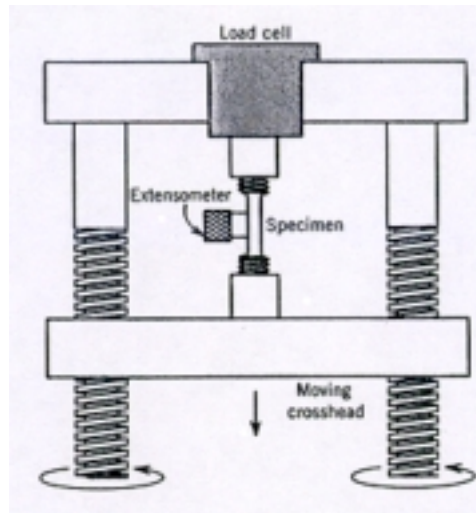


PROVA DI TRAZIONE



La prova di trazione (tensile test) consiste nel sottoporre un provino ad una deformazione a velocità costante, mediante l'azione di un carico di trazione unidirezionale F (load) applicato ortogonalmente alla sezione del provino. Durante la prova si misura il valore del carico e la lunghezza del provino (tabella 1) tramite rispettivamente una cella di carico e un estensimetro.

Carico [KN]	Lunghezza [mm]	Stress [MPa]	Deformazione
0	50,00	0	0
5	50,03	40,7	0,0006
10	50,06	81,5	0,0012
20	50,12	162,8	0,0024
30	50,18	244,2	0,0036
35,6 (max)	53,00	290,1	0,0600
33,8 (frattura)	55,20	275,5	0,1400

tabella 1: valori della prova a trazione per un provino d'una lega d'alluminio di diametro 12,5 mm

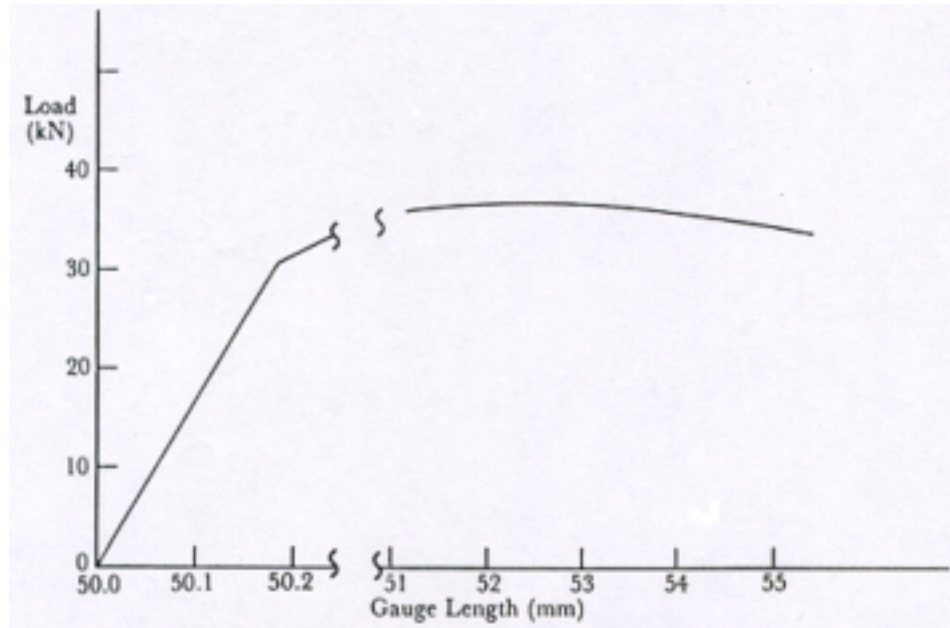


Fig.2: diagramma carico-lunghezza ottenuto dai valori della prima e seconda colonna della tabella 1

I risultati potrebbero essere riportati in un diagramma carico-lunghezza (Fig. 2) ma in tal modo sarebbero influenzati, ad esempio, dal diametro del provino. E più logico far sì che i valori di un test siano indipendenti dalla geometria del provino ma validi per qualsiasi forma o dimensione; per questo si preferiscono misurare durante la prova lo sforzo σ (o stress o engineering stress) e la deformazione ε (o engineering strain o strain) definibili rispettivamente come:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad [\text{MPa o Kg/mm}^2]$$

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \quad [\text{adimensionale}]$$

in cui A_0 e' l'area della sezione del provino prima del test, l_0 e' la lunghezza iniziale del provino e l quella durante la prova dopo che il carico F e' stato applicato.

In tal modo si ottengono dei valori (tabella 1) che vengono riportati nel diagramma sforzi-deformazioni (stress-strain curve) (Fig. 3).

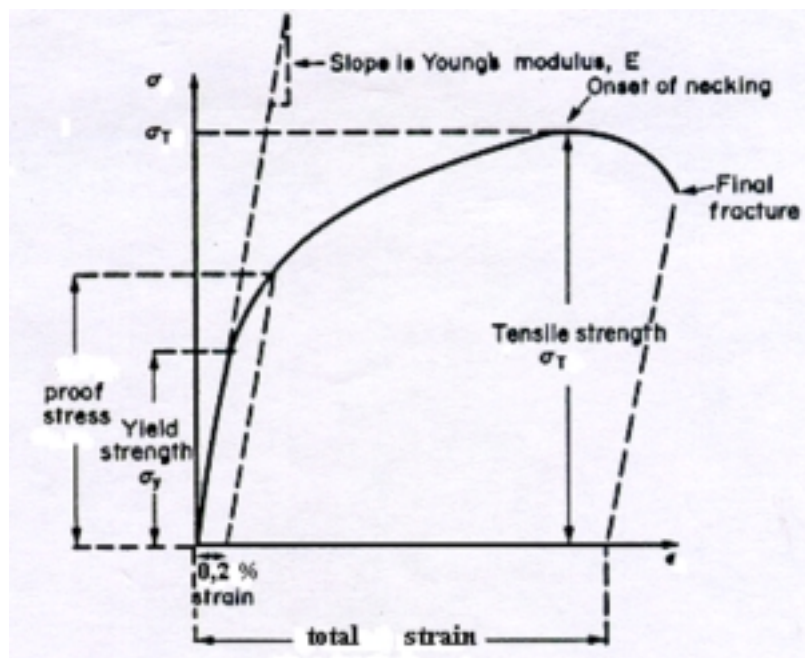
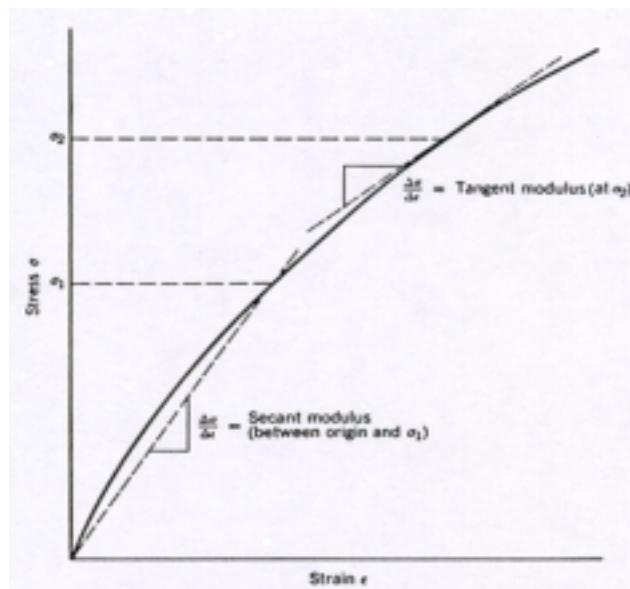


Fig.3: Curva sforzi-deformazioni ottenuta dai valori della terza e quarta colonna della tabella 1

Inizialmente, quando il carico ha un valore basso, il materiale si allunga elasticamente ovvero puo' riprendere la sua lunghezza originaria se il carico torna a zero:

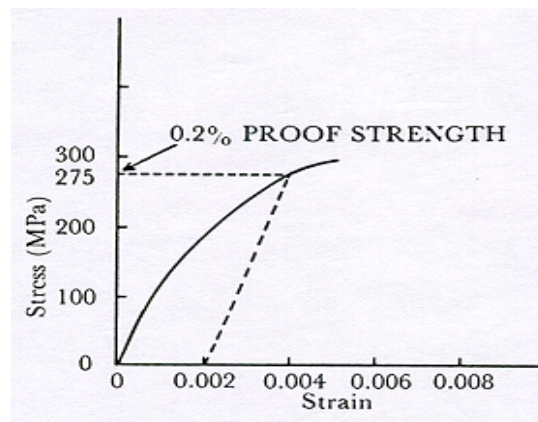
la curva segue, infatti, un andamento lineare rappresentato dalla legge di Hooke $\sigma = E \varepsilon$ in cui la costante di proporzionalità E è il modulo d'elasticità o di Young [MPa o Kg/mm²].

