



Università degli studi di Firenze
Scuola di Ingegneria
Corsi di Laurea Magistrale in Ingegneria Biomedica

Biomeccanica sperimentale

(Macchine di prova & Caratterizzazione meccanica dei materiali)

Dott. Ing. Sara Matteoli

Proprietà dei materiali



Forniscono indicazioni riguardo le **attitudini** che hanno i materiali a lasciarsi trasformare o di **resistere agli sforzi esterni**

Proprietà dei materiali



Forniscono indicazioni riguardo le **attitudini** che hanno i materiali a lasciarsi trasformare o di **resistere agli sforzi esterni**

- 1) Proprietà fisiche:** si riferiscono alle caratteristiche generali della materia (massa volumica, dilatazione termica, conducibilità termica, conducibilità elettrica)
- 2) Proprietà chimiche:** riguardano i fenomeni che si producono fra un materiale e l'ambiente in cui esso è posto (decapaggio, cromatura (effetto utile), corrosione (effetto dannoso));
- 3) Proprietà meccaniche:** indicano l'attitudine di un materiale a resistere alle sollecitazioni esterne che tendono a deformarlo
- 4) Proprietà tecnologiche:** attitudine di un materiale ad essere lavorato in un dato modo (duttilità, malleabilità, piegabilità, fusibilità, saldabilità, truciolabilità, temprabilità);
- 5) Proprietà magnetiche:** attitudine dei materiali metallici, posti in un campo magnetico, a modificare le proprietà del campo stesso (i materiali possono essere classificati a seconda della loro sensibilità magnetica in paramagnetici, magnetici, ferromagnetici e diamagnetici)

Macchine di prova



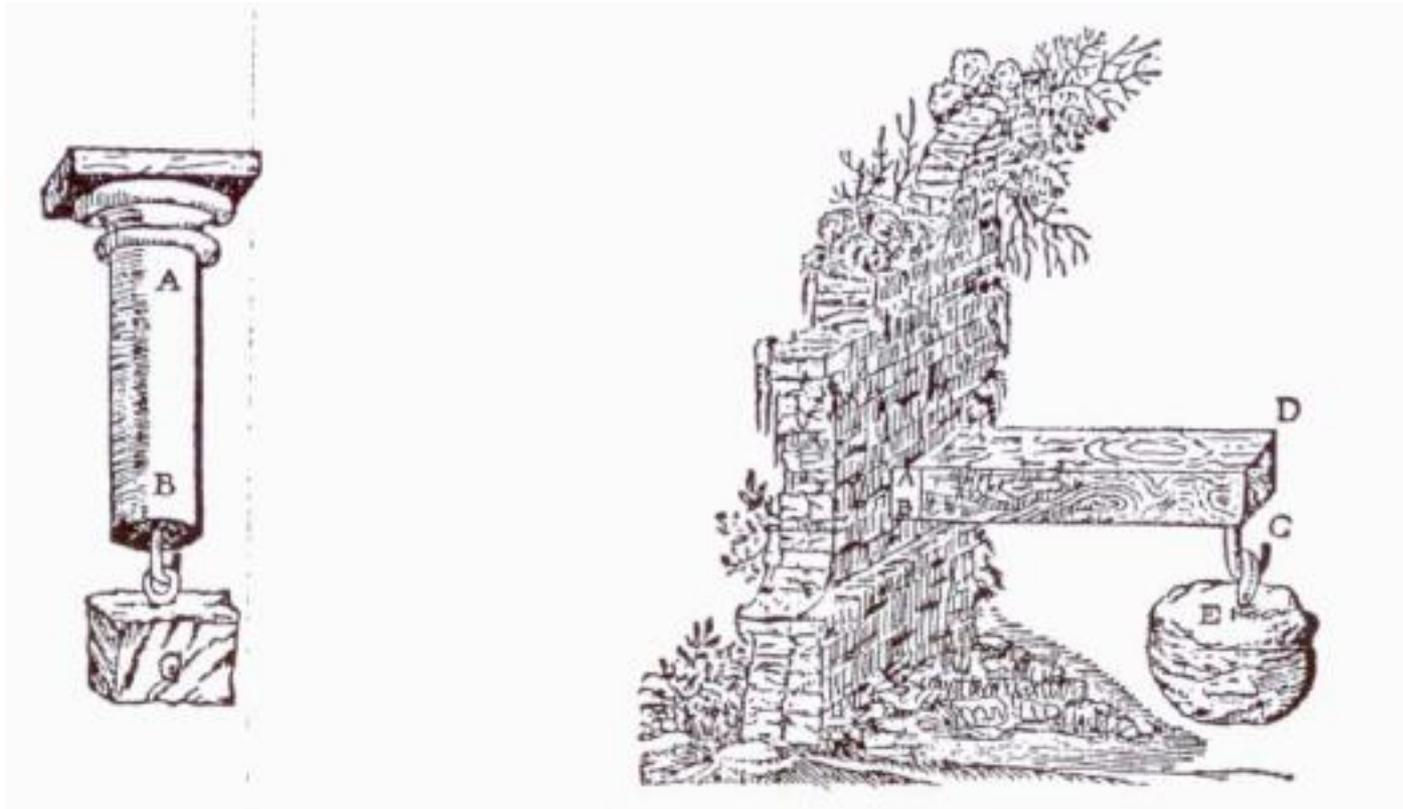
Il compito storicamente affidato alle macchine di prova è stato quello di **qualificare i diversi materiali impiegati dall'ingegnere.**

