

Metallurgia e Materiali non Metallici



POLITECNICO
DI MILANO



Prova di trazione

Marco Colombo

marco1.colombo@polimi.it

16/03/2016

La prova di trazione uniassiale

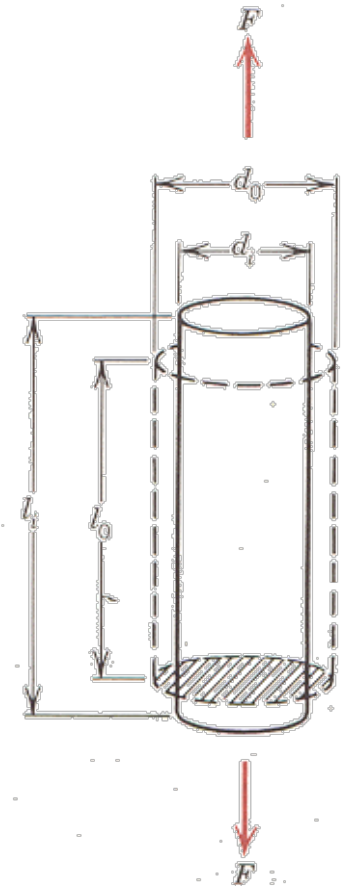
Una delle più comuni e importanti prove distruttive, si ricavano molte proprietà meccaniche dei materiali testati.

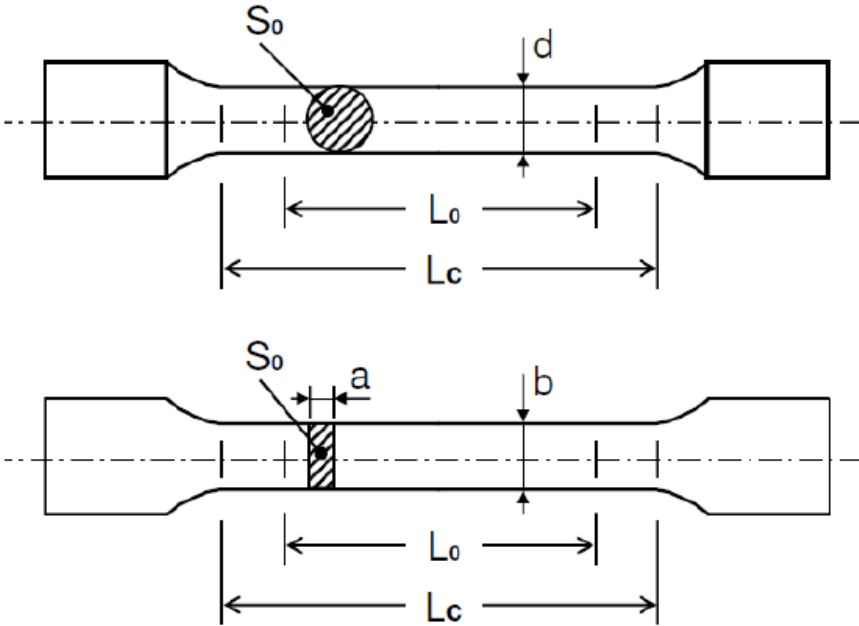
Consiste nel tendere progressivamente un campione la cui dimensione longitudinale (direzione in cui viene applicata la forza) è rilevante rispetto a quelle trasversali.

La sollecitazione nel materiale è uniassiale e uniforme.

Durante la prova vengono rilevate:

- F (Forza applicata al provino)
- $\Delta L = L - L_0$ (Allungamento del provino)

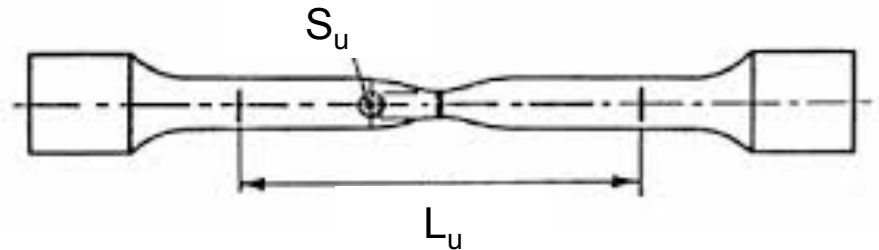




Si riconoscono due zone:

- **Afferraggi**: servono per «montare» il provino, possono essere lisci o filettati (nel caso di sezione circolare)
- **Tratto utile**: tratto a diametro minore, zona in cui si localizza la rottura.

- L_0 = lunghezza iniziale tra i riferimenti
- L_c = lunghezza della parte calibrata
- L_u = lunghezza ultima fra i riferimenti
- S_0 = area della sezione iniziale del tratto utile
- S_u = area della sezione minima dopo rottura.





Le dimensioni del provino sono normate.

Per sezioni circolari:

$$d \geq 4 \text{ mm}$$

$$l = 5d$$

$$(l + d) / 2 \leq l_c \leq (l + 2d)$$

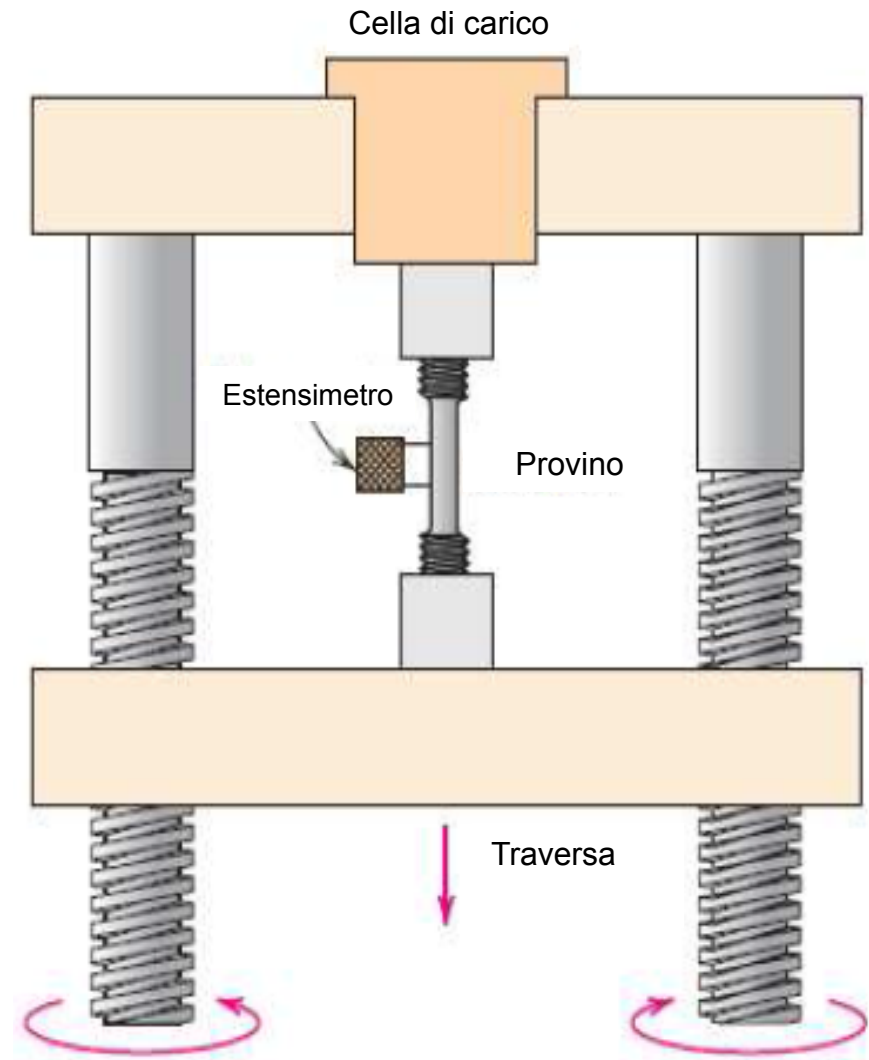
Per sezioni rettangolari: $l = 5.65 \sqrt{S}$



La macchina di prova



- Le prove di trazione vengono eseguite su attrezzature dette macchine universali di prova (o macchine di trazione)
- La macchina può lavorare in controllo di forza, o in controllo di spostamento
- Durante una prova di trazione in controllo di spostamento, una estremità del provino è fissa e l'altra viene allontanata dalla prima con una velocità di spostamento imposta
- In queste condizioni la forza applicata viene rilevata da una strumentazione detta «cella di carico».



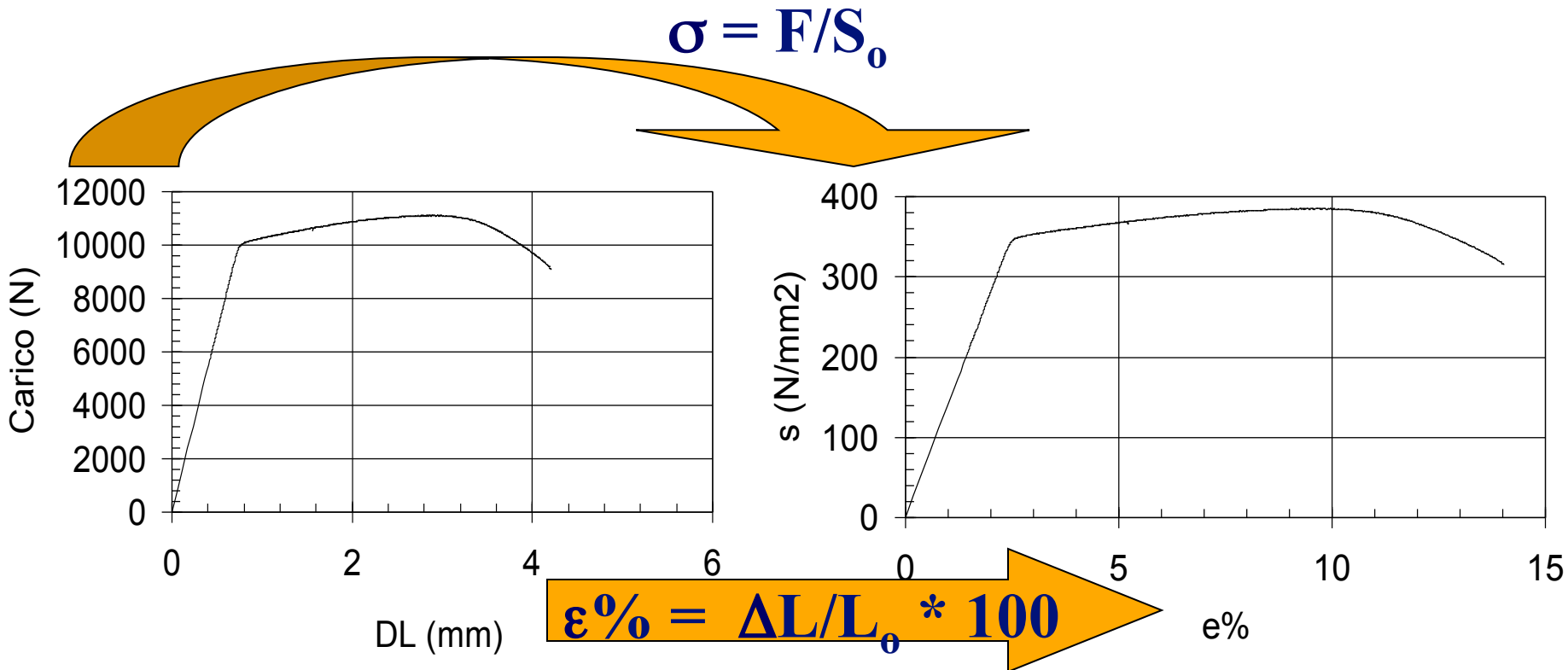


Estensimetro

- L'estensimetro ha due afferraggi che vengono fissati (premendoli) a due punti del tratto utile distanti L_0 (base dell'estensimetro)
- Durante la prova gli afferraggi dell'estensimetro rimangono solidali a questi punti e l'estensimetro rileva il loro spostamento relativo: ΔL
- Tanto maggiore è la precisione richiesta nella misura di ΔL e tanto minore è il valore massimo di ΔL misurabile
- Corrispondenza tra base dell'estensimetro e L_0 del provino.