I valori di σ che descrivono il tratto iniziale rettilineo, **la cui pendenza è data da E** , definiscono il campo elastico. Alcuni materiali (ad esempio la ghisa grigia) presentano un andamento non lineare nella parte elastica della curva stress-strain; in questi casi E non è determinabile come scritto in precedenza ma si considera **il modulo d'elasticità tangente o secante** definiti rispettivamente come la pendenza della retta tangente alla curva ad uno specifico valore di σ e come la pendenza della retta secante la curva in un punto e passante per l'origine



Sopra un certo valore di σ la deformazione aumenta: se questa rimane anche in piccola parte quando il carico è stato tolto, **il materiale ha subito una deformazione permanente e si è entrati nel campo plastico**; carichi più elevati conducono poi alla rottura del materiale.

Il limite di snervamento σ_y (yield strength) è lo stress al quale si passa dal campo elastico a quello plastico che generalmente coincide con il limite di proporzionalità P in cui la curva smette di seguire un andamento lineare. Spesso però questo limite non è determinabile con esattezza e allora si assume come σ_y quello che comporta una deformazione plastica dello 0,2% (offset yield strength o proof strength): esso viene determinato portando la parallela al tratto elastico iniziale della curva, in corrispondenza del valore $\epsilon = 0,002$, e vedendo a quale valore dello stress corrisponde l'intersezione di tale retta con la curva



Il valore del limite di snervamento così ottenuto è un limite convenzionale perché spesso si è già nel campo plastico.

σ_y può variare da 35 MPa per una lega di Al a 1400 MPa per un acciaio ad alta resistenza:

Per quei materiali che non hanno un tratto elastico della curva $\sigma - \varepsilon$, il calcolo di questo limite fittizio non è possibile e, in genere, si assume come limite di snervamento lo stress necessario a produrre un certo strain (ad esempio $\sigma = 0,005$).

La curva sforzi-deformazioni per certi acciai a basso contenuto di carbonio può presentare un doppio limite di snervamento (Fig.6): ciò accade poiché il materiale dovrebbe iniziare a deformarsi plasticamente allo stress σ_1 ma, in realtà, piccoli atomi interstiziali raggruppati attorno alle dislocazioni interferiscono con il loro movimento (che fa segnare l'inizio della deformazione plastica) il quale comincia solo ad un valore σ_2 detto limite di snervamento superiore (upper yield point). Solo dopo che si è raggiunto tale limite, le dislocazioni si muovono e l'allungamento del campione può avvenire sotto uno stress che può anche diminuire fino al valore σ_1 detto limite di snervamento

inferiore (lower yield point). Da notare che nel tratto tra Z e σ_2 , il comportamento e' elastico ma non piu' proporzionale (vale a dire non segue la legge di Hooke).

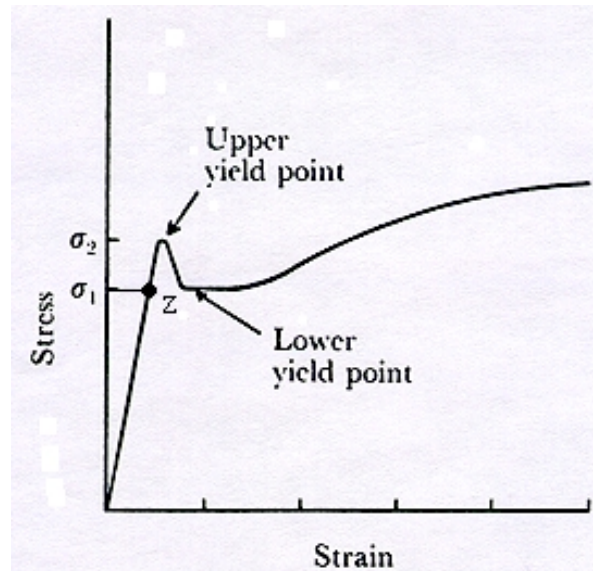


Fig. 6: Limiti di snervamento inferiore e superiore per un acciaio a basso contenuto di carbonio

Ritornando alla Figura 3, dopo σ_y si ha l'inizio di una deformazione plastica: tuttavia inizialmente questa deformazione e' uniforme, ossia l'allungamento interessa tutta la lunghezza del provino e contemporaneamente si ha un'uniforme diminuzione della sezione (includimento). Il materiale diventa piu' resistente, lo stress necessario per deformatarlo cresce fino ad un valore massimo σ_t (tensile strength) preso come misura della resistenza a trazione.

σ_t puo' variare da 50 MPa per una lega di Al a 3000 MPa per un acciaio ad alta resistenza, comunque alcuni esempi sono riportati nella tabella 2:

Materiale	σ_y [MPa]	σ_t [MPa]
Diamante	50000	$\sigma_y \gg \sigma_t$
carburo di silicio SiC	10000	"
carburo di tungsteno WC	6000	"
Allumina Al ₂ O ₃	5000	"
Zircone ZrO ₂	4000	"
acciai temprati	500 -1980	680 -2400
leghe al nickel	200 -1600	400 -2000
Nickel	70	400
Molibdeno e leghe	560 -1450	665 -1650
Titanio e leghe	180 -1320	300 -1400
ghise	220 -1030	400 -1200
leghe al rame	60 -960	250 -1000
Rame	60	400
Alluminio	40	200
Ferro	50	200
Oro	40	220
Ghiaccio	85	-
Argento	55	300
Piombo e leghe	11 - 55	14 -70

tabella 2: valori della resistenza a trazione e del limite di snervamento per alcuni materiali

Nello stesso punto in cui si raggiunge σ_t avviene simultaneamente la strizione (necking), cioe' l' allungamento successivo sara' localizzato in una zona precisa del provino (neck) che portera' ad una riduzione locale dell'area della sezione