Si sono quindi dovuti progressivamente definire con opportune norme parametri da misurare, le **condizioni di prova** (ad es. trazione semplice, compressione, urto, imbutitura, piegamento, ecc.) e le **forme dei provini.**

Con l'aumentare delle norme si sono ovviamente moltiplicati i dispositivi e gli accessori delle macchine.

Esiste poi una seconda strada su cui sono avviati da qualche anno i laboratori: si tratta di **provare non più il materiale, ma bensì il pezzo**, realizzando dispositivi capaci di applicare a pezzi o modelli di forma e dimensioni molto varie carichi ovvero deformazioni prescelti e generalmente variabili nel tempo, che simulino le condizioni reali di esercizio.

Macchine di prova



Schema di prove di trazione e di flessione, secondo Galileo Galilei (figure tratte da *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*, Leida, 1638).

Macchine di prova



Le macchine di prova dei materiali possono essere classificate in vario modo, ed una loro enumerazione descrittiva non è semplice per la varietà delle prove che si possono eseguire e dei materiali che si possono sottoporre a prova.

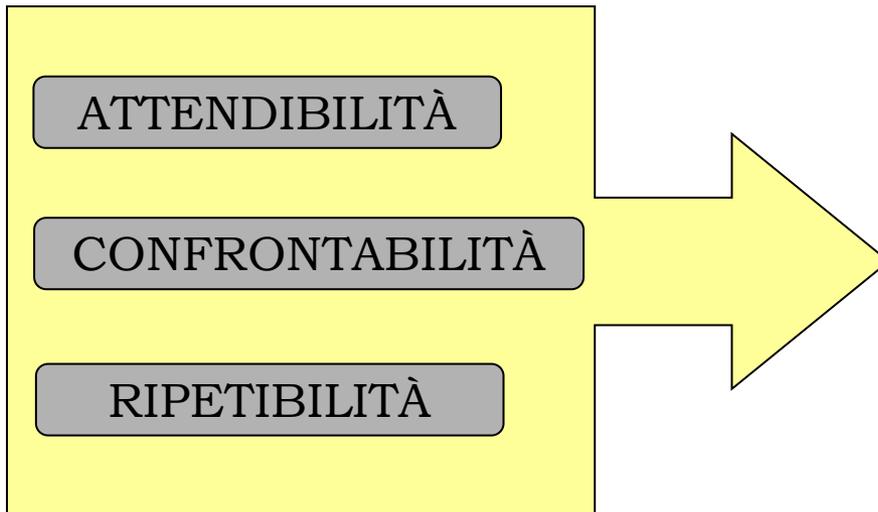
Ci limiteremo a parlare delle **macchine di prova cosiddette universali** che si distinguono per un telaio di carico ed un corredo di afferraggi che permettono di sollecitare provini molto diversi tra loro quanto a forma e dimensioni, e di realizzare le **prove unificate di trazione** (UNI 556), **compressione** (UNI 558) e **flessione statica** (UNI 559).