Output del test

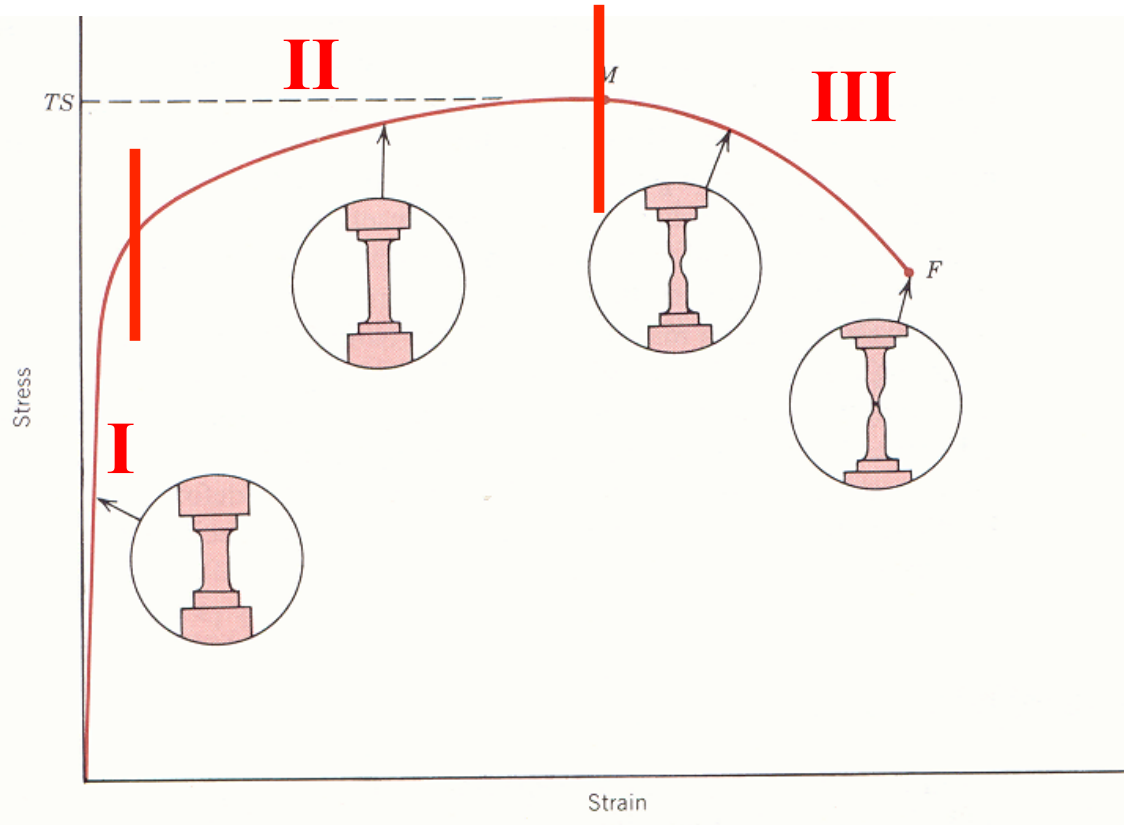


L'effetto geometrico viene eliminato passando dal diagramma F- ΔL ad uno σ - ϵ .

Spesso si preferisce utilizzare le deformazioni percentuali moltiplicando la deformazione ingegneristica per 100.



Fasi nella curva di trazione



- I: FASE DELLE PICCOLE DEFORMAZIONI (elastiche)**
- II: FASE DELLE GRANDI DEFORMAZIONI (plastiche)**
- III: FASE DELLA STRIZIONE**

Per i materiali lineari elastici (metalli e ceramici), il primo tratto della curva è approssimabile ad una retta:

$$\sigma = E\varepsilon \quad (\text{Legge di Hooke})$$

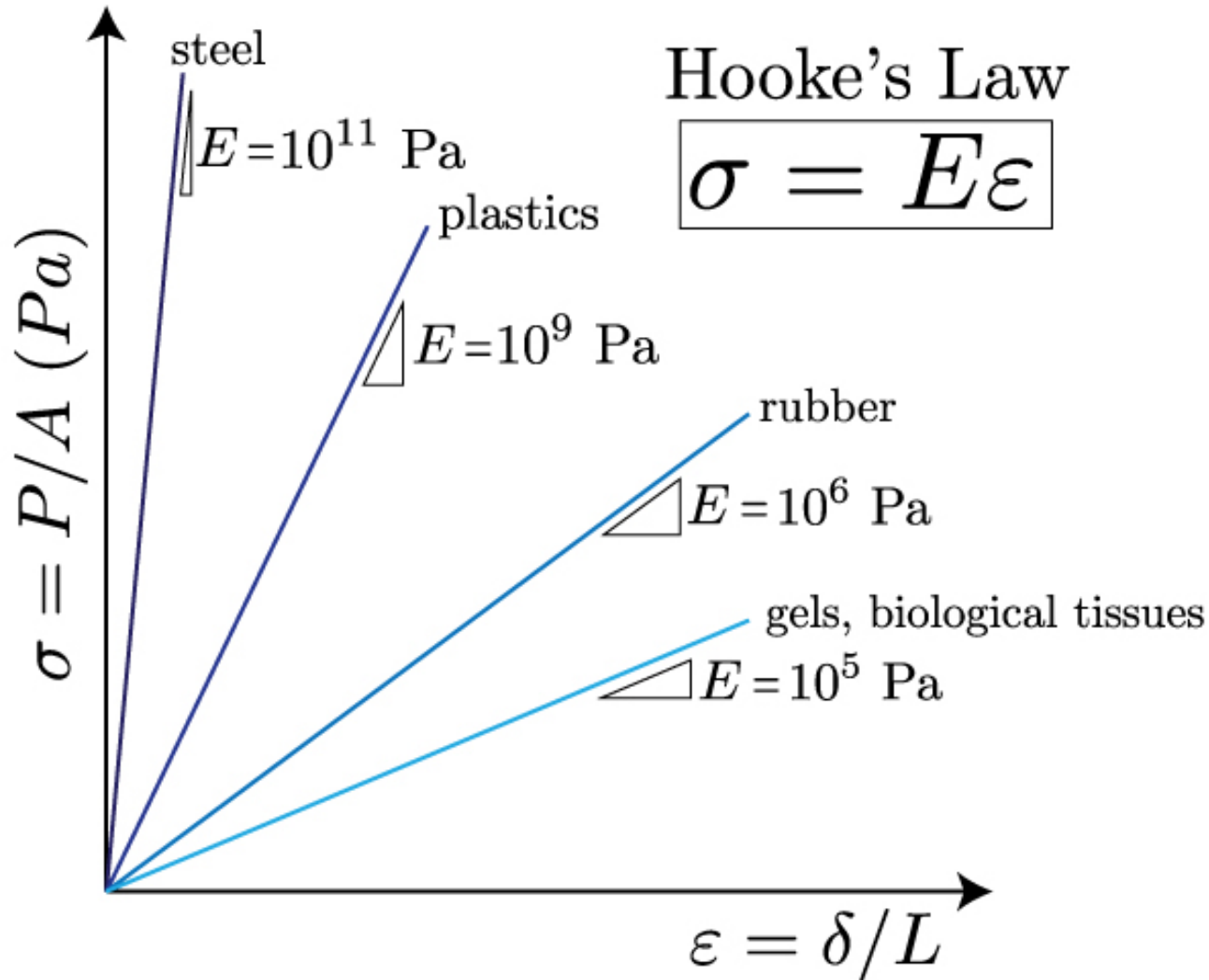
E , chiamato modulo di Young (modulo di elasticità longitudinale):

- È legato al reticolo cristallino del materiale
- Decresce con la temperatura
- È indipendente dal grado di incrudimento e dai trattamenti termici.



Le deformazioni sono completamente reversibili (o talmente piccole da essere considerate tali).

Fase delle piccole deformazioni



Limite elastico:

Carico massimo per il quale il comportamento del materiale è elastico.

Come si trova dal grafico σ - ε ?

- Da $\varepsilon\% = 0.001$ si traccia una retta con pendenza pari a quella del tratto elastico
- La sollecitazione all'intersezione della retta con la curva σ - ε è il limite elastico.

Carico di snervamento:

Scostamento dal comportamento lineare quando il carico viene aumentato oltre un certo limite.

È causato dall'inizio del movimento delle dislocazioni nel reticolo cristallino

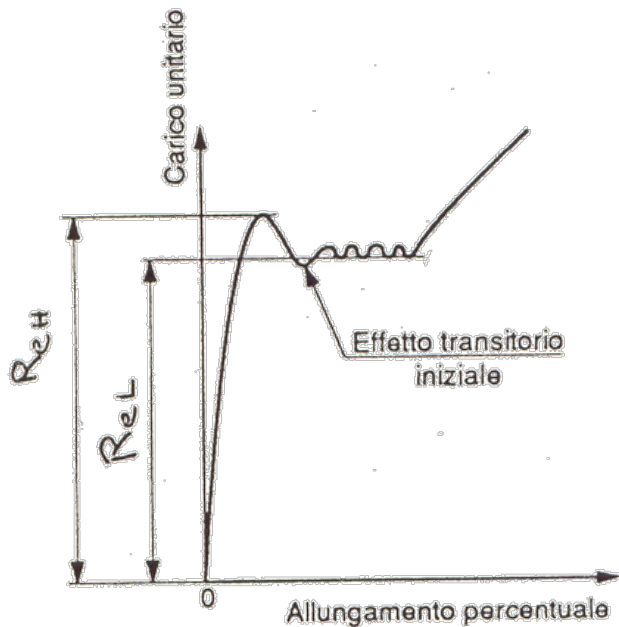


Rottura di legami chimici tra atomi adiacenti, con formazione di nuovi legami



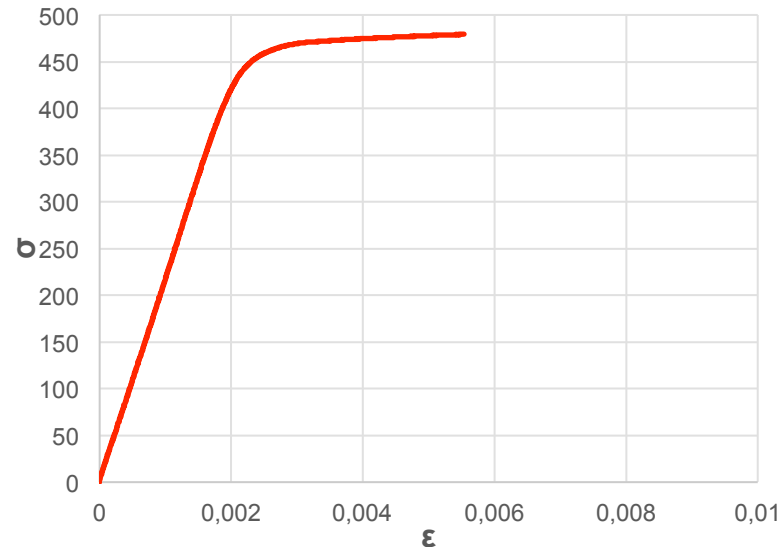
Processo irreversibile!