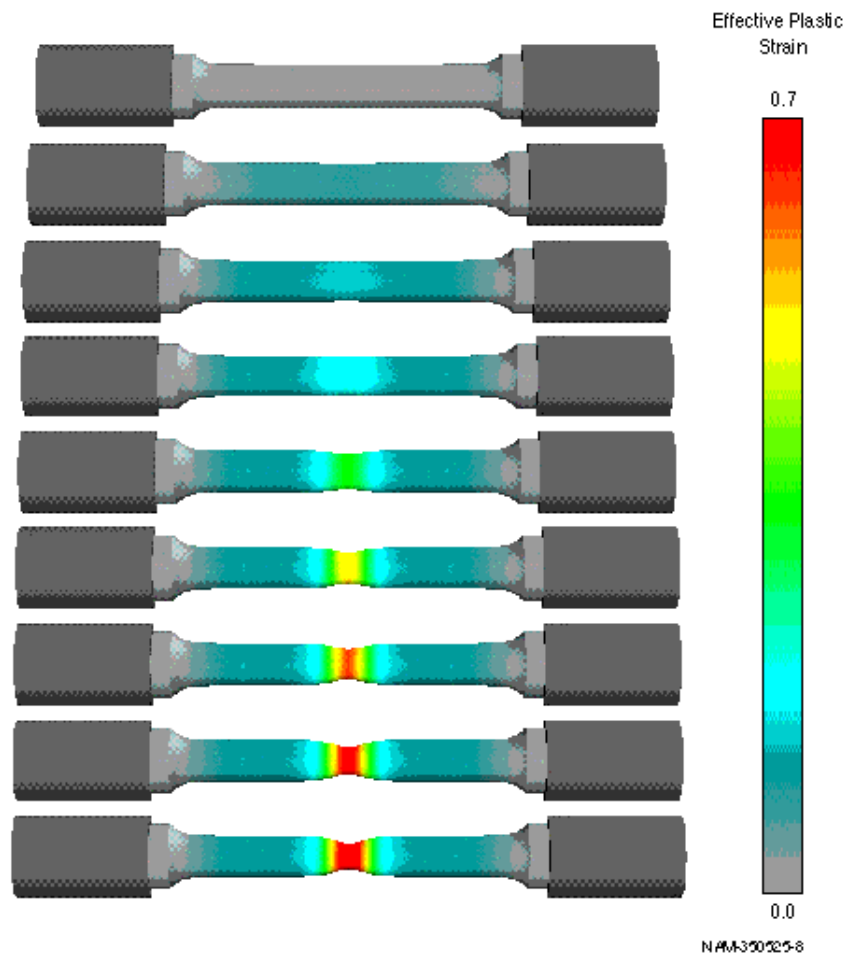
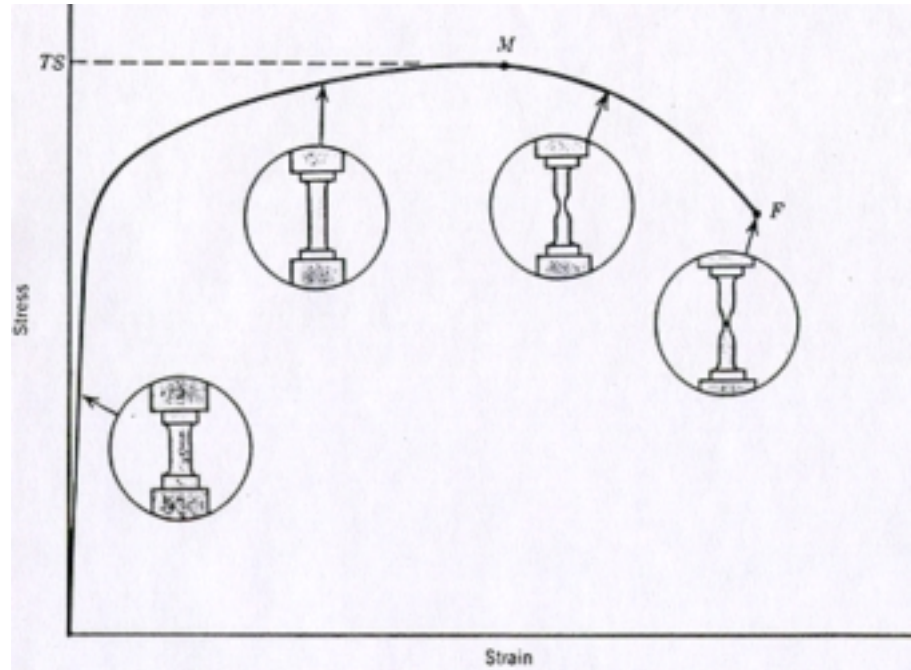
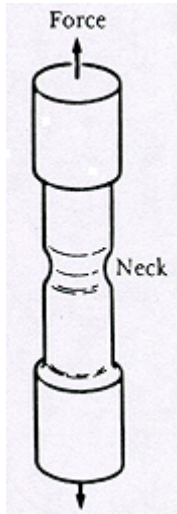


Figure WF-3. Simulation of the steel round bar tensile test including the necking behavior.

Dopo il fenomeno di strizione si produrrà una cricca che, propagandosi velocemente, porterà il provino alla rottura in corrispondenza al raggiungimento dello stress di rottura σ_r (rupture strength).

Secondo la curva sforzi - deformazioni si avrà una diminuzione dello stress dopo la strizione sino alla rottura. Questo avverrà in quanto, a seguito della riduzione della sezione, sarà richiesta una forza più bassa per mantenere una certa velocità di deformazione ma lo stress verrà calcolato in base al valore costante dell'area originale A_0 , non tenendo cioè in considerazione che questa sta diminuendo (cioè lo stress in realtà continua a salire).

Quindi è possibile spiegare come mai apparentemente il provino si rompe sotto uno sforzo di rottura σ_r minore di σ_t e come mai può presentare due diverse deformazioni sotto lo stesso carico.

Una più accurata descrizione del comportamento di un materiale è fornita dalla curva sforzi-deformazioni vera (true stress-strain curve) nella quale vengono riportati in ordinata e ascissa rispettivamente:

true stress $\sigma_t = \sigma \frac{A_0}{A} = \frac{F}{A} = \sigma (\epsilon + 1)$

$$\epsilon_t = \int_0^{\epsilon} d\epsilon = \int_{l_0}^l \frac{dl}{l} = \ln \frac{l}{l_0} = \ln (\epsilon + 1)$$

per $0 \leq \epsilon \leq \epsilon_t$ (prima della strizione)

true strain

$$\epsilon_t = \ln \frac{A_0}{A} \quad \text{per } \epsilon > \epsilon_t$$

(dopo la strizione)

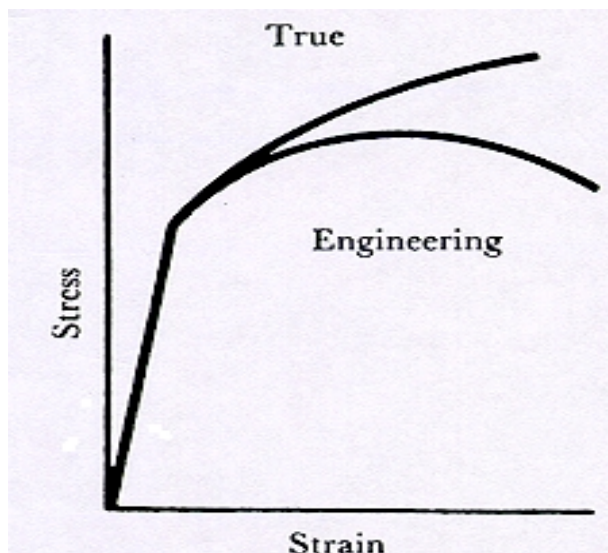
in cui A e' l'area che assume la sezione istante per istante alla quale e' applicato il carico normale F , A_0 e' l'area della sezione iniziale.

Durante la deformazione elastica avviene una piccolissima variazione di volume mentre durante la deformazione plastica questa variazione e' assente, quindi si puo' affermare che $A_0 l_0 = A_1 l_1 = \text{cost.}$

Da questo si deduce che se un materiale viene allungato la sua sezione deve diminuire: in realta' tale variazione e' trascurabile nella deformazione elastica, apprezzabile in quella plastica.

Poiche' la strizione e' una deformazione non omogenea, si preferisce dedurre la σ_t dalla sezione e non dalla lunghezza da cui l'equazione per $\sigma > \sigma_t$.

Nella figura qui sotto sono riportate le curve sforzi - deformazione convenzionale e vera: si vede come lo stress vero continui ad aumentare dopo la strizione poiche', come gia' detto, sebbene il carico richiesto diminuisce, l'area della sezione diminuisce ancor di piu'. Tuttavia bisogna osservare che una grossa differenza tra le due curve si ha a partire dalla strizione, e considerando che nella progettazione si tiene conto del limite di snervamento (perche' in genere non si vogliono deformazioni permanenti nei materiali usati), l'uso della curva convenzionale soddisfa in ogni modo le esigenze dell'ingegnere.



In verita', nella zona del provino in cui c'e' la strizione, lo sforzo non e' piu' di sola trazione ma ci sono componenti tangenziali e radiali delle quali, in teoria, bisognerebbe tenere conto. La loro presenza, infatti, comporta un valore piu' basso di σ , detto corrected stress, rispetto a quello vero dopo il punto M' in cui avviene la strizione (M e' il punto in cui avviene la strizione per la curva $\sigma - \epsilon$ tradizionale) (Fig.10).

