

# Proprietà meccaniche dei materiali

## Resistenza e deformazione

Proprietà meccaniche

Caratteristiche meccaniche

Parametri per caratterizzare le caratteristiche meccaniche, sono tutti sinonimi, cioè esprimono tutti lo stesso concetto.

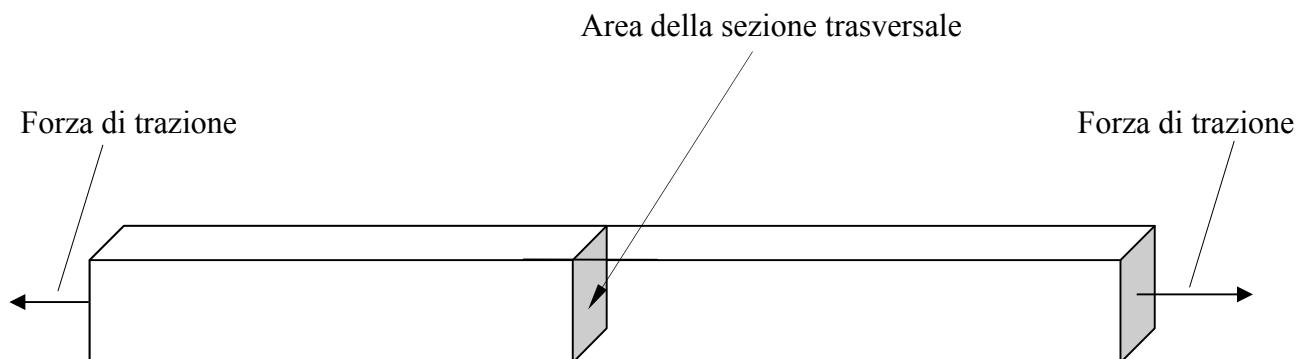
**La resistenza meccanica** di un oggetto è la sua capacità di resistere senza rompersi alle forze che vi sono applicate. Rompere un oggetto significa fargli perdere la sua funzione nel senso che gli si fa perdere la forma originale e/o lo si riduce almeno in due pezzi separati. Maggiore è la forza necessaria per rompere un oggetto meccanico, maggiore è la sua resistenza.

Dovrebbe essere intuitivo capire che, una volta stabilito il materiale con cui è costruito il componente meccanico, maggiori sono le sue dimensioni ( esempio spessore di una parete, diametro di una barra ) maggiore è la forza necessaria per romperlo.

Per quanto appena scritto, se si vuole caratterizzare la resistenza, cioè dare un valore alla resistenza, di un materiale indipendentemente dalla forma e dalle dimensioni del componente meccanico con cui è costruito, la forza necessaria per romperlo non è un parametro valido.

Consideriamo il caso in cui la forza applicata al componente meccanico lo vada a tirare:

barretta sottoposta a trazione



Il parametro che deve caratterizzare la resistenza del materiale deve essere indipendente dalle dimensioni del componente meccanico, pertanto, deve essere la forza  $F$  necessaria per romperlo diviso l'area  $A$  della superficie resistente del materiale. Nel caso della trazione l'area resistente è quella perpendicolare alla forza di trazione cioè l'area della sezione trasversale come nella figura sopra. La forza diviso l'area si chiama **tensione** e si indica con la lettera greca **sigma**  $\sigma$ .

Indicati con:

$F$ : forza di trazione applicata alla barretta, mettiamo alla rottura della barretta

$S_0$ : area della sezione trasversale

La tensione è definita come  $\sigma = \frac{F}{S_0}$  si può trovare anche "resistenza"  $R = \frac{F}{S_0}$

**In base a quanto detto, il parametro che caratterizza la resistenza meccanica di un materiale è la tensione, generalmente a rottura ma poi vedremo anche altre situazioni.**

La tensione è una forza per unità di superficie, pertanto è chiamata anche **carico unitario**.

