti relazioni:

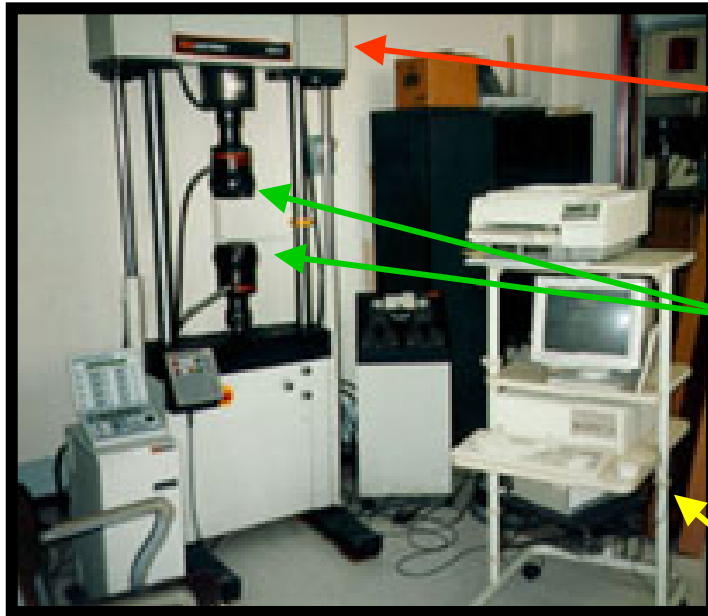


Nelle normative Europee  $K=5,65$  ed  $n=5$

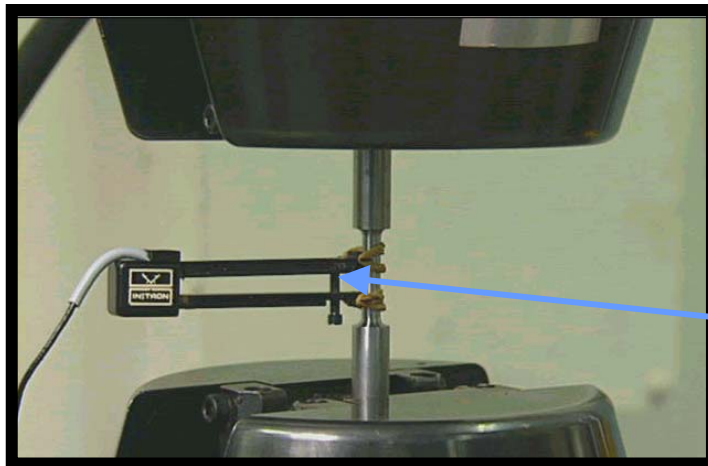
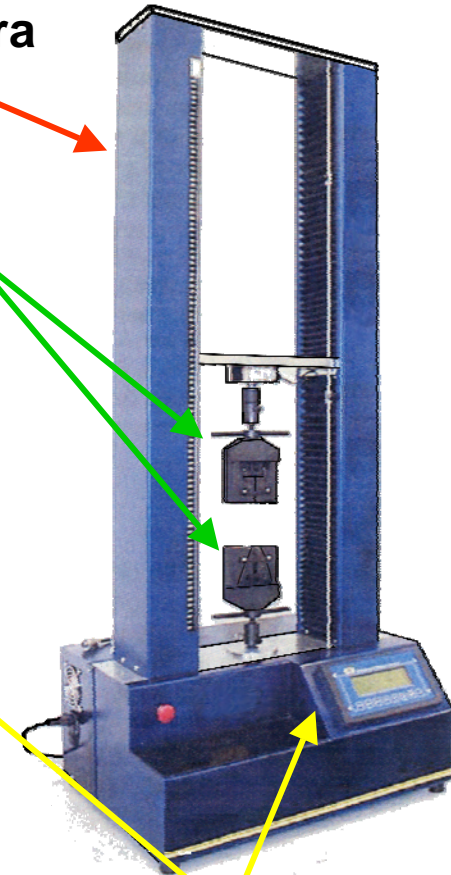
Nelle normative americane  $K=4,61$  ed  $n=4$

# LA PROVA DI TRAZIONE

**Macchina idraulica**



**A viti**



**incastellatura**

**afferraggi**

**estensimetro**

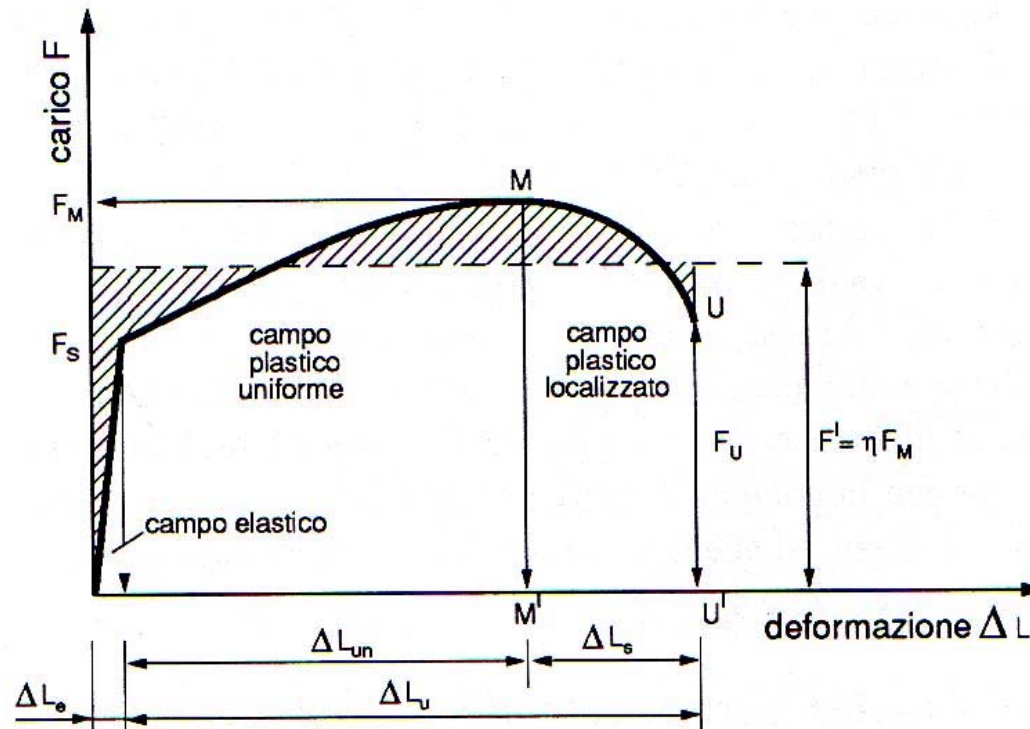
**Sistema  
acquisizione**

# LA PROVA DI TRAZIONE

In **campo elastico**:

**Teoricamente** in queste condizioni la parte della curva interessata è un segmento rettilineo, e le deformazioni si annullano se il carico viene riportato a zero

**Realmente**, la curva si discosta quasi subito dalla tangente all'origine, ma se lo scostamento è molto piccolo, scaricando il provino la deformazione si annulla e quindi si può ritenere valida la legge di Hooke.