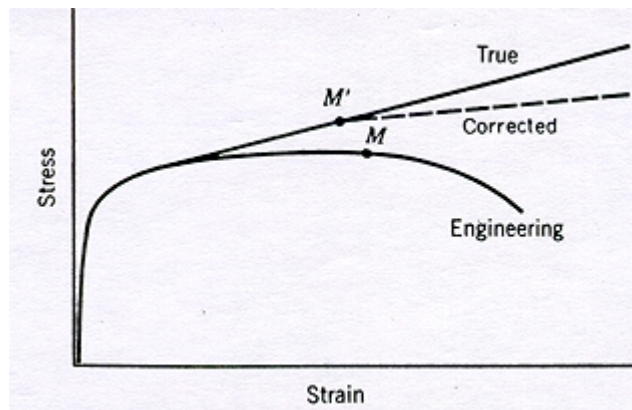


Fig.10: relazione tra sforzo e deformazione veri e corretti

Per alcuni metalli e alcune leghe l'andamento della curva dall'inizio della deformazione plastica all'inizio della strizione (vale a dire durante l'incrudimento) puo' seguire la legge:

$$\sigma_t = K \epsilon_T^n$$

in cui n e K sono costanti dipendenti dal materiale (vedi tabella 3).

Materiale	n	K [MPa]
low-carbon steel (annealed)	0,26	530
alloy steel 4340 (annealed)	0,15	640
stainless steel 304 (annealed)	0,45	1275
aluminium (annealed)	0,2	180
aluminium alloy 2024 (heat treated)	0,16	690
copper (annealed)	0,54	315
brass (70 Cu - 30 Zn, annealed)	0,49	895

tabella 3: valori di n e K per alcune leghe

Altre informazioni sono ricavabili dalle curve sforzi-deformazioni, come ad esempio la **duzzilita' (ductility)** definita come il grado di deformazione plastica che un materiale puo' sostenere durante la prova di trazione sino alla frattura. Puo' essere espressa come:

allungamento percentuale (% elongation) $\% \varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0} 100$

riduzione dell'area (% reduction area) $RA = \frac{A_0 - A_f}{A_0} 100$

dove l_f e l_0 sono la lunghezza finale, dopo rottura, e iniziale del provino mentre A_f e A_0 le rispettive aree della sezione del provino in cui e' avvenuta la frattura dopo e prima il test. Di solito i due valori non sono uguali, inoltre l'allungamento dipende dalla misura di l_0 che deve percio' essere riportata quando si forniscono i valori di σ . La duttilita' e' quella

caratteristica che permette ad esempio ad un materiale di venir trafilato in fili sottili ed il suo valore interessa sia il progettista, il quale preferisce che in caso di carichi troppo alti ci sia deformazione piuttosto che rottura, che il produttore, il quale puo' lavorare il materiale senza romperlo durante il processo di produzione.

Da notare come la prova di trazione sia influenzata dalla temperatura: in particolare σ_y , σ_t ed E diminuiscono con le alte temperature (Fig.11a e 11b) mentre la misura della deformazione al momento della rottura aumenta con l'aumentare della temperatura (Fig. 12).

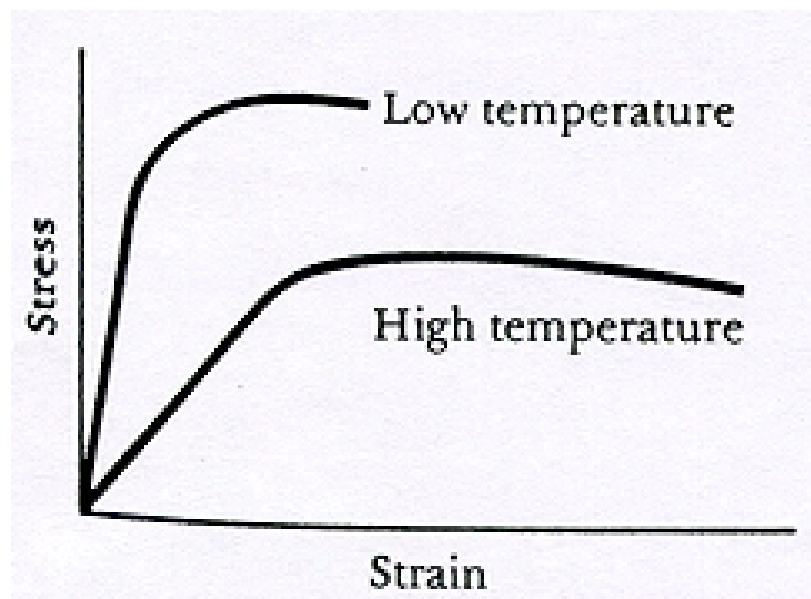


Fig.11a: Effetti della temperatura sulla curva stress-strain

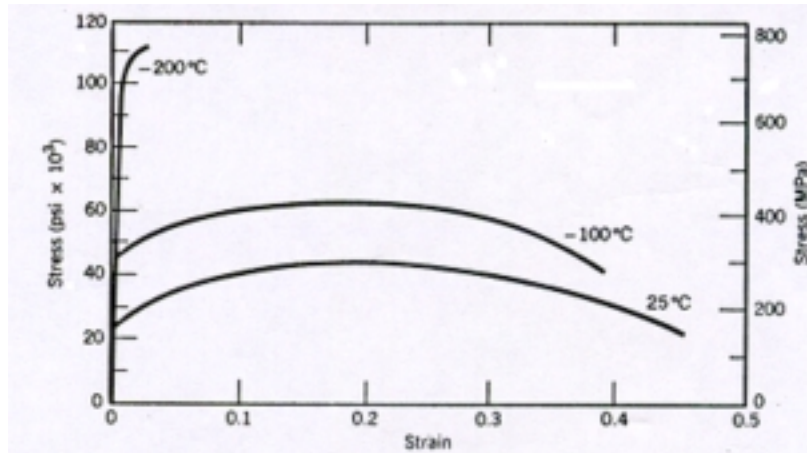


Fig.11b: Curve stress-strain per il ferro a tre diverse temperature

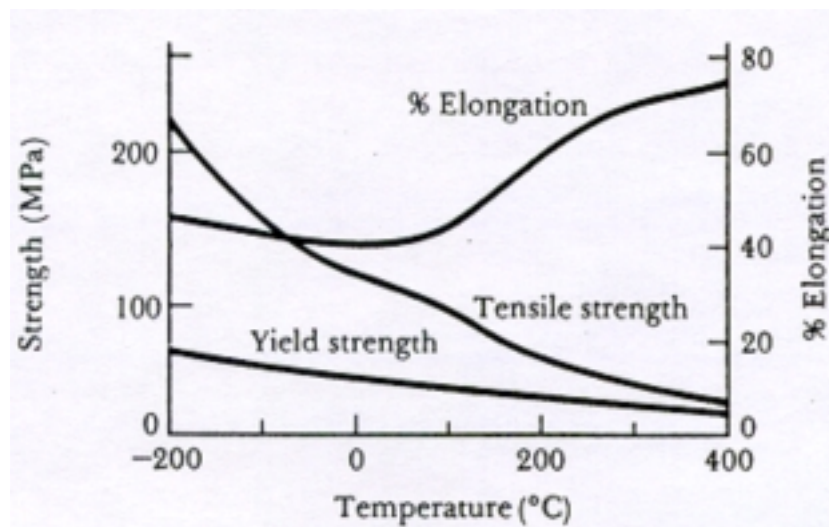


Fig.12: Effetti della temperatura sulle proprietà meccaniche di una lega d'alluminio

Al contrario dei materiali duttili quelli fragili (brittle) presentano una piccola, se non assente, deformazione plastica prima della rottura: nella loro curva sforzi-deformazioni σ_t coinciderà con σ_r e, nei casi estremi (come per i materiali ceramici), anche con σ_y (Fig.13).