Esempio:

se diciamo che il carico unitario di rottura a trazione di un acciaio vale  $650 \frac{N}{mm^2}$  significa che per portare a rottura una barra di acciaio di sezione resistente di area  $1 mm^2$  occorre una forza di trazione di  $650 N$

#### ESERCIZI SULLA PROVA DI TRAZIONE

- Calcolare il carico unitario di rottura a trazione di una barra di acciaio di diametro 15 mm, sapendo che il carico di rottura è di 150000 N.

$$R_m = \frac{F_m}{S_o} \quad S_o = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \times (15 \text{ mm})^2}{4} = 176,625 \text{ mm}^2$$

$$R_m = \frac{F_m}{S_o} = \frac{150000 \text{ N}}{176,625 \text{ mm}^2} = 849,25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

- Calcolare il carico unitario di rottura a trazione di una barra di acciaio a sezione rettangolare di lati 10 mm e 20 mm, sapendo che il carico di rottura è di 120000 N.

$$R_m = \frac{F_m}{S_o} \quad S_o = 10 \text{ mm} \cdot 20 \text{ mm} = 200 \text{ mm}^2$$

$$R_m = \frac{F_m}{S_o} = \frac{120000 \text{ N}}{200 \text{ mm}^2} = 600 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

- Calcolare il carico di rottura per trazione di una barra di diametro 16 mm, sapendo che il materiale di cui è fatta ha un carico unitario di rottura di  $600 \text{ N/mm}^2$ .

$$F_m = R_m \cdot S_o \quad S_o = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \times (16 \text{ mm})^2}{4} = 200,96 \text{ mm}^2$$

$$F_m = R_m \cdot S_o = 600 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 200,96 \text{ mm}^2 = 120576 \text{ N}$$

**La deformazione** di un componente meccanico è la variazione di forma che esso subisce quando viene sottoposto a delle forze esterne. Per molti materiali, in particolare per i materiali metallici, bisogna distinguere due tipi di deformazione:

**Deformazione elastica**, quando rimuovendo le forze esterne ( si dice anche scaricato ) il componente meccanico riacquista la forma che aveva prima di essere sottoposto a queste forze ( si dice anche caricato )

**Deformazione plastica**, quando rimuovendo le forze esterne il componente meccanico NON riacquista la forma che aveva prima di essere sottoposto a queste forze. Il componente perde la sua forma originaria.

Nel caso della barretta sottoposta a trazione, la deformazione principale è la variazione di lunghezza.

Si definisce allungamento assoluto la differenza fra la lunghezza della barretta caricata e la lunghezza della barretta scaricata. Dovrebbe essere intuitivo che più è lunga la barretta non caricata, maggiore è il suo allungamento indipendentemente dal materiale. Ad esempio, se una barretta che da scarica è lunga 1 metro e sotto carico si allunga di 1 millimetro, una barretta lunga 2 metri e sottoposta allo stesso carico si allungherà di 2 mm. Così come nel caso della forza assoluta, anche l'allungamento assoluto non è adatto a rappresentare la deformazione del materiale. Poichè a parità di materiale, l'allungamento assoluto dipende dalla lunghezza iniziale della barretta.

Il parametro di deformazione che viene considerato è l'allungamento relativo alla lunghezza iniziale, detto anche coefficiente di dilatazione lineare o semplicemente allungamento, si indica con la lettera greca epsilon  $\varepsilon$ .

Indicati con:

$L$ : lunghezza della barretta sotto carico

$L_0$ : lunghezza della barretta non caricata

$$\text{L'allungamento è definito come: } \varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0}$$

Ma mano che cresce la forza di trazione  $F$  cresce la tensione  $\sigma$ , la barretta si allunga sempre più quindi cresce anche l'allungamento  $\varepsilon$ . Il tutto secondo la cosiddetta legge di Hooke  $\sigma = E \cdot \varepsilon$ . Dove  $E$  è un coefficiente chiamato modulo di elasticità longitudinale.