# LA PROVA DI TRAZIONE

## Campo elastico

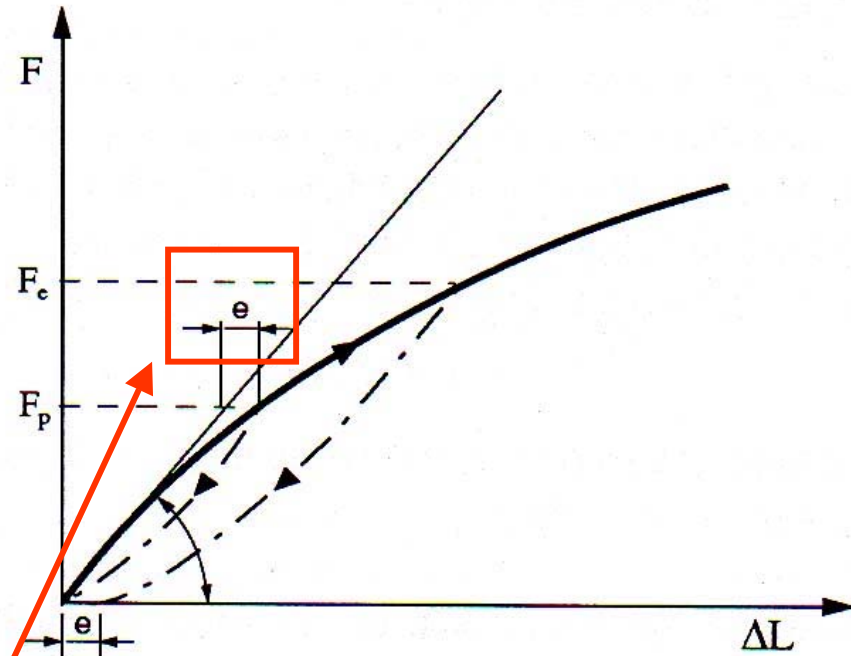
- Carico di scostamento dalla proporzionalità  $F_{p(0,..)}$



- Carico unitario (tensione) di scostamento dalla proporzionalità:

$$R_{p(0,..)} = \sigma_{p(0,..)} = F_{p(0,..)} / S_0 \text{ (MPa)}$$

La duplice simboleggiatura prevista dalle norme si riferisce ad applicazioni tecnologiche  $R_{p(0,..)}$  o scientifiche  $\sigma_{p(0,..)}$



Il valore fra parentesi indica lo scostamento percentuale della curva di trazione dalla sua tg all'origine per cui si è calcolato il valore del carico. 0,002% in campo scientifico, 0,02% in campo tecnologico.

# LA PROVA DI TRAZIONE

## Campo elastico

- Carico totale al limite elastico

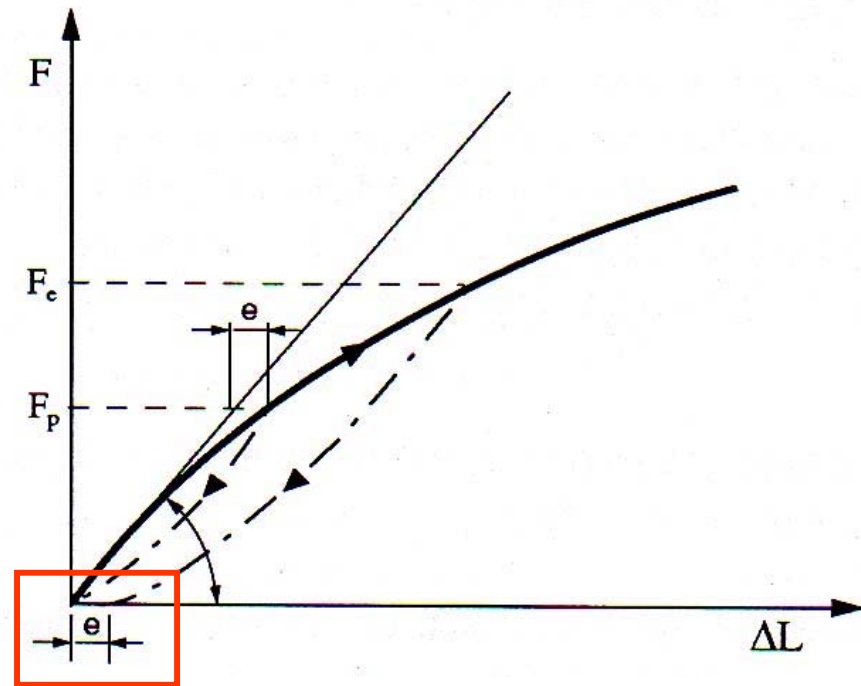
$F_{e(0,..)}$



- Carico unitario (tensione) al limite elastico:

$$R_{e(0,..)} = \sigma_{e(0,..)} = F_{e(0,..)} / S_0 \text{ (MPa)}$$

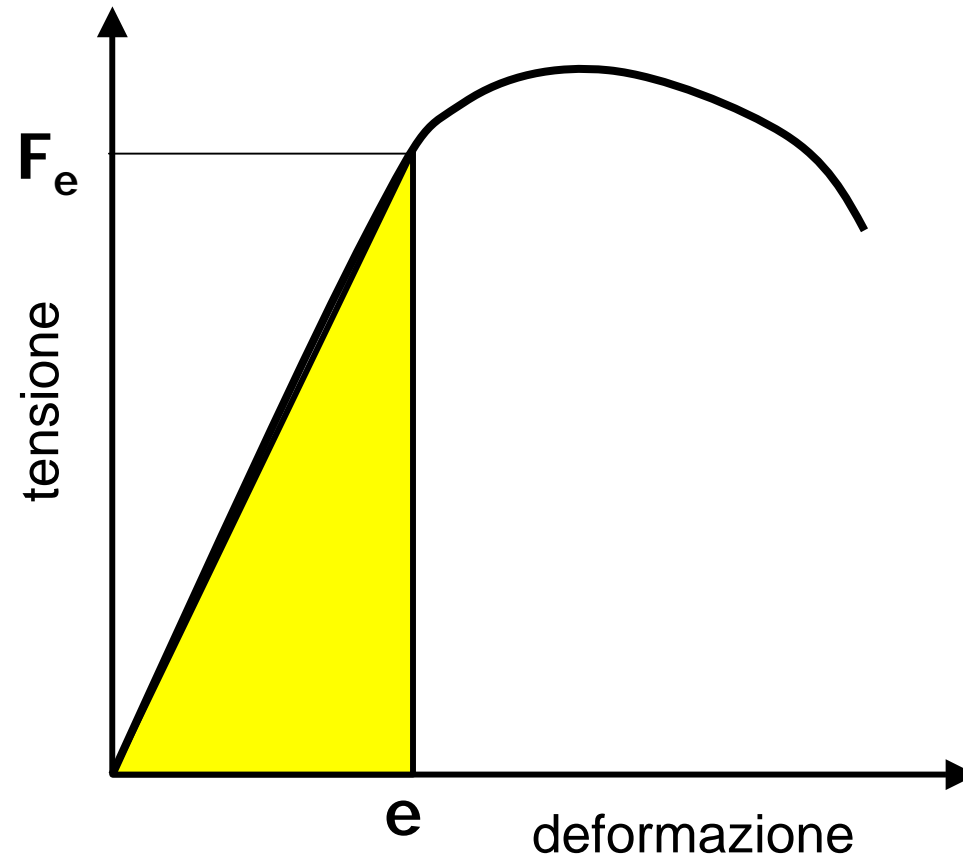
La duplice simboleggiatura prevista dalle norme si riferisce ad applicazioni tecnologiche  $R_{e(0,..)}$  o scientifiche  $\sigma_{e(0,..)}$