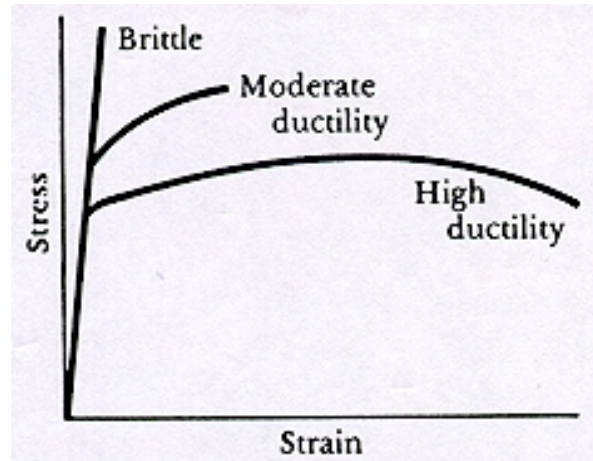


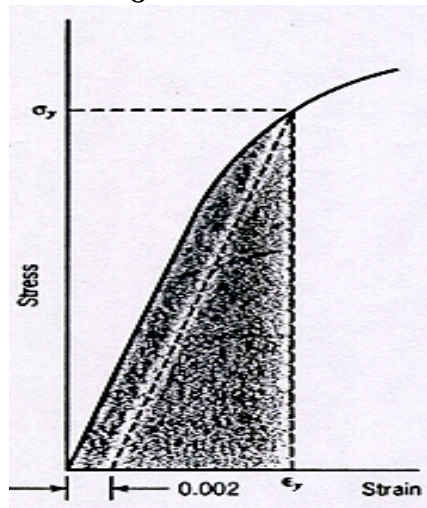
Fig.13: Comportamento a trazione di un materiale fragile paragonato a quello di altri piu' duttili

Approssimativamente potranno essere considerati fragili quei materiali che raggiungono la frattura per deformazioni inferiori al 5% e, proprio per questa loro caratteristica, risultera' difficile eseguire su di essi la prova di trazione.

La resilienza (resilience) e' la capacita' di un materiale di assorbire energia sotto deformazione elastica per poi restituirla una volta scaricato. Questa proprieta' e' quantificata con il modulo di resilienza U_r , il quale rappresenta l'energia elastica immagazzinata, per unita' di volume, in un materiale affinche' esso passi da uno stato di stress nullo al limite di snervamento.

Per un provino sottoposto a trazione U_r e' dato dall'area sottesa dalla curva $\sigma - \epsilon$ sino al σ_y , cioe':

$$U_r = \int_0^{\sigma_y} \sigma \, d\varepsilon \quad [\text{J/m}^3]$$



Assumendo una deformazione elastica lineare $U_r = \frac{1}{2} \sigma_y \varepsilon_y$ in cui σ_y e' la deformazione nello snervamento; in base alla legge di Hooke si ha che:

$$U_r = \frac{1}{2} \sigma_y \varepsilon_y = \frac{1}{2} \sigma_y \left(\frac{\sigma_y}{E} \right) = \frac{\sigma_y^2}{2E}$$

In tal modo un materiale resiliente e' tale se ha alto σ_y e basso E .

La tenacita' (toughness) quantifica la capacita' di un materiale di assorbire energia sino alla rottura; il suo valore percio' sara' pari all'area sottesa dalla curva $\sigma - \varepsilon$ sino alla rottura e si misurera' in J/m^3 .

Affinche' un materiale sia tenace esso deve essere sia resistente sia duttile, quindi i materiali duttili sono piu' tenaci di quelli fragili. Lo si vede in Fig. 15: sebbene il materiale fragile abbia un piu' alto σ_y e σ_t , la sua tenacita' (cioe' l'area A B C) e' minore di quella del materiale duttile (cioe' dell'area A B' C').

Si tenga presente che per arrivare alla frattura sara' necessario un contributo di energia elastica ed uno di energia plastica, tuttavia al suo raggiungimento il primo verra' restituito.

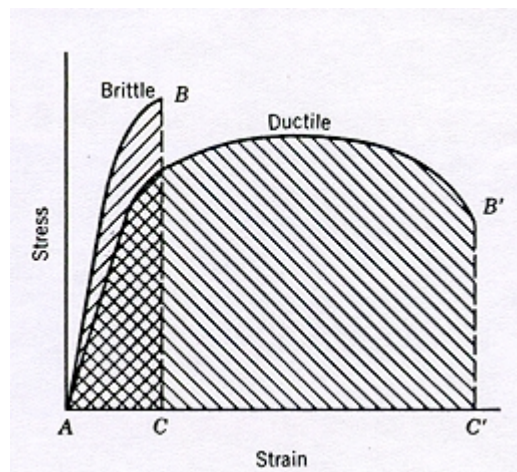


Fig.15: Comportamento a trazione di un materiale duttile ed uno fragile caricati sino a trazione

Ovviamente materiali diversi risponderanno con comportamento differente ad una prova di trazione sicche' si otterranno curve stress-strain diverse.

I polimeri sono costituiti da lunghe catene aggrovigliate d'unita' base dette monomeri (che sono molecole piu' o meno semplici) ripetute all'infinito.

Un elastomero e' un materiale che puo' essere allungato fino ad almeno due volte la sua lunghezza originaria, anche con bassi stress, e una volta rilasciato torna alle dimensioni iniziali.

In base a questa definizione i polimeri possono distinguersi in gomme (che sono materiali elastomerici) o in plastiche (che sono materiali piu' rigidi).

Quando una gomma viene sottoposta a trazione, le catene di molecole cominciano ad allungarsi e a districarsi in direzione dello sforzo, e il materiale si fa piu' rigido a causa delle aumentate forze attrattive tra le molecole; quando lo sforzo cessa, le catene ritornano al loro stato originario.

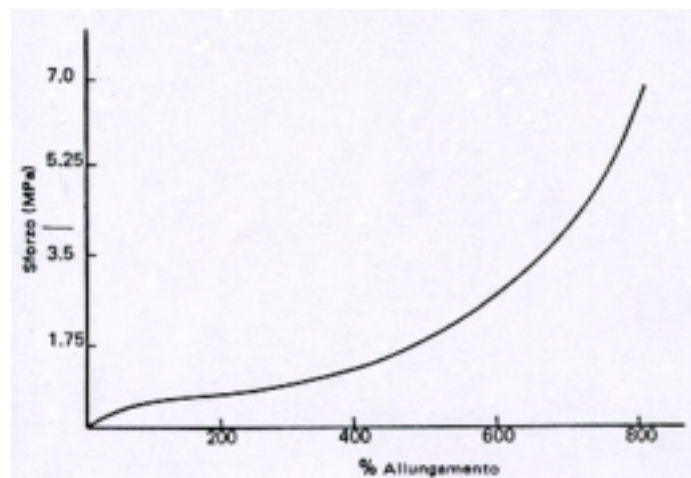


Fig.16: curva sforzi-deformazioni per una gomma tenera

In Fig.16 e' rappresentata la curva sforzi-deformazioni per una gomma, da cui si deduce che questa non obbedisce alla legge Hooke, ha un modulo di Young basso e la resistenza a trazione puo' andare da 7 MPa a circa 20 MPa poco prima di rompersi.

Si possono tracciare anche curve sforzi-deformazioni per una prova a compressione: nel caso della gomma (Fig.17) una compressione causa all'inizio un piu' efficiente riempimento dello spazio del materiale; al diminuire dello spazio disponibile, aumenta la resistenza ad un'ulteriore compressione finche' cominciano a reagire alla tensione applicata dei legami primari nelle le catene. Aumenta cosi' la pendenza della curva all'aumentare della deformazione stessa in compressione.

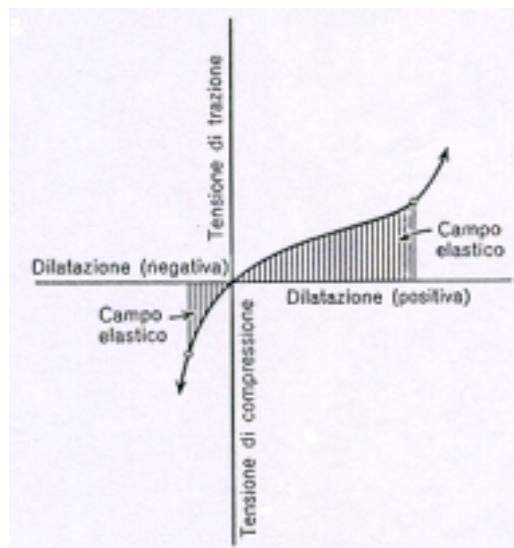


Fig.17: Tipico comportamento elastico di elastomeri a compressione e trazione

I materiali polimerici possono dividersi in tre gruppi in base alla loro curva stress-strain (Fig.18):

polimeri fragili (curva A) i quali si rompono mentre si deformano elasticamente

polimeri plastici (curva B) in cui la deformazione iniziale elastica e' seguita da snervamento e deformazione plastica

polimeri elastici (curva C) i quali sono degli elastomeri.