Queste macchine sono in genere dotate di **più scale di carico** e dispongono di sistemi di programmazione e di comando che permettono di realizzare **cicli di sollecitazione del provino molto diversi tra loro** quanto a forma ed a frequenza.

Prove sui materiali



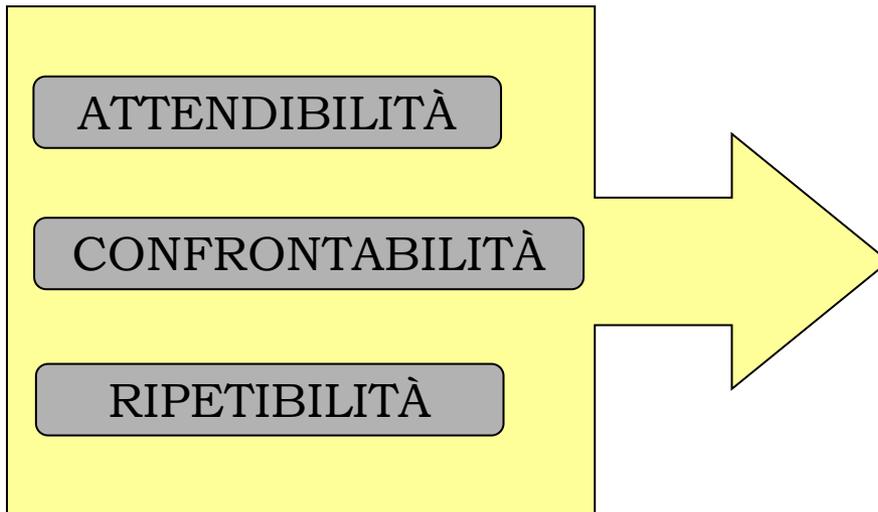
Le prove sui materiali devono essere eseguite secondo metodi e procedimenti che ne garantiscano i caratteri di:



Prove sui materiali



Le prove sui materiali devono essere eseguite secondo metodi e procedimenti che ne garantiscano i caratteri di:



Sono state decise **norme** precise sul loro svolgimento.

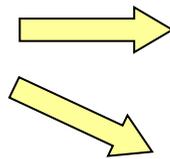
Tali norme riguardano: l'ambiente in cui vengono eseguite, le apparecchiature da usare, i procedimenti di esecuzione delle prove, le dimensioni e le modalità di realizzazione delle provette.

Il rispetto di queste norme garantisce **la validità della prova e dei suoi risultati** e ne facilita la comunicazione.

Prove meccaniche



DISTRUTTIVE

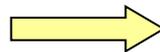


Resistenza:

- trazione
- compressione
- flessione

Resilienza

NON DISTRUTTIVE



Durezza

Quelle effettuate mediante:

- controlli radiografici
- ultrasuoni
- correnti indotte
- liquidi penetranti

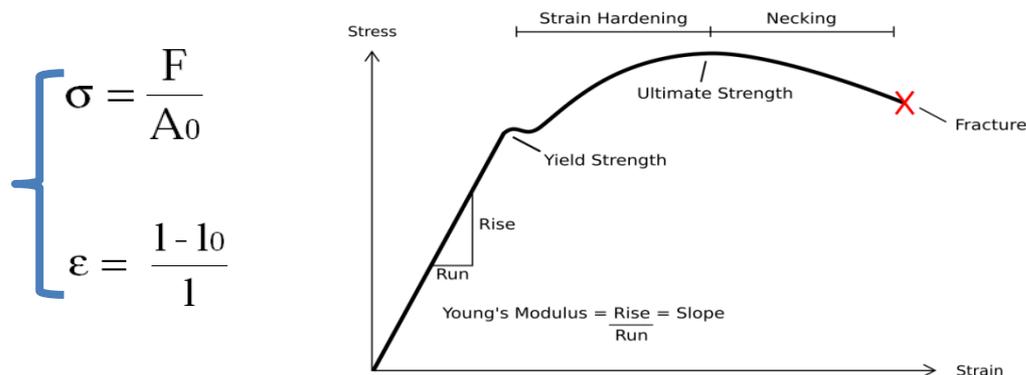
Prova di trazione

La **prova di trazione** consiste nel sottoporre un provino ad una **deformazione a velocità costante**, mediante l'azione di un carico di trazione unidirezionale F applicato ortogonalmente alla sezione del provino. Il provino ha una **forma cilindrica** con estremità di diametro maggiore per il fissaggio alle ganasce; nella zona centrale il provino deve avere un rapporto tra lunghezza dai segni di riferimento (L_0) e il diametro (d) tale che **$L_0 = 5 d$** .

Durante la prova si misura il **valore del carico** e la **lunghezza del provino** tramite rispettivamente una **cella di carico** e un **estensimetro**.

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

I risultati sono poi riportati in un diagramma sforzo-deformazione



Prova di compressione

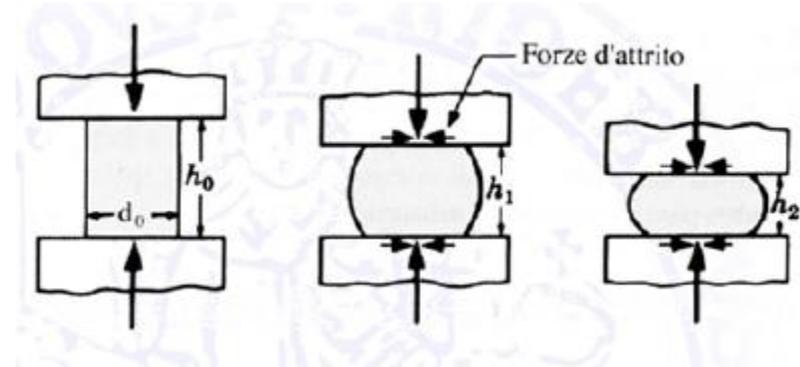
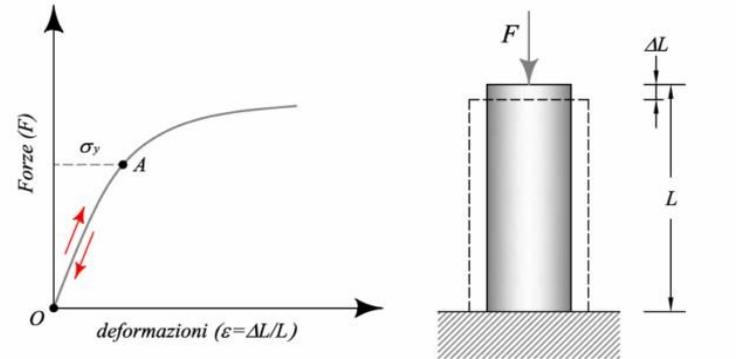
La **prova di compressione** viene eseguita **comprimendo un provino di forma cilindrica fra due superfici piane e parallele**.

Il provino unificato ha forma cilindrica con rapporto tra lunghezza e diametro pari a $L_0 = 1,5 d$.

Sono in genere prove molto complicate dal fatto che tra **provino e i piatti della macchina l'attrito crea tensioni tangenziali** che introducono uno stato di tensione tridimensionale (creando anche il fenomeno di imbarilimento o barreling).

Solo i **materiali fragili e quelli poco duttili** si rompono a compressione.

I **materiali duttili** si deformano vistosamente ma non si rompono.



Prova di flessione

La prova di flessione ha lo scopo di misurare il carico di rottura oppure le deformazioni di un provino sollecitata a flessione.

Il provino viene poggiato su due rulli paralleli a distanza L e il carico viene esercitato con progressione graduale nel punto di mezzeria.