Il valore fra parentesi indica la deformazione plastica permanente, (in percentuale) indotta dal carico applicato dopo che questo viene riportato a 0.

# LA PROVA DI TRAZIONE

“**Modulo di resilienza**” rappresenta l’energia elastica che viene immagazzinata dal materiale durante la prova di trazione ed è individuato dall’area sottesa dalla parte elastica della curva tensione-deformazione.



# LA PROVA DI TRAZIONE

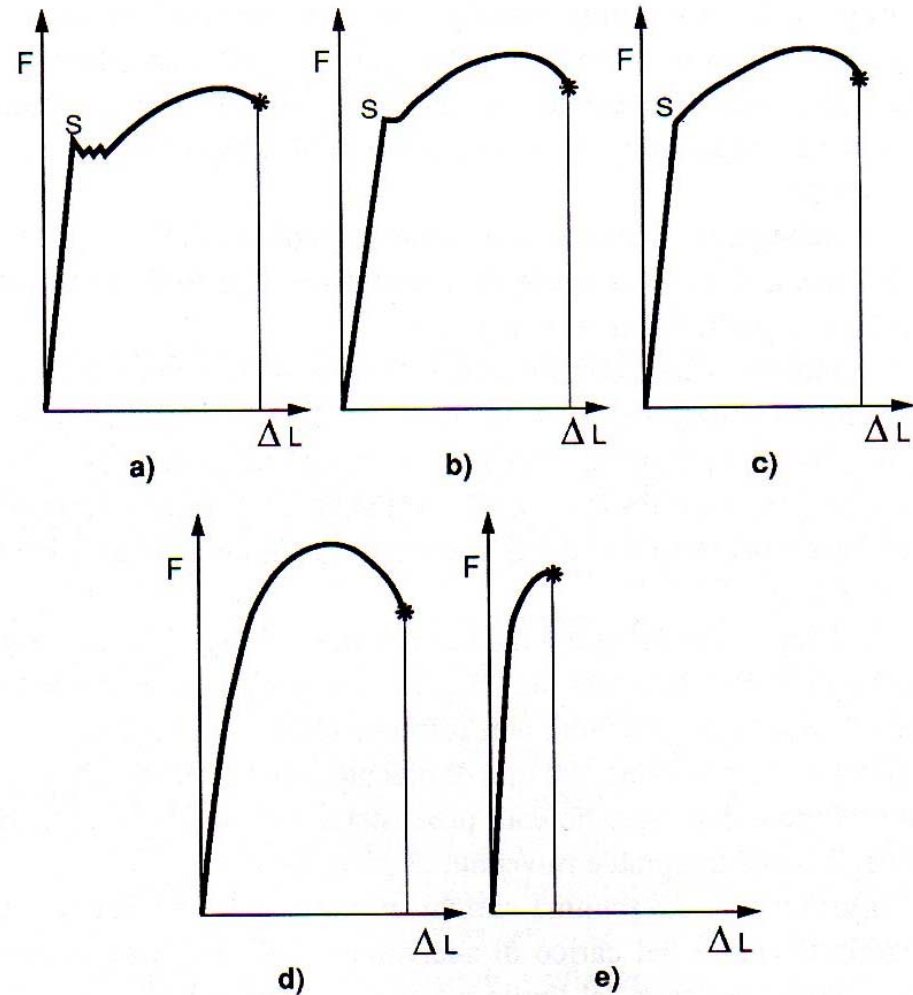
## Campo plastico:

Carico totale di snervamento superiore  $F_s$ . Rappresenta il carico per cui si ha un “cedimento improvviso” del materiale per l'effetto d'incrudimento dei cristalli deformati plasticamente. Questo cedimento si arresta ad un valore inferiore del carico detto carico totale di snervamento inferiore  $F_i$ .



Carico unitario di snervamento

$$R_s = \sigma_s = F_s/S_0 \text{ (MPa)}$$





# LA PROVA DI TRAZIONE

## Campo plastico:

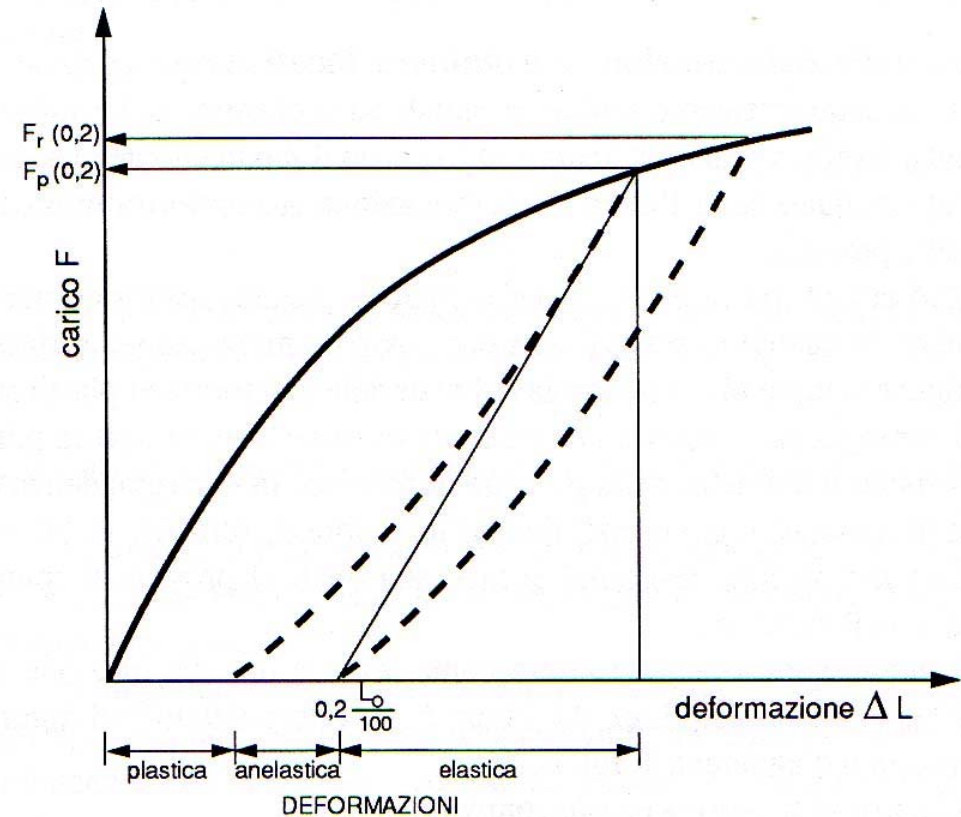
Qualora dal diagramma carichi allungamenti non risulti rilevabile il valore del carico di snervamento, si stabilisce convenzionalmente di sostituirlo con quel carico che induce una **deformazione permanente dello 0,2%:  $F_{r(0,2)}$** .