Per assegnare un valore numerico alla caratteristica di deformazione di un materiale, si considera il suo **allungamento a rottura** ed è espresso sotto forma di percentuale:

Indicata con

$L_u$ : lunghezza della barretta a rottura ( si uniscono i due pezzi della barretta rottuta e si misura la lunghezza )

$$A\% = \frac{L_u - L_0}{L_0}$$

Esercizi di esempio:

- 4) Calcolare l'allungamento e l'allungamento percentuale a rottura del materiale di un provino sottoposto a trazione che prima della rottura misurava 60 mm, dopo la rottura 72 mm.

$$\Delta L = L_u - L_o \quad \Delta L = 72 \text{ mm} - 60 \text{ mm} = 12 \text{ mm}$$

$$A = \frac{L_u - L_o}{L_o} \cdot 100 = \frac{72 \text{ mm} - 60 \text{ mm}}{60 \text{ mm}} \cdot 100 = 20\%$$

- 5) Calcolare il carico di rottura a trazione di una barra a sezione triangolare di base 40 mm e altezza di 60 mm, sapendo che il materiale di cui è fatta ha un carico unitario di rottura di 600 N/mm<sup>2</sup>.

$$S_o = \frac{40 \text{ mm} \times 60 \text{ mm}}{2} = 1200 \text{ mm}^2 \quad F_m = R_m \cdot S_o = 600 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 1200 \text{ mm}^2 = 720000 \text{ N}$$

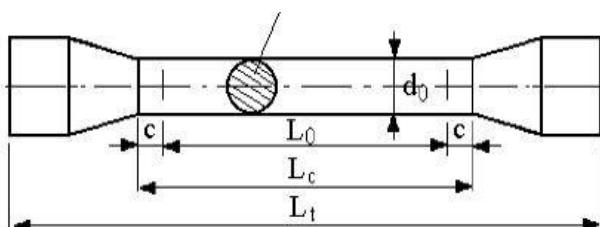
Le caratteristiche meccaniche di resistenza e deformazione a rottura (ma sono importanti anche altre situazioni) si determinano nella cosiddetta "prova di trazione"

### Prova di trazione

La prova di trazione di un materiale si attua per conoscere determinate caratteristiche di resistenza e di deformazione del materiale in esame utilizzabili nei calcoli strutturali su componenti meccanici realizzati con quel materiale.

La prova si esegue sottponendo a trazione un provino del materiale da studiare. Il provino deve avere opportune forma e dimensioni standardizzate, unificate, secondo le normative.

esempi di provino metallico per prova di trazione:



$$L_0 = 5.65\sqrt{S_0}$$

per provette piatte  $L_0 = 5 d$

Diametro della sezione calibrata del provino a sezione circolare	d
Spessore della provetta piatta	a
Larghezza della provetta piatta	b
Lunghezza iniziale fra i riferimenti	$L_0$
Lunghezza parte calibrata	$L_c$
Lunghezza totale	$L_t$
Lunghezza ultima fra i riferimenti	$L_u$
Allungamento percentuale dopo rottura 100 $\frac{L_u - L_0}{L_0}$	A
Sezione iniziale parte calibrata	$S_0$
Sezione minima dopo rottura	$S_u$
Coefficiente percentuale di strizione 100 $\frac{S_0 - S_u}{S_0}$	Z

Il provino deve avere forma e dimensioni standardizzate poiché esse hanno una certa influenza sui valori di resistenza e deformazione misurati. Uniformando, cioè standardizzando forma e dimensioni, i valori di resistenza e deformazione misurati dipenderanno solo dal materiale e per materiali diversi saranno confrontabili fra loro.

In una apposita macchina, le estremità del provino vengono bloccate in due morse la cui distanza può essere fatta variare a comando, determinando un allungamento del provino stesso. Ad ogni valore dell'allungamento corrisponderà una determinata forza di trazione del provino secondo la legge di Hooke  $\sigma = E \cdot \varepsilon$ . Allungamento e corrispondente forza di trazione al provino vengono misurati e registrati. La registrazione era a mano nei tempi passati, modernamente avviene per via informatica.