Fase delle piccole deformazioni



Snervamento marcato,
facilmente individuabile

R_{eL}



Snervamento graduale

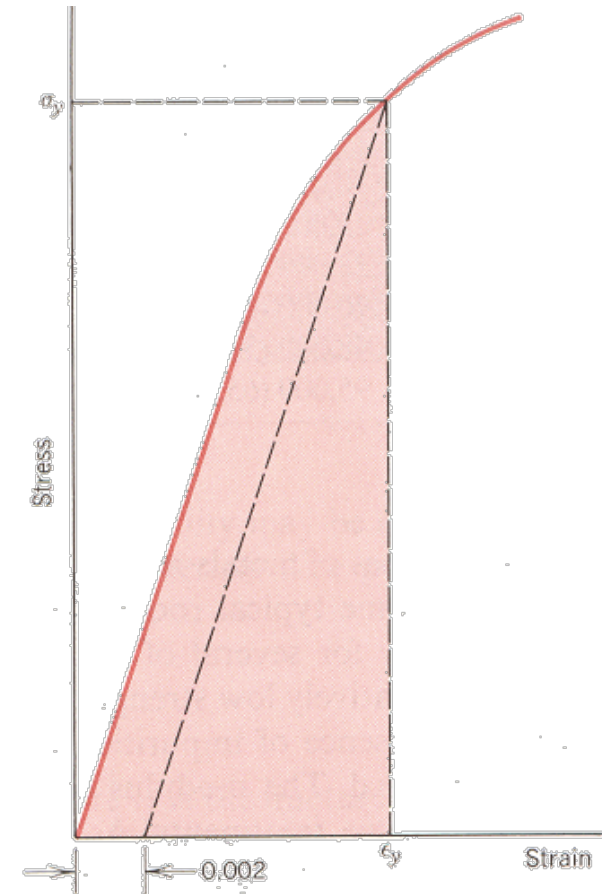
Quale sforzo considero?

$R_{p0.2}$:

- Il passaggio al periodo delle grandi deformazioni è definito convenzionalmente
- Si entra nel periodo delle grandi deformazioni quando la deformazione residua dopo rimozione del carico (deformazione plastica) è dello 0,2% ($\epsilon = 0,002$).

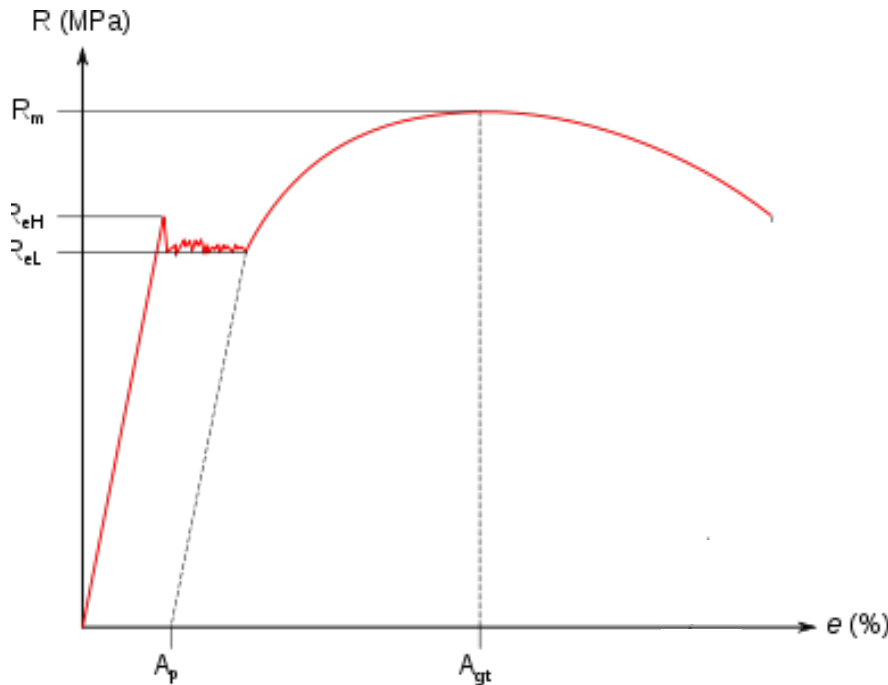
Come si trova $R_{p0.2}$?

- da $\epsilon = 0.002$ si traccia una retta con pendenza pari a quella del tratto elastico
- la sollecitazione all'intersezione della retta con la curva è il limite elastico





A seguito dello snervamento, la pendenza della curva si riduce, fino ad arrivare ad un massimo.



Considerazioni:

- Le ϵ plastiche sono molto maggiori di quelle elastiche
- Le ϵ plastiche, a differenza di quelle elastiche, sono permanenti
- L'andamento della curva è spiegato da fenomeni di incrudimento (movimento delle dislocazioni ostacolato)
- La sezione resistente decresce uniformemente lungo il provino

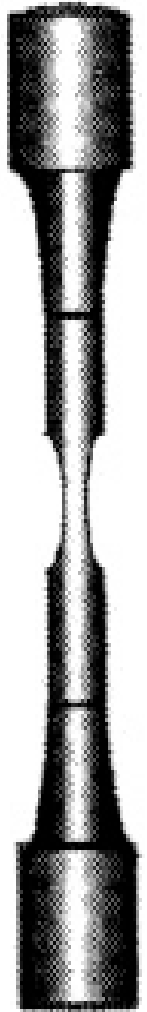
Cosa succede al punto di massimo?