Le norme prevedono di sostituire  **$F_{r(0,2)}$**  con il **carico totale di scostamento dalle proporzionali  $F_{p(0,2)}$**



Carico unitario al limite della deformazione permanente dello 0,2%

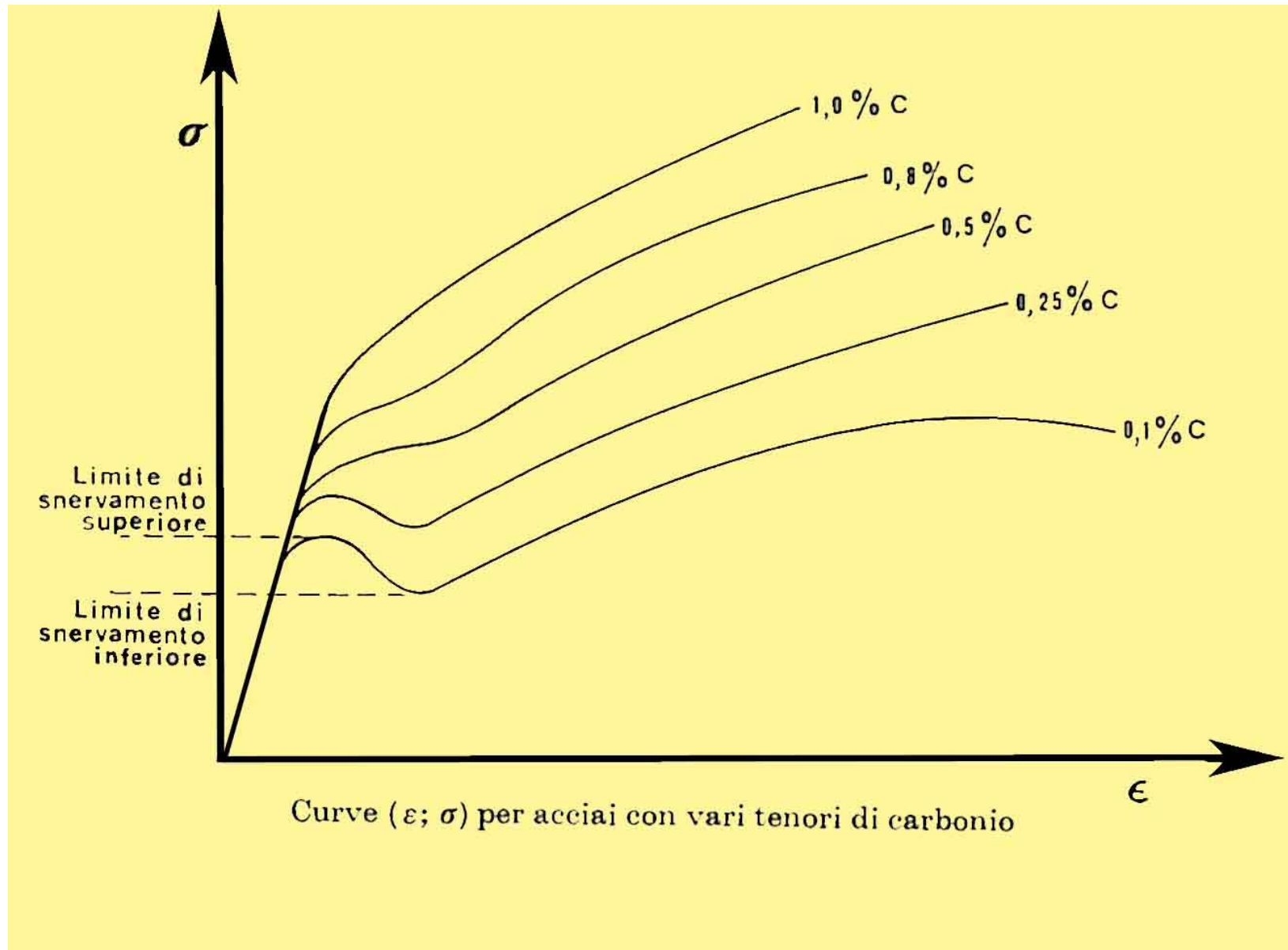
$$R_{r(0,2)} = \sigma_{r(0,2)} = F_{r(0,2)} / S_0 \text{ (MPa)}$$



Carico unitario di scostamento dalla proporzionalità allo 0,2%

$$R_{p(0,2)} = \sigma_{p(0,2)} = F_{p(0,2)} / S_0 \text{ (MPa)}$$

# LA PROVA DI TRAZIONE



# LA PROVA DI TRAZIONE

## Campo deformazioni localizzate:

A partire dal punto M ha inizio il fenomeno della **strizione** in seguito al quale tutta l'ulteriore deformazione si concentra in un breve tratto della provetta.

Il carico  $F_M$  è definito carico massimo di rottura o resistenza alla trazione.

