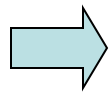


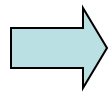
Caratterizzazione meccanica dei materiali

- ☆ Esiste notevole numero di prove meccaniche atte alla caratterizzazione del comportamento strutturale dei materiali /trazione, compressione, fatica, frattura, ...
- ☆ Lo scopo di ciascuna è definire, in ciascun ambito, i limiti di utilizzabilità di ogni materiale
- ☆ Le prove devono rispondere a normative stringenti per essere affidabili e ripetibili
- ☆ Per ogni tipologia di materiale esistono prove più o meno atte a metterne in risalto prestazioni e caratteristiche specifiche



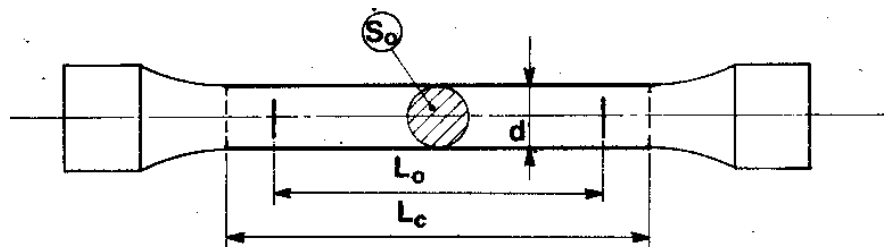
Metalli: trazione, fatica, ... Compositi: delaminazione, urto,

Alcune tipologie di prove sono dette *tecnologiche* in quanto sono applicate a strutture *semilavorate* e ne mettono in evidenza un insieme di caratteristiche



Prove di piegatura di piastre, prove trazione su funi, prove di corrosione, ...

PROVA DI TRAZIONE



Parametri essenziali da controllare

{
Velocità di deformazione
Temperatura

La prova può essere condotta in **controllo di carico** o in controllo di **deformazione**

La differenza sta se si incrementa monotonamente il carico o lo spostamento imposto

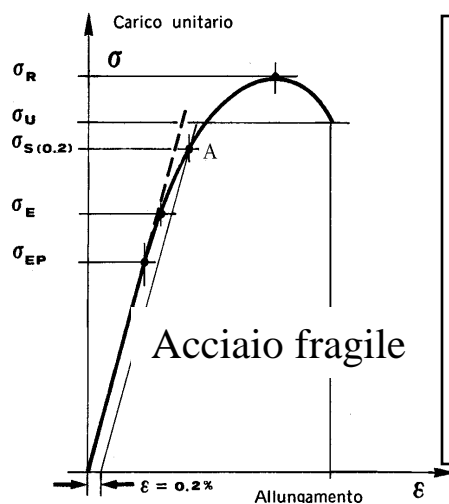
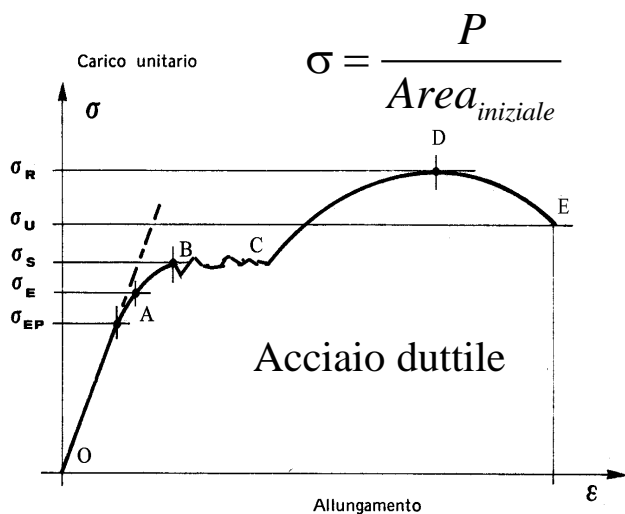
Fattori determinanti

- ☆ Sezione rigidamente costante provino
- ☆ Raccordo delle teste di afferraggio sufficientemente graduale
- ☆ Centraggio accurato del provino