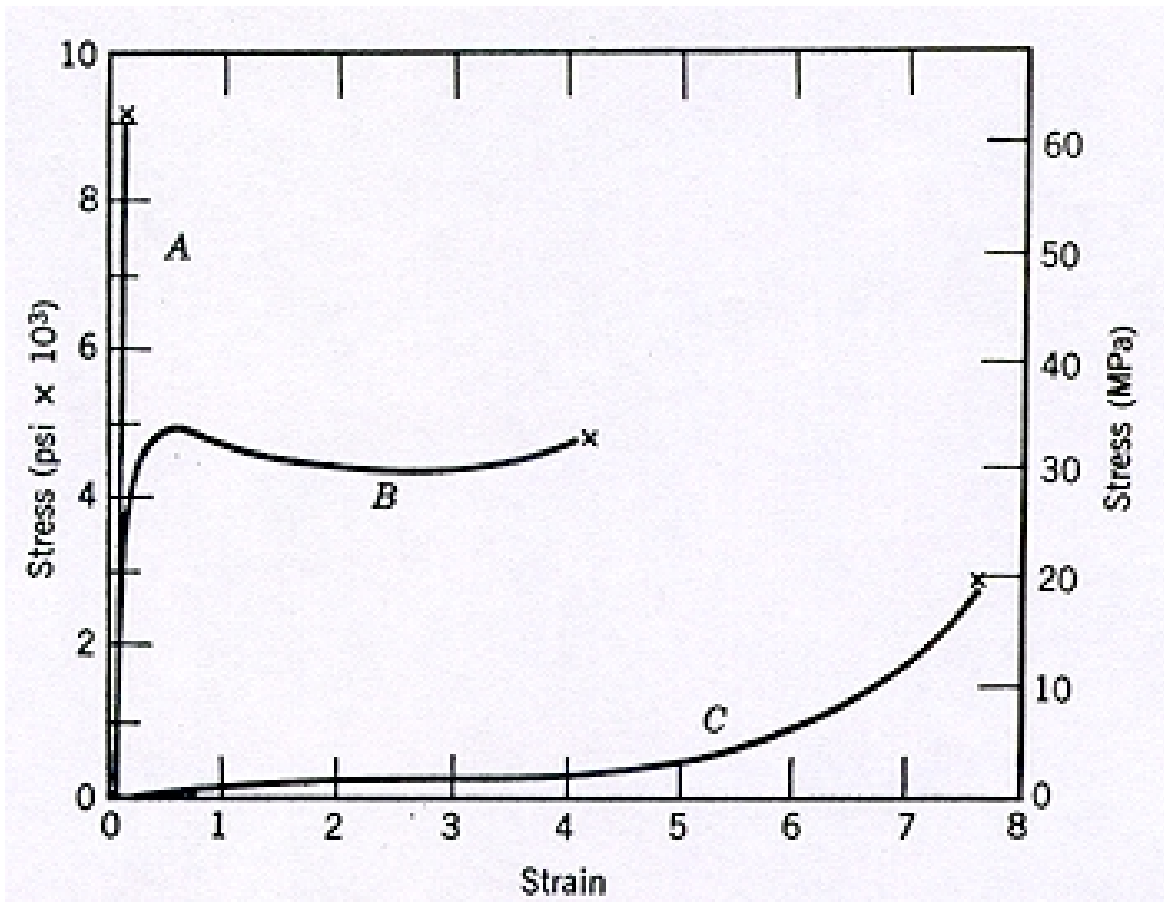


Fig 18: curve stress-strain per materiali polimerici fragili, plastici ed elastici

Consideriamo la curva σ - ϵ per un polimero plastico (Fig.19): la deformazione elastica e' concessa dai legami covalenti tra i monomeri che permettono di allungare le catene e recuperare poi la deformazione quando lo stress termina.

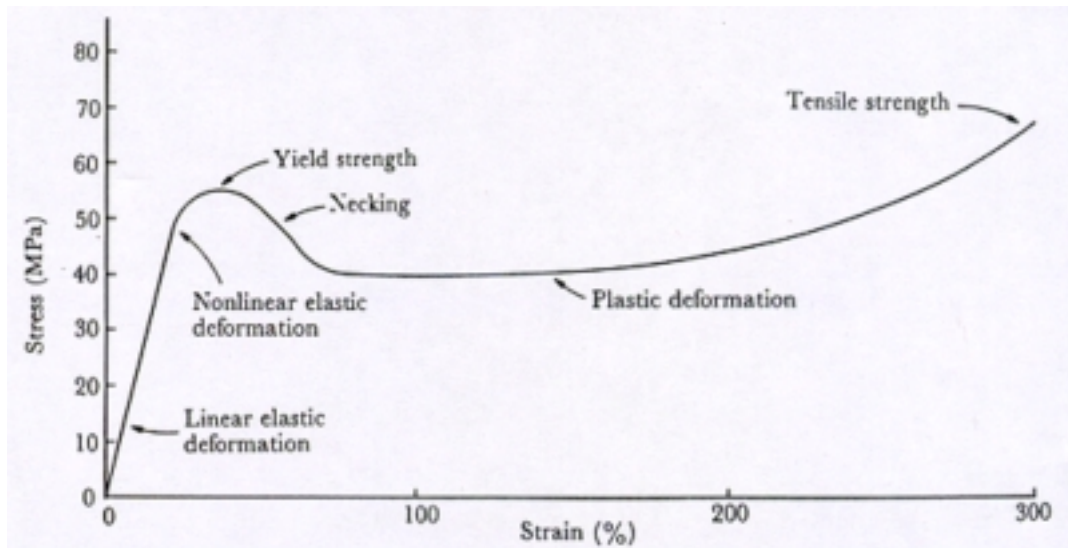


Fig.19: curva sforzi-deformazioni per il nylon 6,6, tipico polimero plastico

Il tratto iniziale della curva puo' essere lineare, tuttavia alcune zone delle catene possono richiedere ore o mesi per ritornare alle dimensioni originarie e cio' puo' indurre un comportamento elastico non lineare.

Superato lo snervamento si ha un comportamento plastico (quindi una deformazione permanente) causato dallo scivolamento delle catene una sopra l'altra:

ovviamente quanto piu' velocemente lo stress e' applicato tanto piu' e' favorito un comportamento fragile del polimero.

In tabella 4 sono forniti alcuni valori indicativi di σ_t per certi polimeri e il loro allungamento percentuale al momento della rottura.

Materiale	Resistenza a trazione [MPa]	Allungamento alla rottura (%)
polietilene (bassa densita')	8,3 - 32,7	100 - 650
polietilene (alta densita')	22 - 31	10 - 1200
polivinilcloruro	41 - 52	40 - 80
polipropilene	31 - 41	100 - 600
polistirene	36 - 52	1,2 - 2,5
polimetilmetacrilato	48 - 76	2,0 - 10
fenolformaldeide	34 - 62	1,5 - 2,0
nylon 6,6	76 - 94	15 - 300
poliestere	48 - 72	30 - 300
policarbonato	66	110

tabella 4: Proprieta' meccaniche di alcuni polimeri a temperatura ambiente

Da notare che, per i polimeri, l'aumento della temperatura avvicina il loro comportamento a quello di un elastomero (Fig.20) e che, negli elastomeri, il modulo d'elasticita' e la resistenza a trazione possono essere notevolmente aumentati con un processo chimico detto vulcanizzazione (Fig.21)