Il carico  $F_u$  è definito carico ultimo

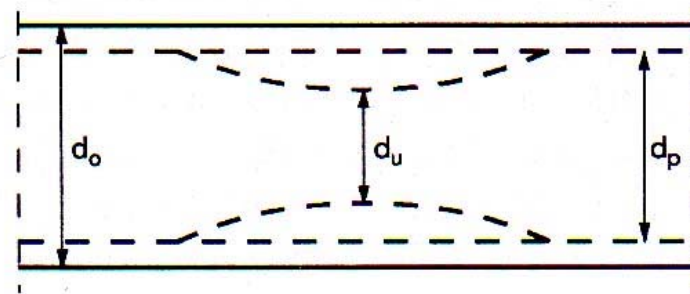
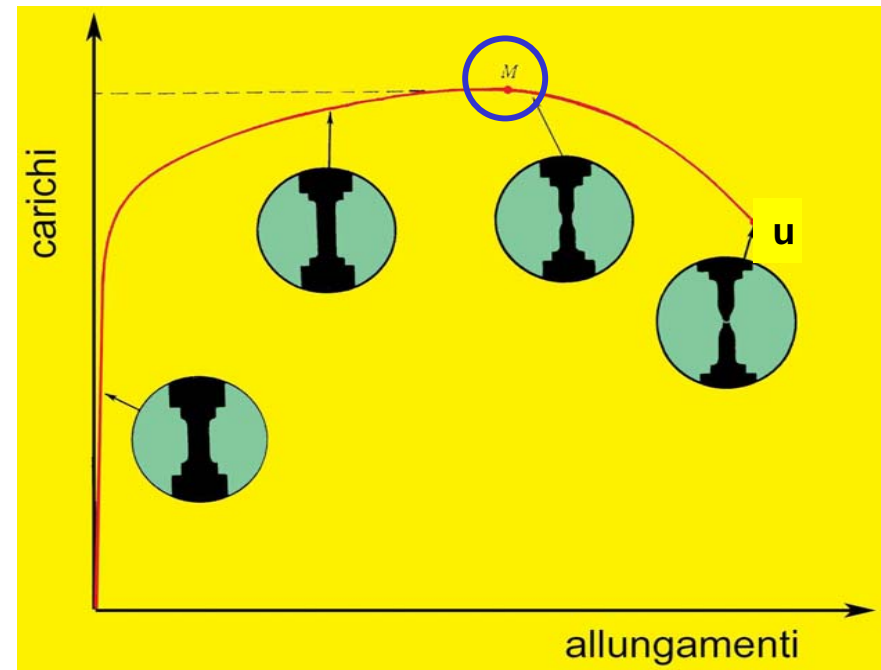


Carico unitario massimo

$$R_M = \sigma_M = F_M/S_0 \text{ (MPa)}$$

Carico unitario ultimo

$$R_u = \sigma_u = F_u/S_0 \text{ (MPa)}$$



# LA PROVA DI TRAZIONE

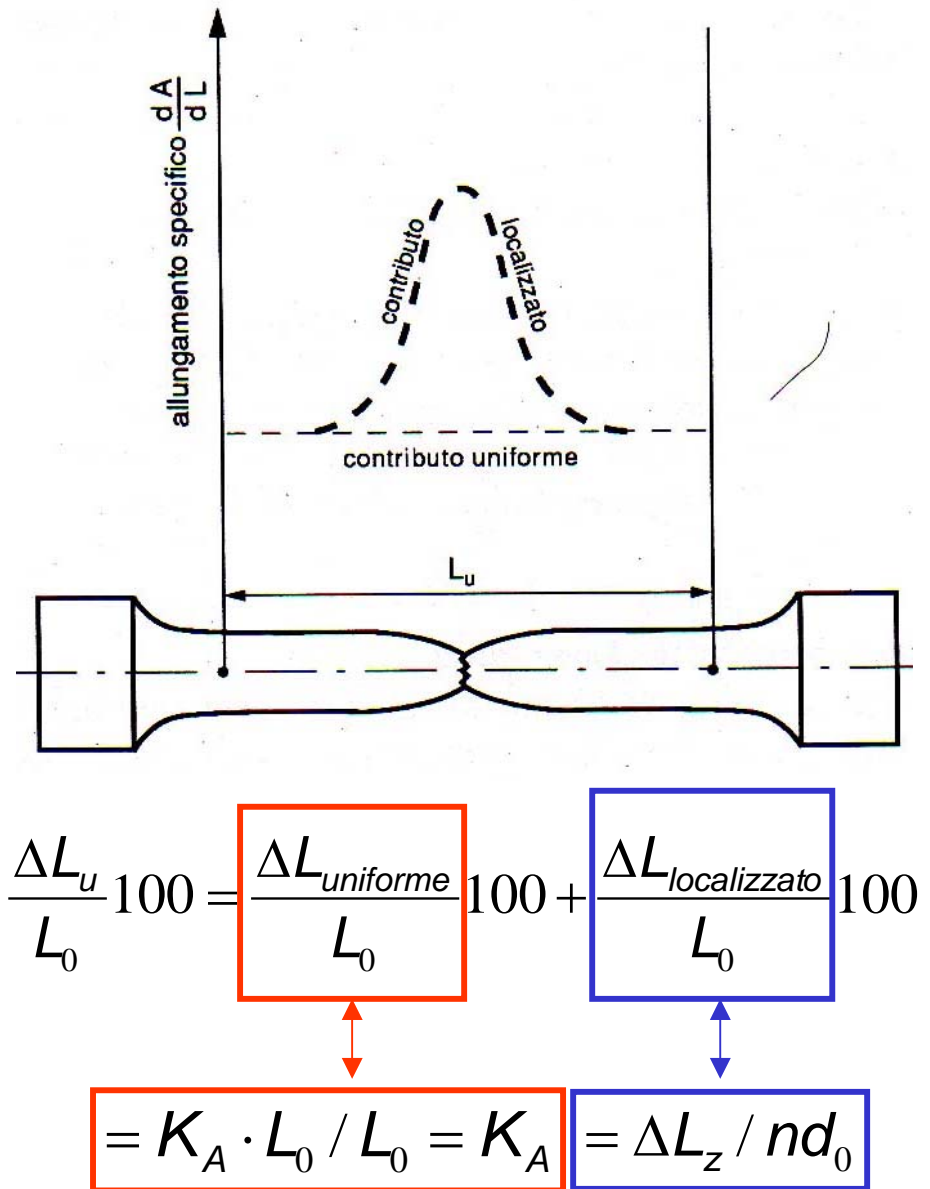
## Allungamento % a rottura

E' definito dalla variazione di lunghezza del tratto utile, dopo rottura, riferito alla lunghezza iniziale e moltiplicato per 100.