Misure tipiche

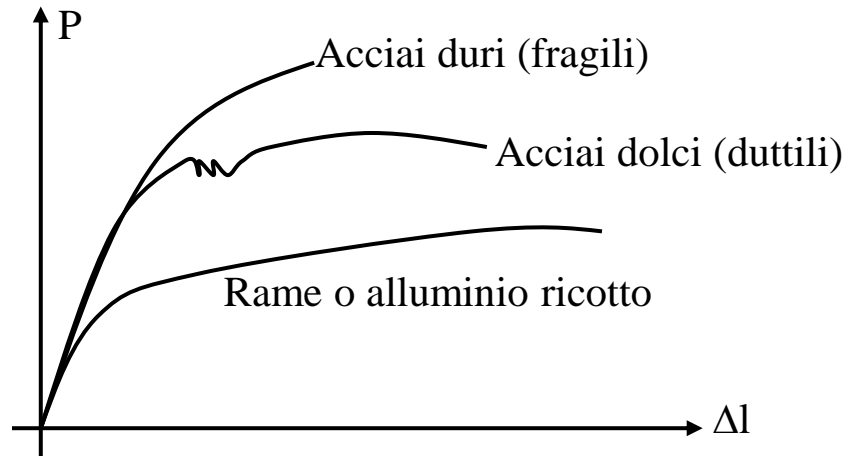
(Misure geometriche e morfologiche a fine prova)

- ☆ Avanzamento traversa
 - ☆ Forza istantanea
 - ☆ Misura estensimetrica (deform.locale)
-



- | | |
|-----------------|-----------------------------------|
| σ _{EP} | Scostamento dalla proporzionalità |
| σ _E | Fine recupero elastico completo |
| σ _S | Tensione di snervamento |
| σ _U | Tensione al momento rottura |
| σ _R | Tensione massima misurata |

A parte gli acciai, altri metalli esibiscono curve di trazione-deformazione simili



Si osserva, dopo l'inizio della plasticità, l'insorgere di fenomeni di incrudimento (aumento del carico supportabile con l'allungamento)

A partire dalla curva carico-spostamento, occorre determinare quella di tensione-deformazione, che caratterizza il materiale di prova

Tensioni e deformazioni ingegneristiche si calcolano considerando le dimensioni iniziali del provino (in termini di sezione resistente e lunghezza di riferimento)

$$\sigma_{\text{ing}} = \frac{P}{S_0} \quad \epsilon_{\text{ing}} = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Occorre riferirsi alle grandezze vere (true) per grandi deformazioni

$$\epsilon_t = \sum_i \frac{L_i - L_{i-1}}{L_{i-1}} \quad \text{al limite} \quad \epsilon_t = \int_{L_0}^L \frac{dL}{L} = \ln \left(\frac{L}{L_0} \right)$$

Ogni incremento di allungamento viene cioè rapportato alla lunghezza già raggiunta

Ricordando che $\varepsilon_{ing} = \frac{\Delta L}{L_0} = \left(\frac{L}{L_0} - 1 \right) \Rightarrow \varepsilon_t = \ln (1 + \varepsilon_{ing})$

ε_{ing}	ε_{vera}
0.01	0.00995
0.05	0.04879
0.10	0.09532
0.20	0.18232
0.30	0.26236

La formula precedente consente il passaggio tra tensioni ingegneristiche (misurate) e vere (ricavate).

Come si vede dalla tabella, esse differiscono poco tra loro, finché non si sia in presenza di deformazioni rilevanti

Per quanto riguarda le tensioni vere, occorre aggiornare la sezione resistente (che si contrae durante l'allungamento).