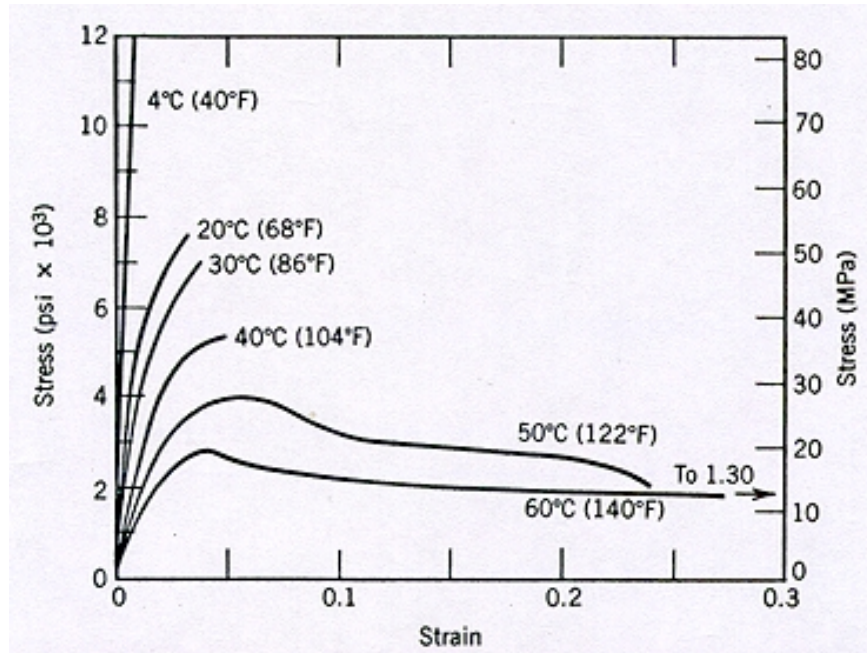


Fig.20: Influenza della temperatura sulla curva stress-strain del polimetil metacrilato

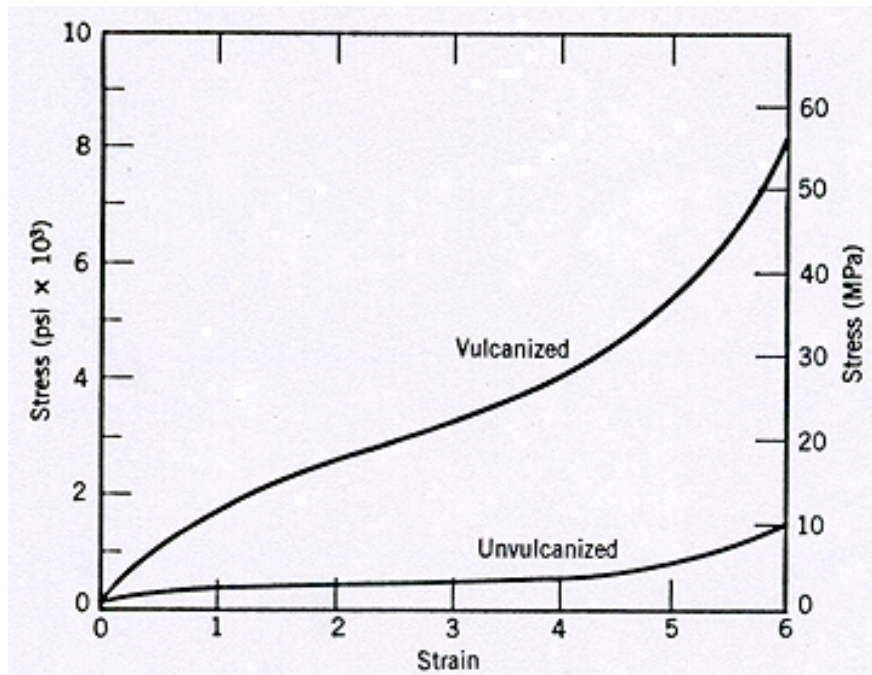
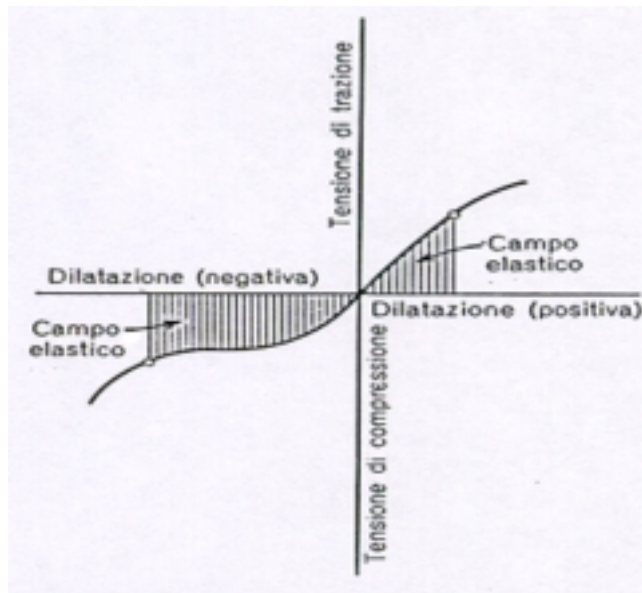


Fig.21: Curve stress.strain al 600% di allungamento per una gomma naturale vulcanizzata e non

Il legno e' un polimero naturale, in particolare un materiale cellulare in cui le macromolecole sono orientate e cristalline: esso e' completamente rigido a compressione fino a che la sollecitazione non provoca l'inflessione elastica delle pareti della cavita', al quale punto si puo' avere una considerevole deformazione senza notevole incremento della sollecitazione. La rigidita puo' aumentare poi di nuovo allorché le cavita' si annullano. In tali materiali considerevolissime deformazioni non lineari possono essere recuperabili; naturalmente, se la sollecitazione diventa sufficientemente alta, le cavita' cellulari si schiacciano e la deformazione non puo' piu' essere recuperata. Chiaramente, in trazione le pareti della cavita' non possono flettersi elasticamente allo stesso modo



I materiali ceramici, sia cristallini sia non, hanno un comportamento tipicamente fragile, in altre parole presentano deformazione esclusivamente elastica (quindi una relazione lineare tra σ e ϵ), se sottoposti sia a trazione sia a compressione, fino al punto di rottura (Fig. 23): tuttavia mentre la resistenza a trazione e' bassa e generalmente imprevedibile, quella a compressione raggiunge valori molto elevati.

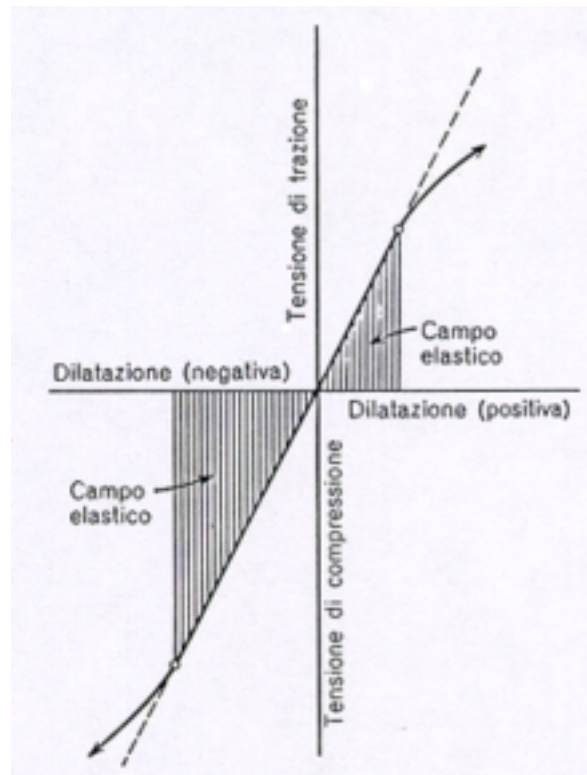


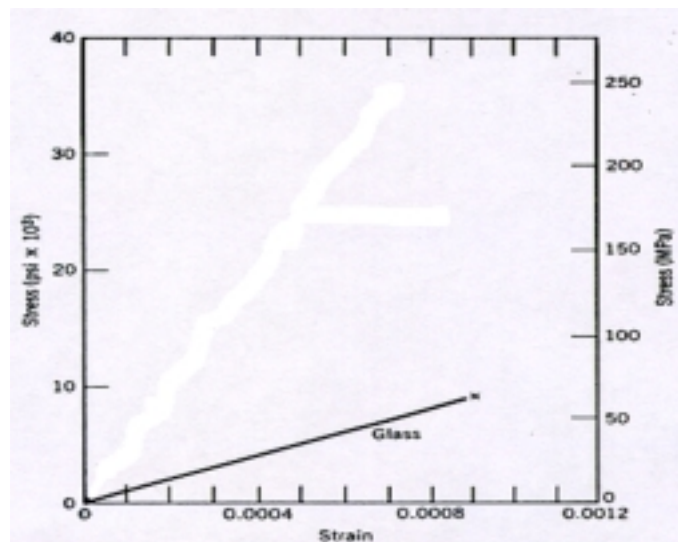
Fig.23. Tipico comportamento elastico di materiali cristallini a trazione e a compressione

In verita' una deformazione plastica e' pur sempre possibile, anche se piccolissima, ma e' comunque differente a seconda che si parli di **ceramici cristallini o non cristallini**: nel primo caso essa sara' dovuta al movimento delle dislocazioni che, essendo difficile per limiti di natura geometrica ed elettrostatica, sara' il motivo della durezza e fragilita' del materiale stesso; nel secondo caso sara' dovuta ad un flusso viscoso d'atomi che, non avendo una struttura atomica regolare, romperanno e riformeranno i legami tra loro.