$$A_n = \frac{L_u - L_0}{L_0} 100 \quad (\%)$$

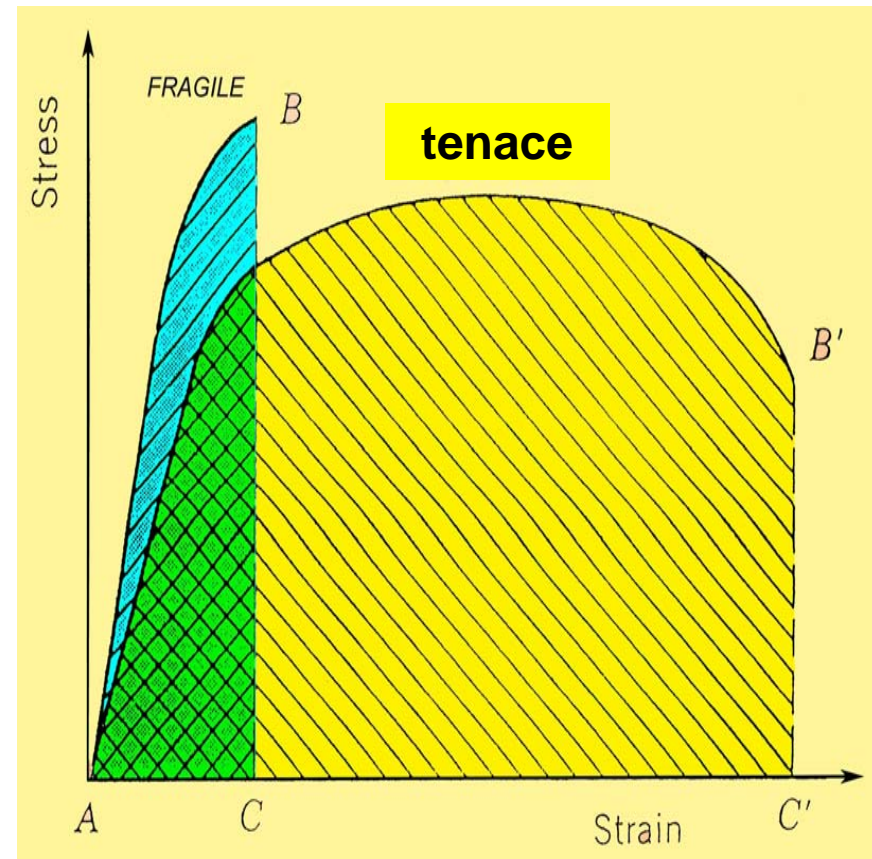
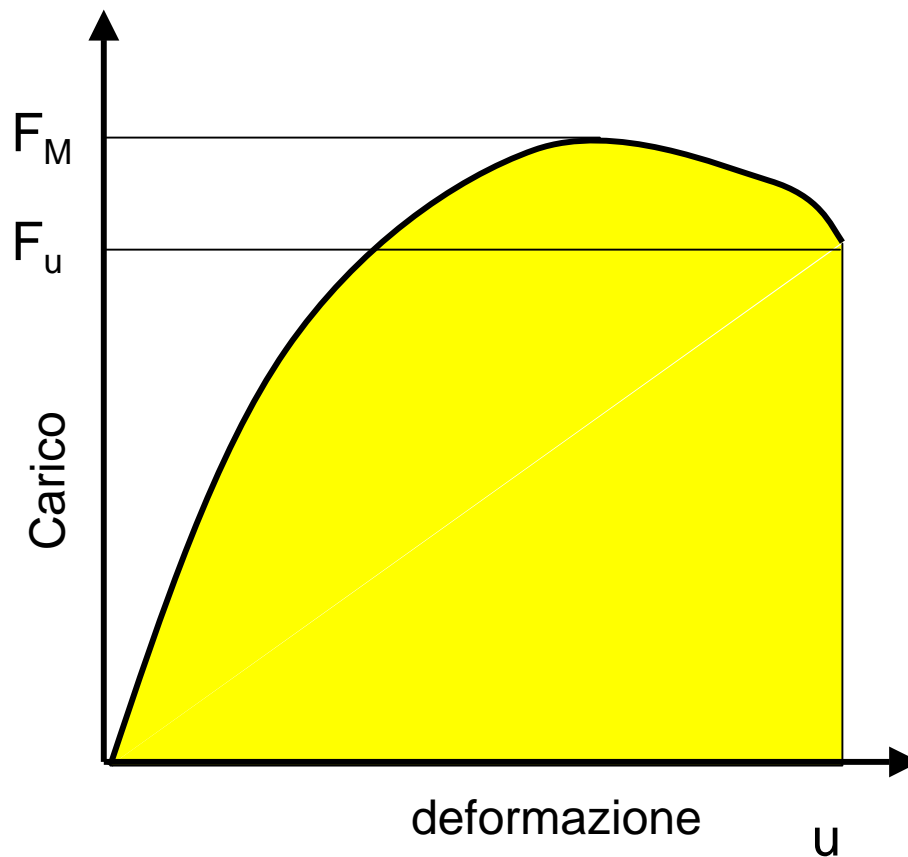
$L_u$  : lunghezza dopo rottura del tratto utile

Questo dato è indice della **duttilità** del materiale. Maggiore è l'allungamento %, maggiore è la sua duttilità.



# LA PROVA DI TRAZIONE

L'area sottesa dalla curva tensione-deformazione rappresenta l'energia assorbita dal provino prima della rottura ed è indice della **tenacità del materiale**.



# LA PROVA DI TRAZIONE

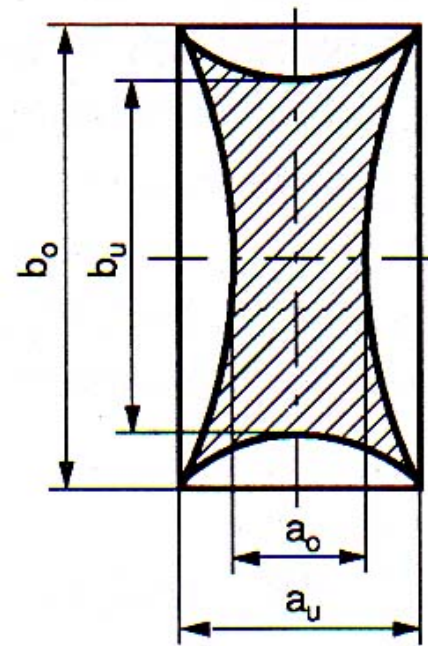
## Coefficiente % di strizione o strizione percentuale

E' definito dalla variazione della sezione di rottura  $S_u$  rispetto alla sezione iniziale  $S_o$  e moltiplicato per 100.

$$Z = \frac{S_o - S_u}{S_o} 100 \quad (\%)$$

Per provette cilindriche

$$Z = \frac{d_o - d_u}{d_o} 100 \quad (\%)$$



# LA PROVA DI TRAZIONE

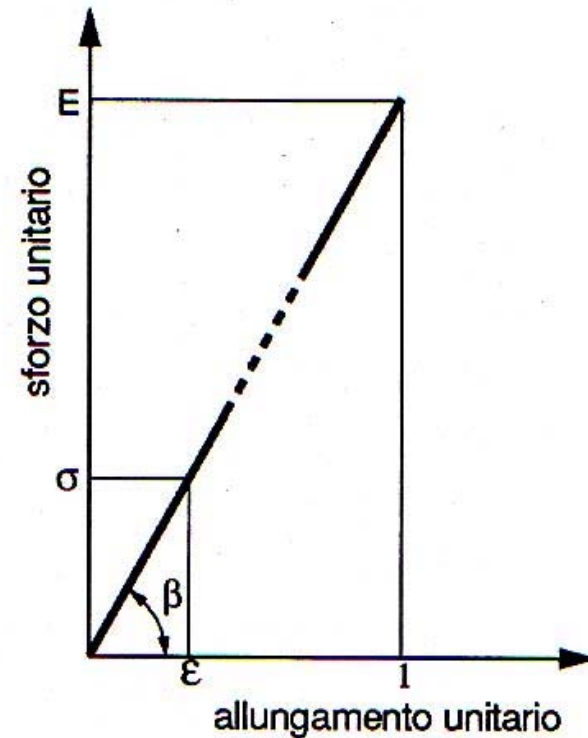
## Modulo di elasticità a trazione o modulo elastico E.