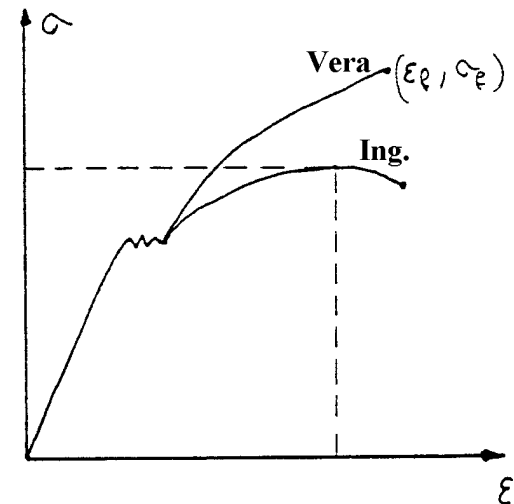
La contrazione è trascurabile all'inizio, ma diventa rilevante in plasticità

In plasticità si ipotizza che il materiale fluisca senza apprezzabili variazioni di volume, per cui si calcola la tensione vera imponendo la costanza del volume

$$(S_0 L_0 = SL) \quad \sigma_t = \frac{P}{S} = \frac{PL}{S_0 L_0} = \sigma_{ing} (1 + \varepsilon_{ing})$$

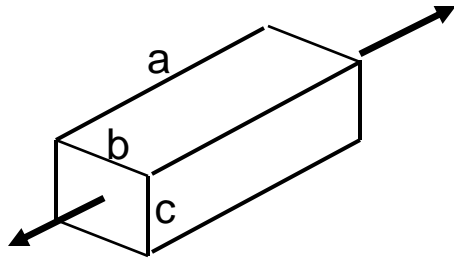
Se ora si costruisce la curva tensione – deformazione vere ci si accorge che risulta sempre (o quasi) crescente

La curva Tens-Def vere è quella che bisogna utilizzare nel calcolo elasto-plastico agli elementi finiti



In plasticità il materiale fluisce come incompressibile

Coefficiente Poisson $\cong -0.5$



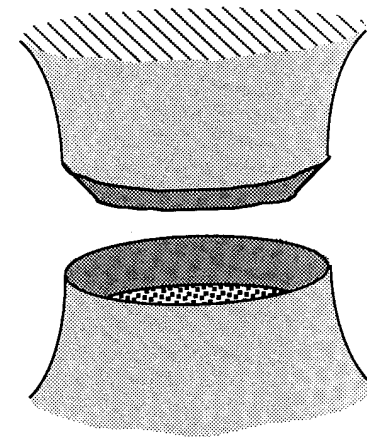
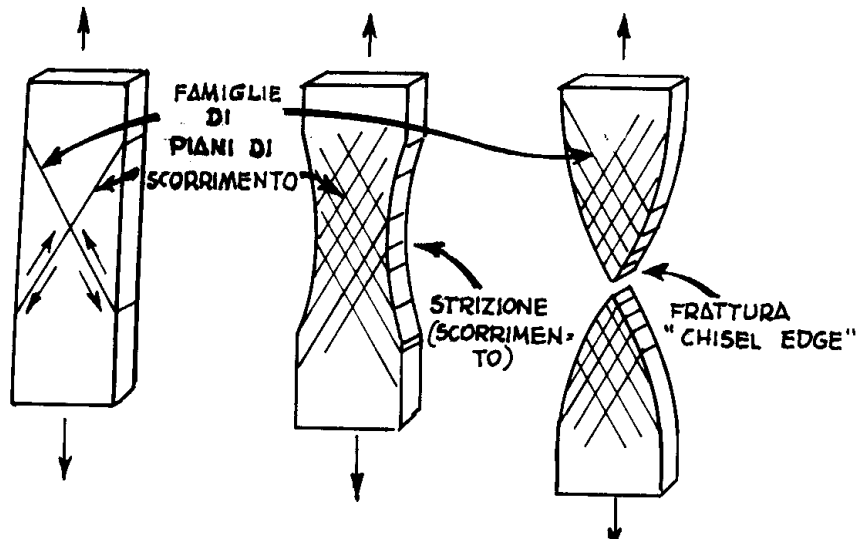
$$\varepsilon_a = \ln\left(\frac{a}{a_0}\right); \quad \varepsilon_b = \ln\left(\frac{b}{b_0}\right); \quad \varepsilon_c = \ln\left(\frac{c}{c_0}\right)$$