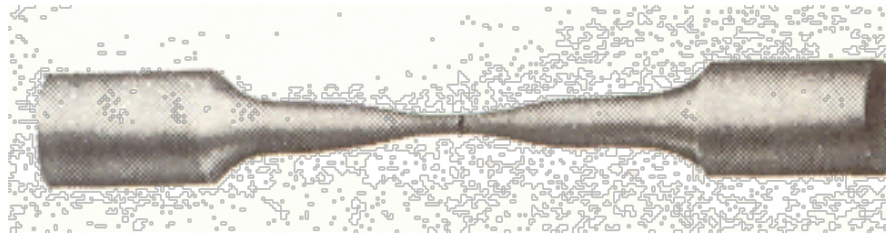
Carico a rottura (R_m):

Carico oltre al quale si innescano meccanismi di danneggiamento così importanti che compromettono l'integrità strutturale del provino.

Considerazioni:

- Al carico massimo avviene un fenomeno di instabilità: a causa di difetti, variazioni di sezione o altro la deformazione inizia a localizzarsi in una sola regione del tratto utile
- Durante la strizione la deformazione aumenta in prossimità della sezione dove avverrà la rottura finale
- La deformazione locale può essere calcolata sulla base della riduzione locale di sezione (ipotesi di volume costante, no deformazioni elastiche)





Dal provino fratturato possiamo ricavare importanti informazioni sulle proprietà del materiale:

- **L' allungamento percentuale dopo rottura (A%):**

$$A\% = [(l_u - l_0) / l_0] * 100$$

- **Il coefficiente di strizione percentuale (Z%):**

$$Z\% = [(S_0 - S_u) / S_0] * 100 = [(d_0^2 - d_u^2) / d_0^2] * 100$$

Z% non dipende da L_0 , è una misura più efficace di duttilità per il materiale.



La curva sforzo e deformazione reali



Quando la curva σ - ϵ supera il massimo, sembra che il materiale si indebolisca.



Non si tiene conto del fatto che la sezione diminuisce, perché σ è calcolato usando la sezione iniziale del provino.

Sforzo reale:

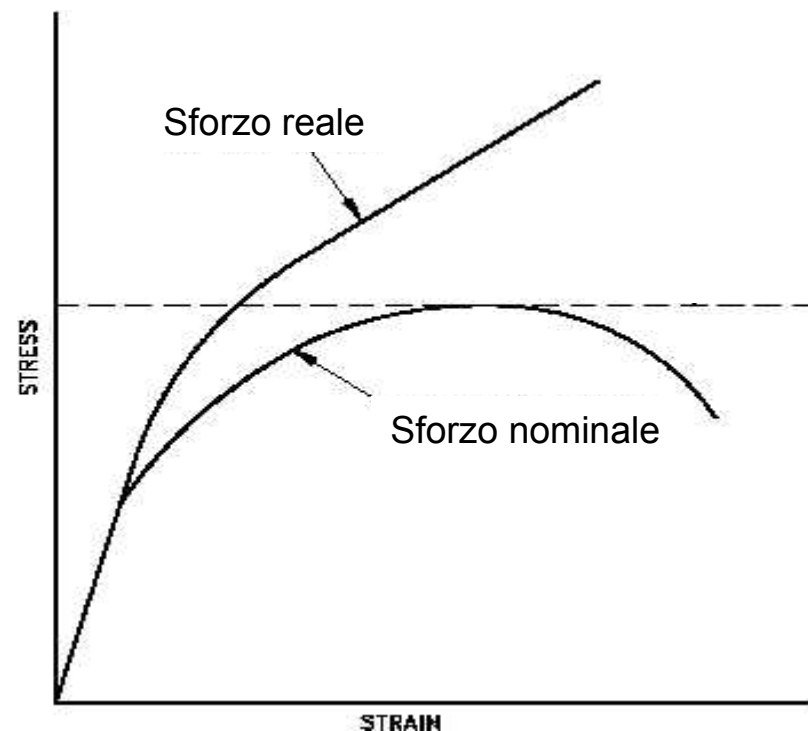
$$\sigma_R = F/A_i = \sigma(1+\epsilon)$$

Sezione resistente istantanea

Valori nominali
(ingegneristici)

Deformazione reale:

$$\epsilon_R = \ln(1 + \epsilon)$$





Dall'analisi di un test a trazione si possono ricavare:

- Modulo elastico (E): pendenza del tratto lineare della curva σ - ϵ
- Sforzo di snervamento ($R_{p0.2}$): intersezione tra la curva σ - ϵ e una retta con pendenza E, traslata orizzontalmente di 0.002 rispetto a quella del punto precedente
- Sforzo di rottura (R_m): massimo della curva σ - ϵ (ingegneristica)
- Allungamento percentuale a rottura ($A\%$):

$$A\% = \frac{l_{lu} - l_0}{l_0} * 100$$

- Strizione percentuale a rottura ($Z\%$):