Come già scritto in precedenza:

la tensione sigma  $\sigma$  viene calcolata come forza applicata diviso area della sezione trasversale  $S_0$  del provino. 
$$\sigma = \frac{F}{S_0}$$

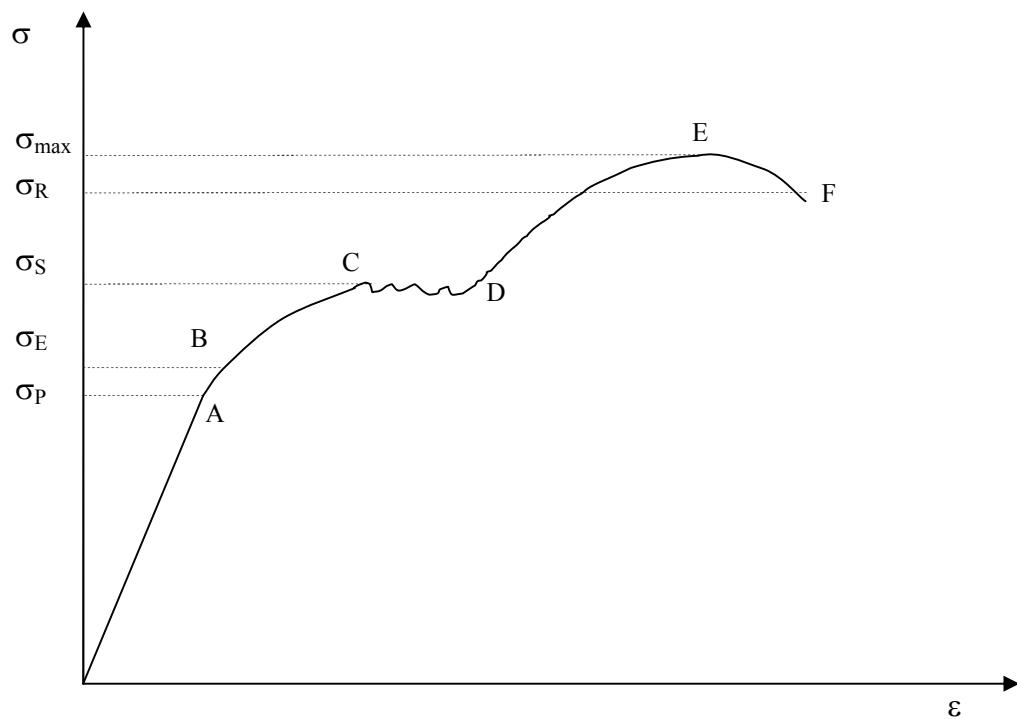
la deformazione epsilon  $\varepsilon$  del materiale del provino viene calcolato come la variazione di lunghezza diviso la sua lunghezza iniziale. 
$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0}$$

Questi due valori, vengono riportati su tabella numerica o su un grafico per il calcolo degli opportuni parametri di resistenza e deformazione, come vedremo successivamente.

Esempio di macchina per prova di trazione



Facciamo delle considerazioni su grafici di esempio per alcune tipologie di materiale.  
Consideriamo il grafico  $\sigma$ - $\varepsilon$  di un acciaio a basso tenore di carbonio, quindi un acciaio non molto resistente:



Da zero al punto A, il diagramma è rettilineo, questo vuol dire che il legame fra tensione e deformazione è lineare proporzionale e si esprime con la relazione  $\sigma = E \cdot \varepsilon$  che prende anche il nome di legge di Hooke. Il parametro E matematicamente rappresenta il coefficiente di angolare del tratto rettilineo, si chiama modulo di Young o modulo di elasticità longitudinale, la sua dimensione

è forza/superficie. Se si eliminasse la forza di trazione, il provino ritornerebbe alla lunghezza iniziale.

Questo comportamento del materiale si chiama "comportamento elastico". In definitiva, da zero al punto A, il materiale ha un comportamento elastico lineare. La tensione  $\sigma_p$ , al di sopra della quale il comportamento non è più proporzionale si chiama "limite di proporzionalità".