$$V = V_0 \quad \Rightarrow \quad a_0 b_0 c_0 = a b c$$

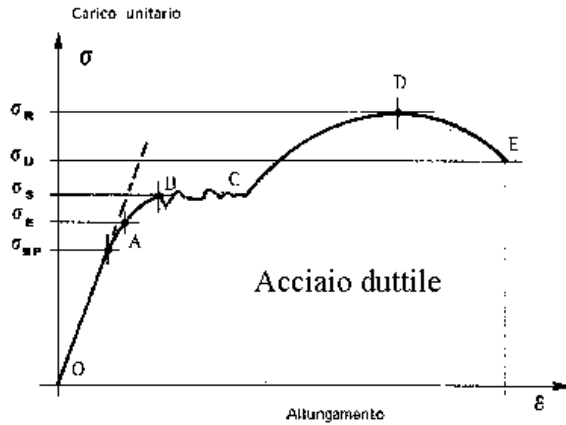
$$V = a_0 b_0 c_0 (e^{\varepsilon_a} \cdot e^{\varepsilon_b} \cdot e^{\varepsilon_c}) \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_a + \varepsilon_b + \varepsilon_c = 0$$

ν si misura dal rapporto tra l'allungamento in direzione del carico e quello trasversale

Posto che $(\varepsilon_b = \varepsilon_c = \nu \varepsilon_a)$ $1 + 2\nu = 0 \quad \Rightarrow \quad \nu = -0.5$



Strizione - Calcolo condizioni di rottura (*finale*)



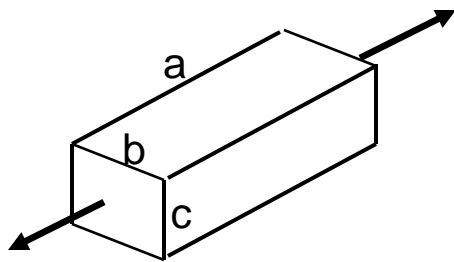
Quando la curva *ingegneristica* decresce si ha in genere il fenomeno della strizione, caratterizzato dal fatto che una sezione si restringe, concentrando su di essa le massime tensioni e deformazioni – **TRATTO DE**

Oltre il punto **D** non si possono più utilizzare le espressioni precedenti per il calcolo dei valori veri. Tuttavia, l'esame della sezione di rottura consente di ricavare il punto finale **E**

★ Si può cercare di determinare l'ultimo punto, ε_f e σ_f

S_0 = Sezione iniziale / S_f = Sezione finale

$$b c = b_0 c_0 e^{\varepsilon_b} e^{\varepsilon_c} \quad (v = -0.5)$$



$$\frac{S}{S_0} = e^{2\varepsilon_b} = e^{2v\varepsilon_a} = e^{-\varepsilon_a}$$

Il tratto dall'inizio della strizione al punto ε_f e σ_f si ottiene in genere estrapolando i dati

$$\varepsilon_f \equiv \varepsilon_a = \ln \left(\frac{S_0}{S_f} \right) \quad \sigma_f = \frac{F_{ult}}{S_f}$$

Valori per alcuni metalli strutturali elementi tipici

	E (MPa)	v	G (MPa)
Acciai	206.000	0.3	80.700
Ghise	(80.000 ÷ 170.000)	0.25	(83.000 ÷ 68.000)
Leghe rame	120.000	0.35	44.500
Leghe alluminio	70.000	0.33	26.300

Non è privo di interesse rilevare come tutti gli acciai presentino una scarsa variazione parametri elastici

Ciò che invece varia molto è la parte plastica, fino alla rottura

L'intera curva tensione-deformazione vera viene spesso espressa in forma analitica attraverso due parametri, nella forma detta di Ramsberg – O'sgood

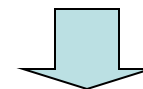
$$\varepsilon_{\text{tot}} = \varepsilon_{\text{el}} + \varepsilon_{\text{pl}} = \frac{\sigma}{E} + \left(\frac{\sigma}{K} \right)^{1/n}$$