$$Z\% = \frac{S_0 - S_{lu}}{S_0} * 100$$

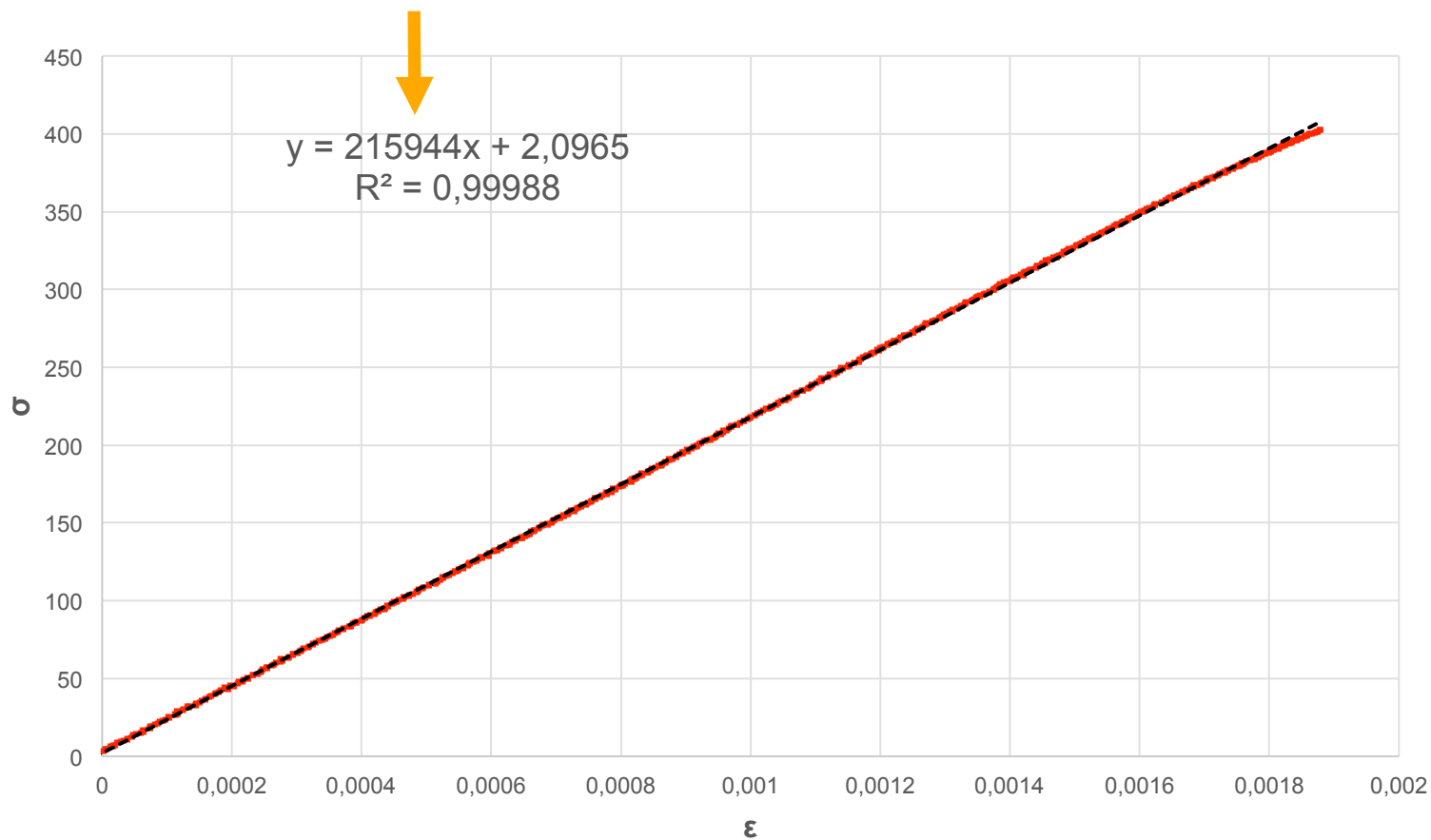


Dai dati forniti:

- Disegnare la curva di trazione completa;
- Ricavare E ;
- Ricavare R_m ;
- Ricavare $R_{p0.2}$;
- Calcolare $A\%$ e $Z\%$.



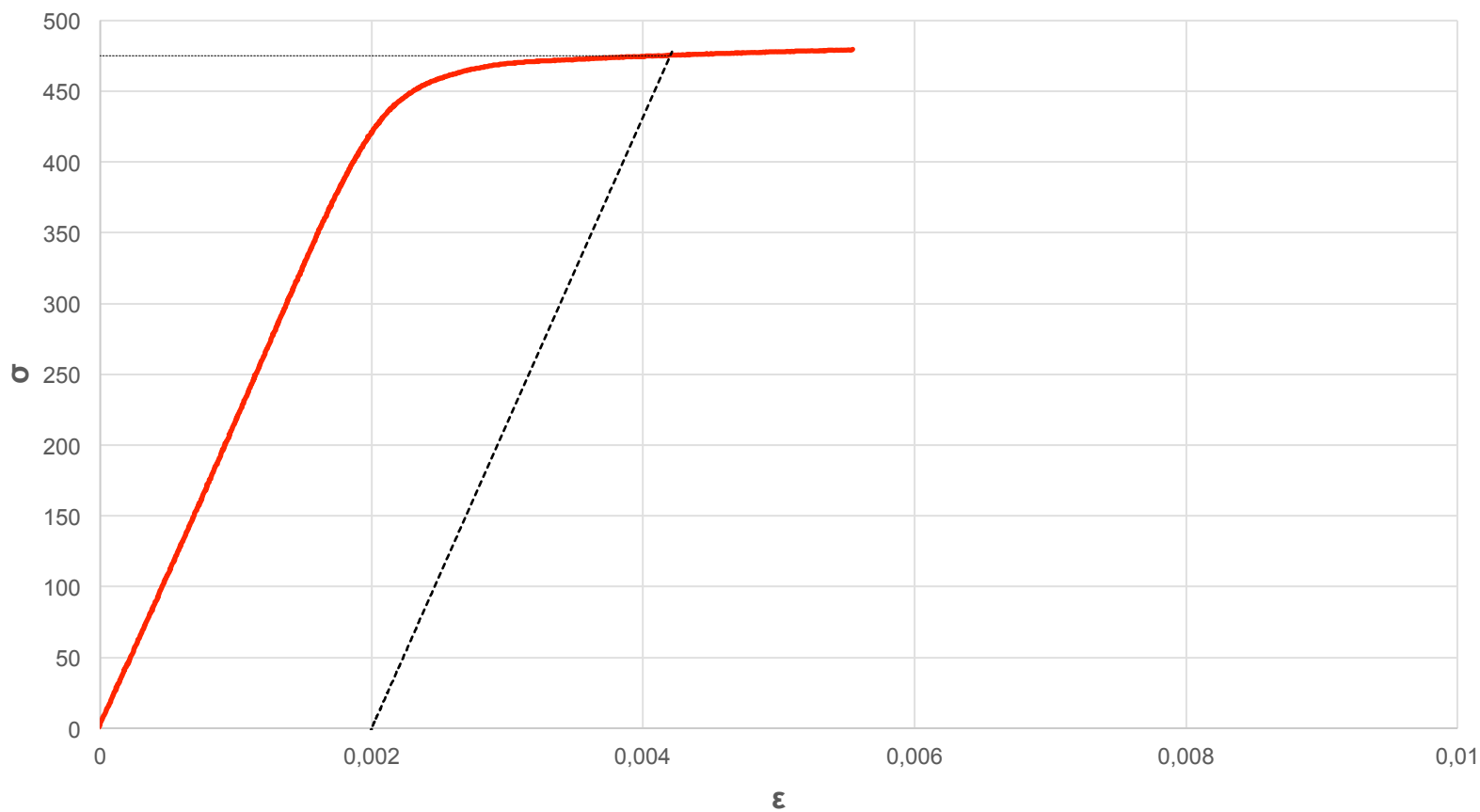
Modulo Elastico:



$E = 215,9 \text{ GPa}$



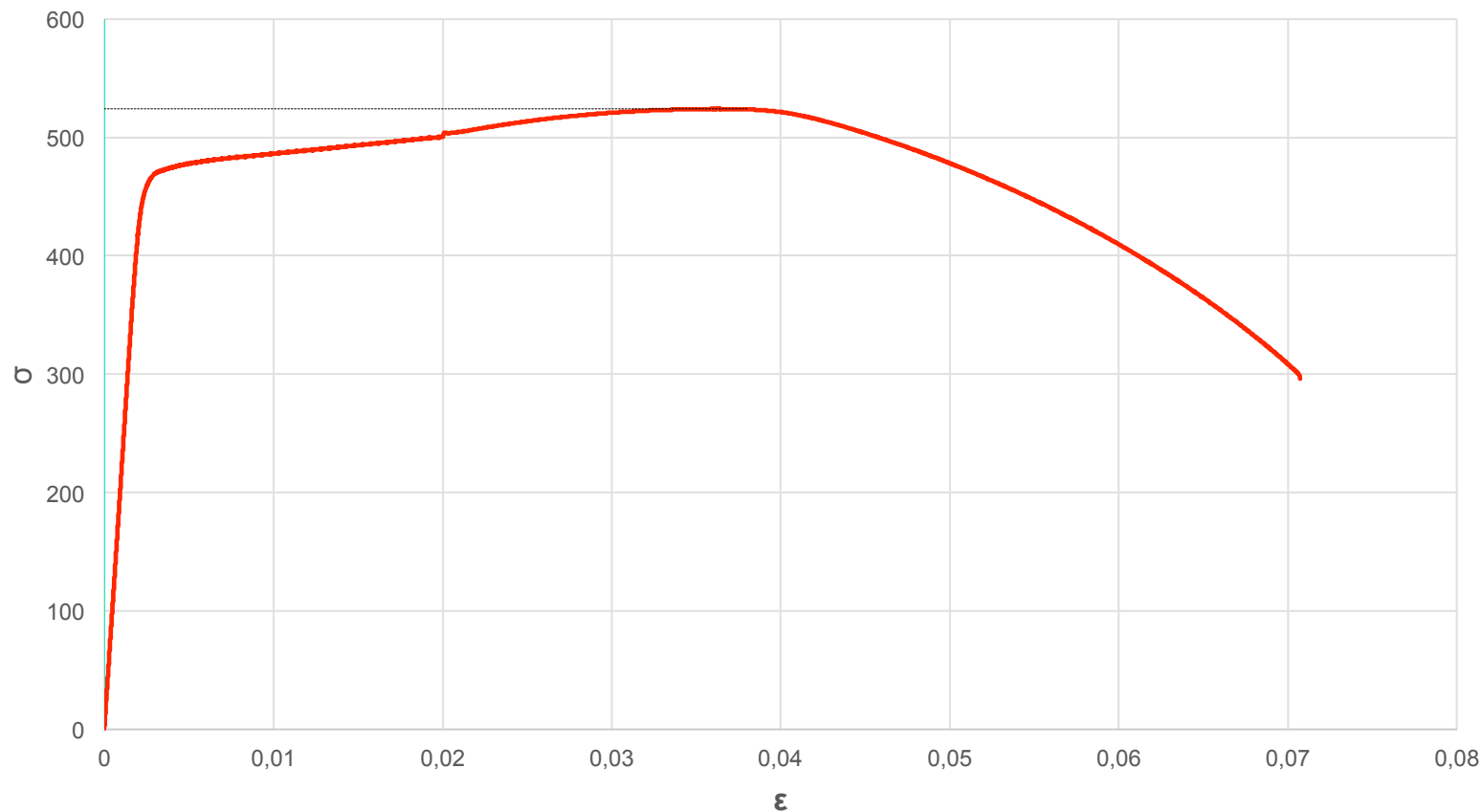
$R_{p0.2}$:



$$R_{p0.2} = 475 \text{ MPa}$$



R_m :



$R_m = 524 \text{ MPa}$



$$A^0 = 20.84\%$$

$$Z^0 = 48.44\%$$

Domande??