Il fatto che non vi sia deformazione plastica giustifica cosi' sia l'alta resistenza alla compressione (purche' non vi sia porosita' nel materiale), sia la fragilita' essendo tali materiali impossibilitati ad "accomodare" locali concentrazioni di stress, superiori alla resistenza a trazione, che si formano in presenza di cricche o difetti naturali: se, infatti, la frattura si forma localmente essa riesce a propagarsi velocemente proprio per l'assenza di deformazione plastica.

Il **vetro** e' un materiale ceramico che sotto carichi di breve durata, a temperatura ambiente, presenta comportamento fragile con assenza di deformazione plastica: la sua curva

sforzi-deformazioni (Fig. 24) e' tipica di un solido perfettamente elastico, vale a dire lineare secondo la legge di Hooke. **Sotto carichi di lunga durata o per temperature sempre piu' elevate il vetro si deforma plasticamente col meccanismo dello scorrimento viscoso.** Mediamente la resistenza a trazione e' bassa (circa 20 MPa), ma puo' venir incrementata a 60 - 90 MPa se la superficie viene trattata in modo da diminuire eventuali difetti. In particolare le fibre di vetro possiedono una resistenza a trazione spesso oltre i 700 MPa per due motivi: innanzi tutto permettono comunque lo scorrimento viscoso e in secondo luogo, essendo quasi esenti da difetti superficiali, la propagazione delle fratture per trazione e' ridotta al minimo.



In Fig. 25 e' riportata infine la curva sforzi-deformazioni per un tessuto biologico molle, il quale presenta un comportamento elastico particolare tale da permettergli di rimanere resistente anche quando severamente deformato.

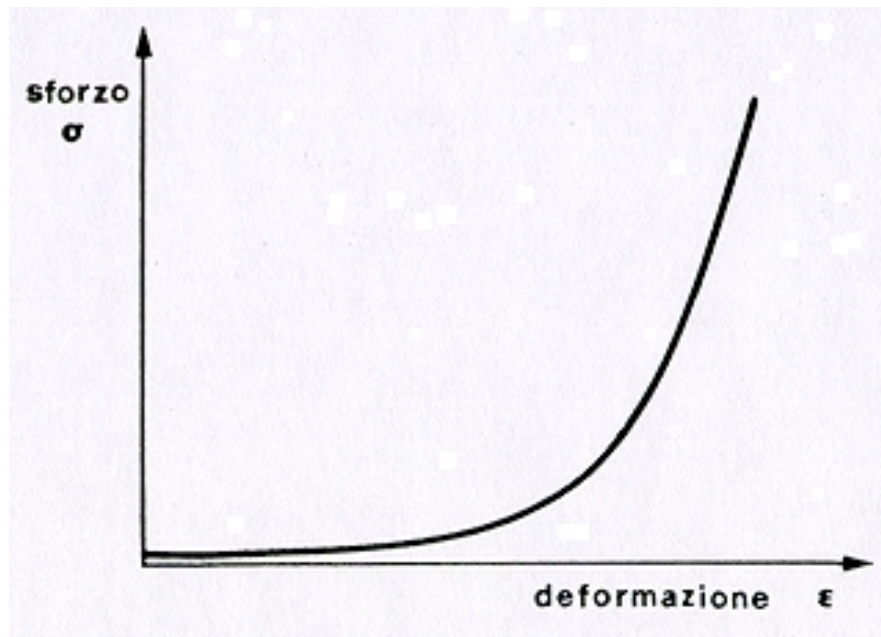


Fig.25: comportamento a trazione di un tipico tessuto biologico molle

Per quanto riguarda i provini usati durante il test, essi hanno generalmente tre tipi di teste (Fig. 26a e 26b) ed una forma a “osso di cane”, con una sezione piu' piccola nella parte centrale in modo da favorire la frattura lontano dalle estremita' e quindi dalla zona piu' influenzata dagli sforzi d'attacco.

Per le loro dimensioni, cioe' la lunghezza l_0 e l'area della sezione centrale A , si fa in modo di rispettare la condizione:

$$l_0 = K \sqrt{A}$$

dove K e' una costante il cui valore varia secondo lo standard di riferimento adottato: ad esempio

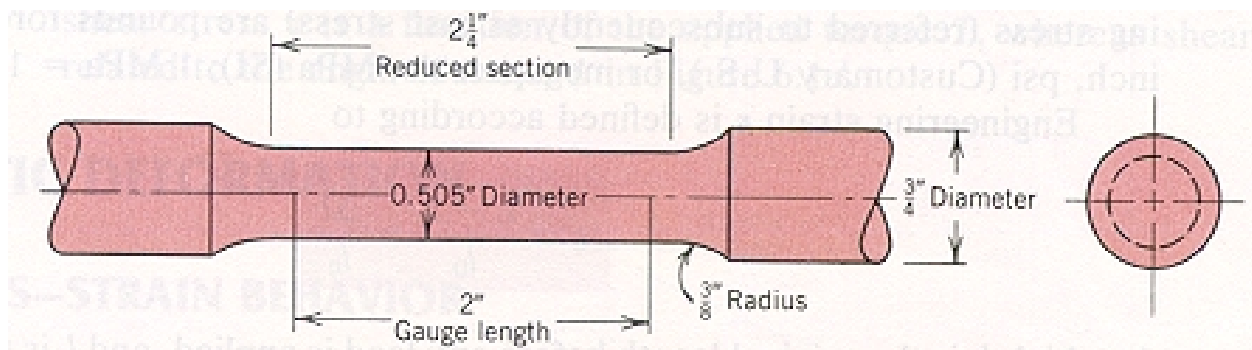
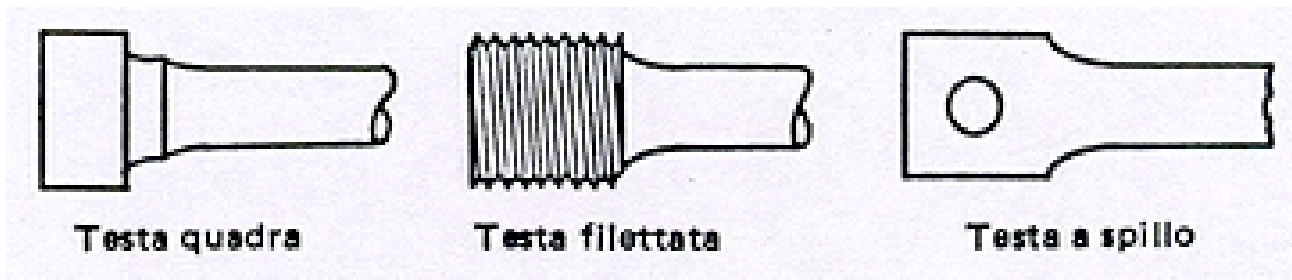
- quello americano ASTM raccomanda che $l_0 = 4,5 \sqrt{A}$

($l_0 \sim$ quattro volte il diametro del provino)

- mentre quello inglese che $l_0 = 5,65 \sqrt{A}$

($l_0 \sim$ cinque volte il diametro);

in genere i provini hanno diametro di 12,5 mm e lunghezza 50 mm.



- Fig. 26b: Provino standard a sezione circolare per prove di trazione