Dal punto A al punto B, il grafico non è più rettilineo, il comportamento non è lineare ma è ancora elastico. La tensione  $\sigma_E$  al di sopra della quale il comportamento del materiale non è più elastico si chiama limite "elastico del materiale".

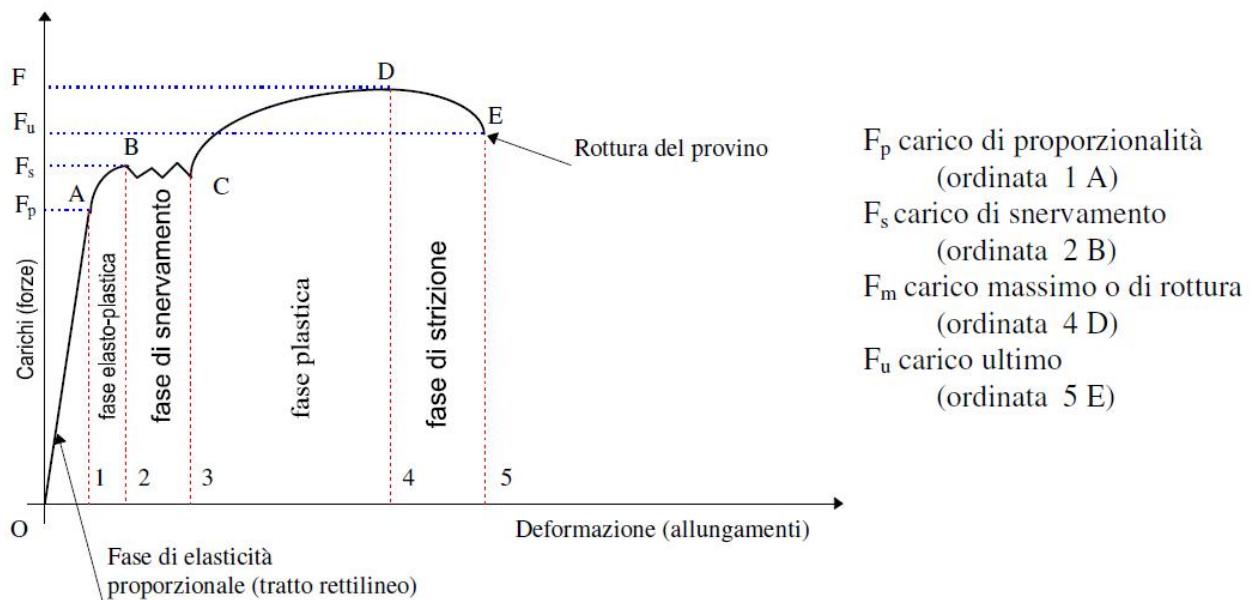
Dal punto B al punto C, il comportamento del materiale non è nemmeno più elastico, si dice che è plastico, cioè annullando la forza di trazione, il provino rimane allungato di una certa quantità. Resta deformato in maniera permanente o irreversibile.

Tra i punti C ed D, si osserva una tensione quasi costante al variare della deformazione. Da un altro punto di vista si può dire che il materiale si deforma a forza costante. Questo comportamento si chiama "**snervamento**" e la tensione alla quale comincia questo comportamento si chiama tensione di snervamento  $\sigma_s$ . Aumentando ulteriormente l'allungamento la tensione sale fino alla rottura del provino. A deformazioni poco antecedenti la rottura, la sezione del provino si riduce di diametro, si dice che subisce una "**strizione**". Dal punto E al punto F la tensione diminuisce al crescere della deformazione, questo farebbe pensare che la resistenza del materiale diminuisce, in realtà diminuisce la sezione resistente in seguito alla strizione e quindi diminuisce la forza di resistenza mentre nel calcolo della sigma si divide sempre per l'area geometrica indeformata.