Facendo riferimento alla legge di Hooke il modulo elastico può essere determinato come rapporto fra il carico unitario di trazione  $\sigma$  entro i limiti di proporzionalità e la deformazione  $\varepsilon$  corrispondente.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

o più rigorosamente

$$E = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\sigma}{\varepsilon} = \operatorname{tg} \beta$$



# LA PROVA DI TRAZIONE

## Coefficiente di Poisson $\nu$ .

Definendo la contrazione trasversale unitaria  $\varepsilon_t$  come il rapporto

$$\varepsilon_L = \frac{d_0 - d_u}{d_0}$$

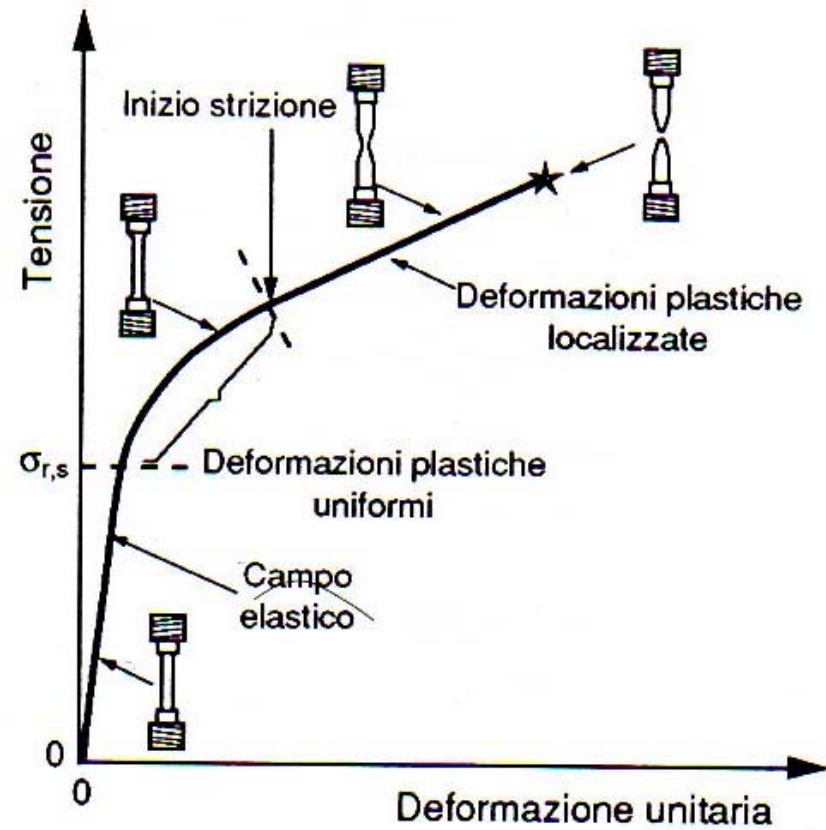
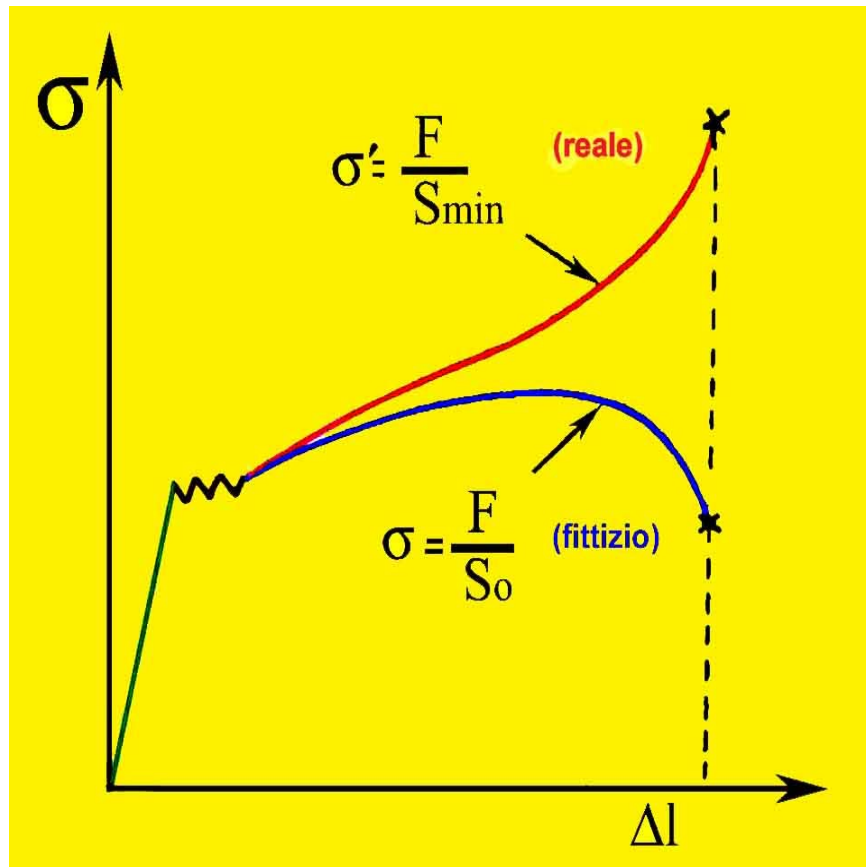
Il coefficiente di Poisson  $\nu$  è il rapporto fra  $\varepsilon_t$  ed  $\varepsilon$

$$\nu = \frac{\varepsilon_L}{\varepsilon}$$



# LA PROVA DI TRAZIONE

## Curva reale o di Flusso



# LA PROVA DI TRAZIONE

La Velocità di applicazione del carico e di deformazione influenzano:

**carico massimo**, che tende ad aumentare all'aumentare della velocità di deformazione;

**limite di snervamento** che ad alte velocità di deformazione tende ad aumentare ma può addirittura scomparire.

Le norme stabiliscono:

velocità di applicazione del carico diverse in funzione del modulo elastico del materiale da testare. Fra **2 e 20 MPa s<sup>-1</sup>** se  $E < 150$  GPa, fra **6 e 60 MPa s<sup>-1</sup>** se  $E > 150$  GPa

velocità di deformazione diverse a seconda della parte della curva che si sta realizzando. Fra **0,00025 e 0,0025 s<sup>-1</sup>** nel tratto sino allo snervamento, **<0,008 s<sup>-1</sup>** nel tratto dopo lo snervamento.

# LA PROVA DI TRAZIONE

**La forma del provino.** Influenza i valori ottenuti dalla prova solo relativamente alle prove scientifiche.

**Coassialità afferraggi.** Influenza i valori del carico di snervamento superiore ed inferiore. Migliore è la coassialità maggiore è la differenza rilevabile fra  $F_s$  ed  $F_i$ .

**Rigidezza della macchina.** Incide sulla misura di  $F_s$  ed  $F_i$ . Macchine molto rigide evidenziano meglio la differenza fra i due valori quando questa è presente.

**Lavorazione dei provini.** Influenza soprattutto la duttilità del materiale, che è maggiore se la lavorazione è più accurata.