Acciai

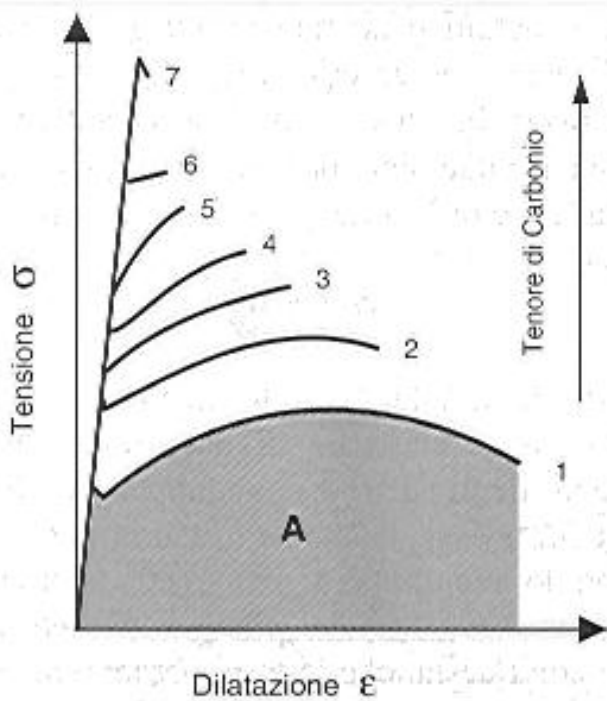
K= 1000 ÷ 2000 MPa

n = 0.1 ÷ 0.2

L'incrudimento degli acciai è spesso una forma di *garanzia* strutturale in quanto fornisce una riserva di carico che evita la rottura quando venga superato lo snervamento

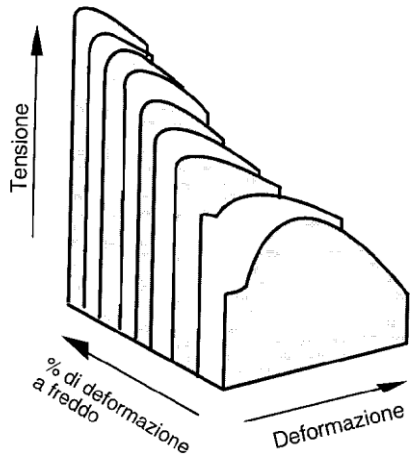
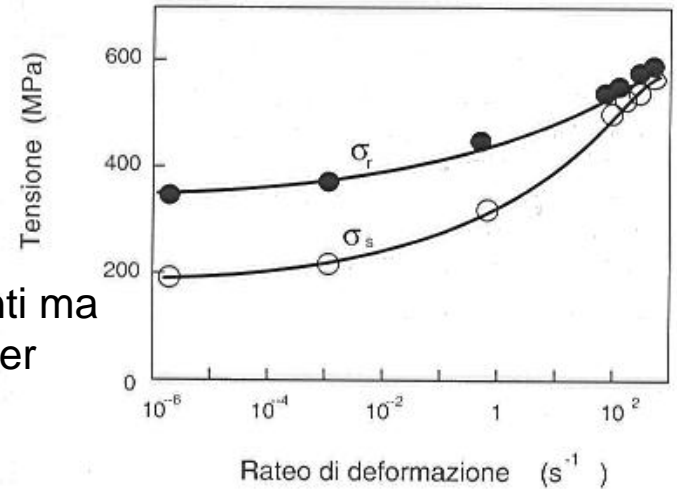


Progettare senza tenere conto della plasticità, oltre che semplificare notevolmente i calcoli, va, in questo senso, a favore di sicurezza



Uno dei parametri chimici che più influenzano il comportamento strutturale degli acciai è il tenore di carbonio, aumentandolo l'acciaio diventa più *duro*. (si alza la tensione di snervamento e diminuisce il rapporto snervamento / rottura)

La velocità di deformazione rende gli acciai più resistenti ma anche più fragili – Qualche cosa di simile si ha anche per effetto dell'abbassamento della temperatura



Deformare a freddo un acciaio dolce equivale a renderlo più resistente in regime elastico – ma diminuisce sensibilmente la sua riserva plastica

Lo si fa negli acciai per molle / nello stampaggio delle lamiere / nei fili che costituiscono i trefoli delle funi