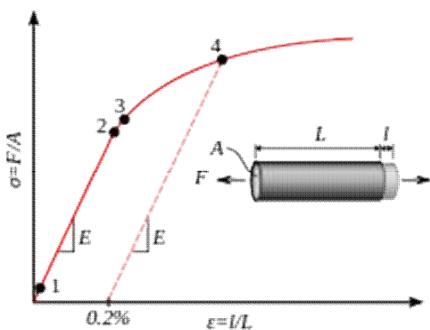
Per i materiali che presentano il fenomeno dello snervamento, il valore della tensione massima sopportabile dal materiale ed impiegato nei calcoli a robustezza è proprio la tensione di snervamento.

Stesso grafico in altro modo:

Diagramma carichi-allungamenti per un acciaio dolce (acciaio ricotto)



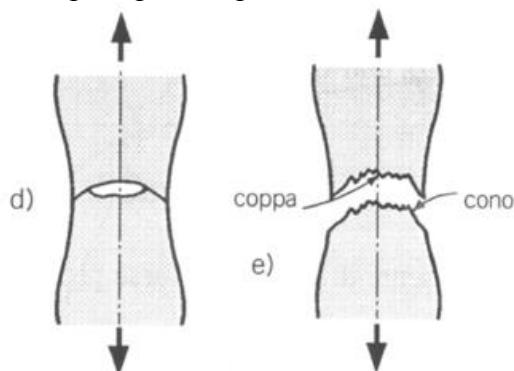
L'acciaio a media o alta resistenza e le leghe leggere ad alta resistenza non presentano una fase di snervamento più o meno evidente:



Per i materiali che non presentano il fenomeno dello snervamento, il valore della tensione massima sopportabile dal materiale ed impiegato nei calcoli a robustezza è la tensione che produce una deformazione plastica residua del 0,2% della lunghezza iniziale, si indica con  $\sigma_{0,2}$  oppure  $R_{0,2}$ . Per capire meglio, in corrispondenza della  $R_{0,2}$  il materiale rimane allungato dello 0,2% rispetto alla lunghezza iniziale, tale valore della tensione viene assunto come limite massimo di resistenza per i materiali che non snervano. Spesso, la  $R_{0,2}$  viene chiamata tensione di snervamento anche se il materiale in realtà non snerva.

I materiali compositi più comuni, laminati di fibra di vetro, carbonio e kevlar, presentano un comportamento elastico lineare quasi fino alla rottura.

Esempi di provini portati a rottura



Riassumendo:

I parametri di resistenza che caratterizzano il materiale sono:

La tensione di rottura indicata con  $\sigma_R$  oppure  $R_m$

La tensione di snervamento ( per i materiali che snervano ), è la tensione alla quale il materiale si deforma a carico costante. E' indicata con  $\sigma_s$  oppure  $R_s$

La tensione 0,2% ( per i materiali che non snervano ), è la tensione alla quale il materiale, tolta la forza di trazione, presenta una deformazione plastica residua pari a 0,2%. E' indicata con  $\sigma_{0,2}$  oppure  $R_{0,2}$

Il parametro di deformazione plastica caratterizza il materiale è l'allungamento a rottura.

Indicati con:

$L_R$ : lunghezza del provino a rottura

$L_0$ : lunghezza del provino non caricato

L'allungamento percentuale a rottura del materiale è:

$$A\% = \frac{L_R - L_0}{L_0}$$

Per acciai a bassa resistenza il suo valore può arrivare anche a 40, man mano che aumenta la resistenza dell'acciaio, A% è più ridotto.

### Fattore di sicurezza

In progetto, a robustezza, non si impone che in corrispondenza dei valori massimi del carico, il materiale sia sforzato fino alla tensione di snervamento, poiché un ulteriore aumento accidentale, non previsto del carico determinerebbe il cedimento della struttura. Nei calcoli strutturali non si introduce la tensione di snervamento ma un valore più basso ottenuto dividendo la tensione di snervamento per un numero detto fattore di sicurezza o coefficiente di sicurezza. Il valore di tensione ottenuto si chiama tensione ammissibile.

In definitiva, nei calcoli strutturali si progetta con valore di tensione pari a tensione di snervamento diviso il fattore di sicurezza:

$$\sigma_{amm} = \frac{\sigma_s}{k}$$

Il valore del fattore di sicurezza dipende dal tipo di progetto.