**Temperatura.** Incide su tutte le grandezze misurate.

# LA PROVA DI TRAZIONE

## Considerazioni sulla prova di trazione.

### Per un progettista:

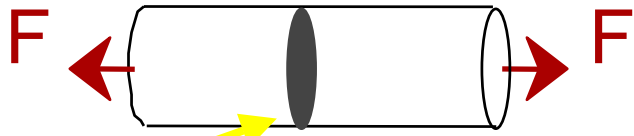
è molto più importante il valore di  $R_s$  che quello di  $R_m$  in quanto in esercizio un componente non solo non deve rompersi ma neppure deformare permanentemente. Il valore di  $A_n$  è importante perché in caso di rottura l'energia associata allo sforzo applicato verrebbe dissipata in gran parte come lavoro di deformazione plastica e non in energia cinetica.

### Per un tecnologo:

$A_n$  e  $Z$  sono indice della deformabilità plastica del materiale mentre i valori di  $R_s$  ed  $R_m$  sono indice della tendenza all'incrudimento del materiale

# STATI DI TENSIONE

- Trazione semplice



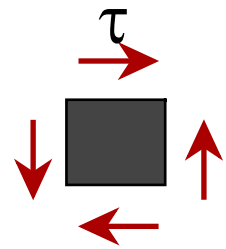
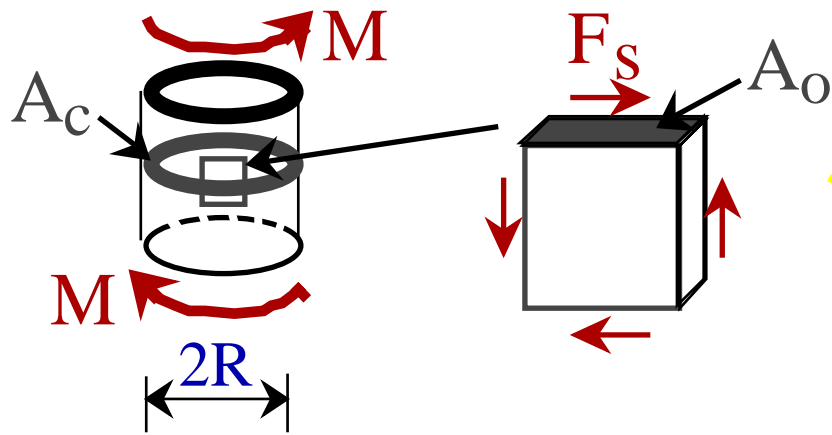
$A_0$  = sezione cavo non caricato



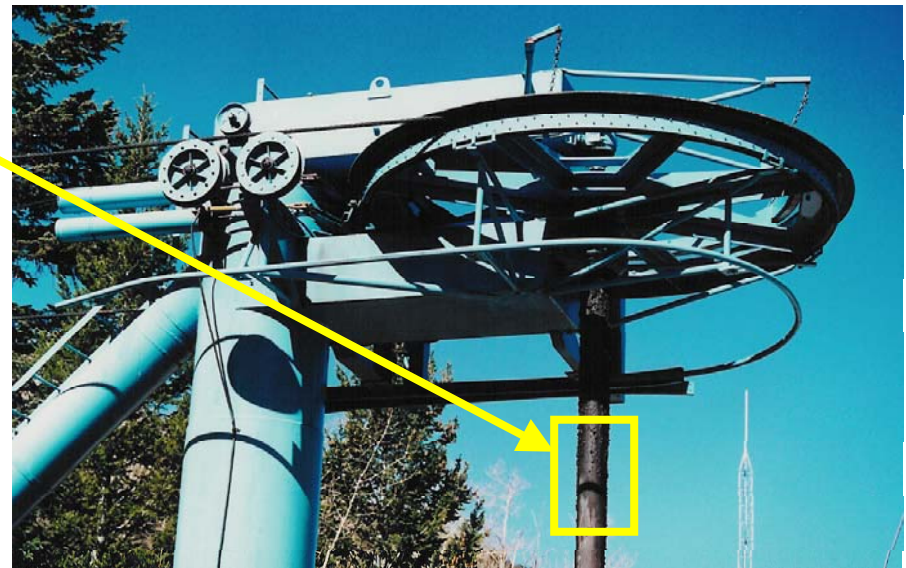
$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

# STATI DI TENSIONE

- Taglio semplice



$$\tau = \frac{F_s}{A_o}$$



$$(\tau = M/A_c R)$$

# STATI DI TENSIONE

- Compressione semplice



Canyon Bridge, Los Alamos, NM



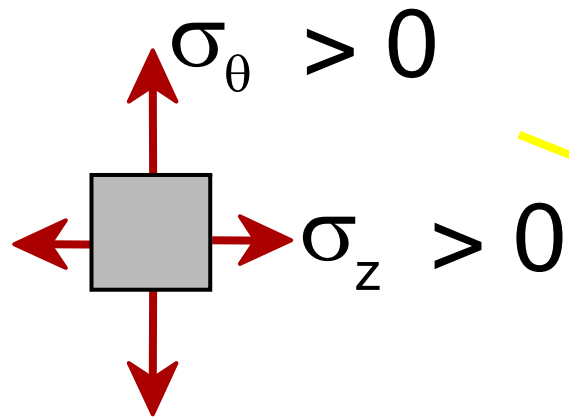
$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

$(\sigma < 0)$ .



# STATI DI TENSIONE

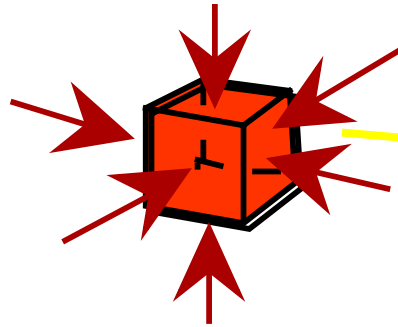
- Stato biassiale di tensione





# STATI DI TENSIONE

- Compressione idrostatica



$$\sigma_h < 0$$



# CRITERI DI RESISTENZA

## A cosa servono ?

Servono a ricondurre un generico stato di tensione pluriassiale ad un equivalente stato di tensione monoassiale, confrontabile con i risultati di una prova di trazione monoassiale

# CRITERI DI RESISTENZA

- Criterio di Tresca (vale per tutti i materiali duttili)

Lo snervamento ha inizio quando la massima tensione tangenziale a cui è sottoposto il componente eguaglia la tensione tangenziale presente in un provino di trazione (realizzato nello stesso materiale del componente) al momento in cui comincia a snervarsi.

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma_x^2 + 4\tau_{xv}^2}$$

## CRITERI DI RESISTENZA

- Criterio di Von Mises (vale per tutti i materiali duttili)

Data una struttura soggetta ad un generico stato di tensioni, lo snervamento ha luogo quando l'energia di distorsione immagazzinata, uguaglia l'energia di distorsione immagazzinata in un campione di semplice trazione nel momento in cui comincia a snervarsi

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xv}^2}$$