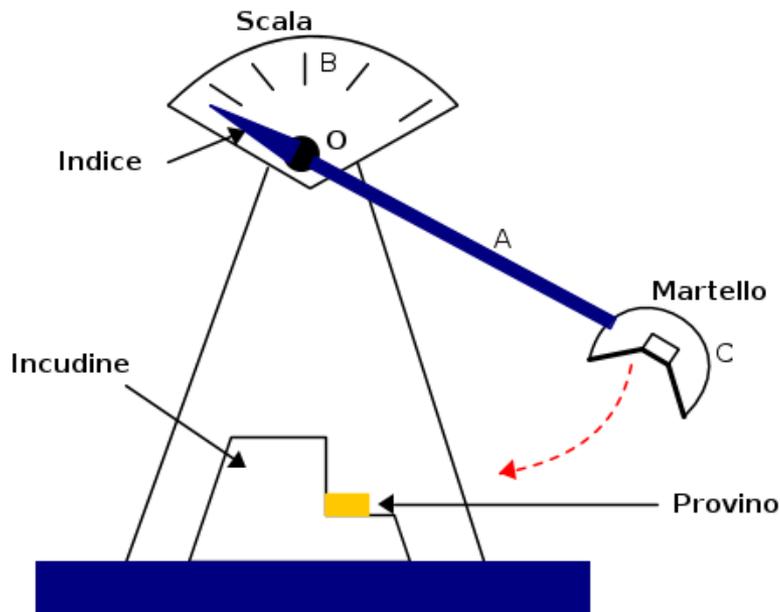
La prova di flessione presenta i seguenti vantaggi:

- semplicità d'afferraggio ed esecuzione;
- semplice geometria del provino generalmente a sezione rettangolare;
- spostamenti ampi di misurazione più precisa.



Prova di resilienza

È la prova meccanica che determina la resistenza agli urti dei materiali.



È una prova distruttiva in quanto provoca la rottura del provino in esame.

Si esegue mediante **il pendolo di Charpy**.

La resilienza si indica col simbolo K .

La prova di resilienza è indice della **tenacità del materiale**

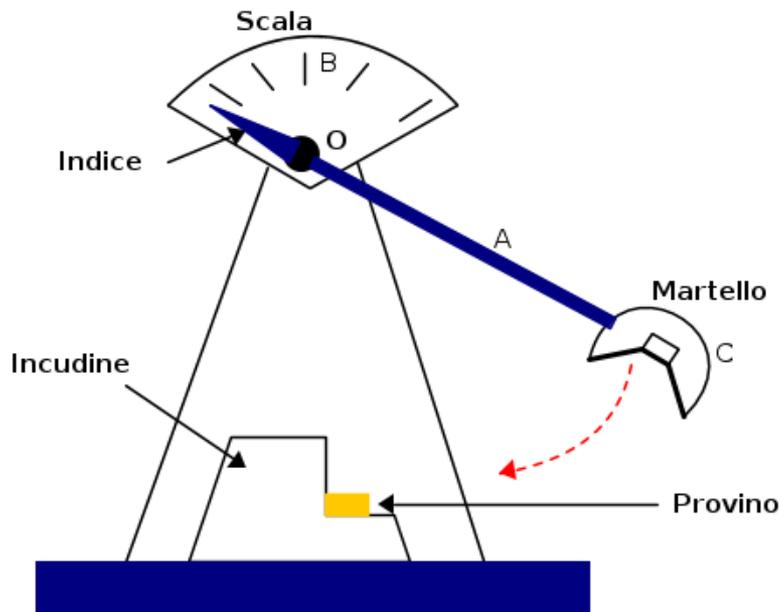
Un materiale può essere **definito tenace** quando possiede:

- buona resistenza a trazione
- buon allungamento
- buona resilienza.

Prova di resilienza



È la prova meccanica che determina la resistenza agli urti dei materiali.



I **materiali fragili**, che generalmente hanno struttura a grano grosso, si **rompono** per decoesione dei cristalli, cioè per distacco, **senza deformazione apprezzabile, presentando una frattura netta, piana, lucente.**

Al diminuire della temperatura cui si effettua la prova, la resilienza decrece.

La temperatura a cui la resilienza subisce una brusca diminuzione è detta temperatura di transizione T_t

Prova di durezza

La prova, quasi sempre non distruttiva, è atta a **valutare la resistenza di piccole porzioni di materia alle sollecitazioni che tendono a spostarle localmente**; talvolta però l'impronta lasciata dal penetratore rende l'oggetto (*es.: ruota dentata o guida*) non più utilizzabile.

Si distinguono prove di macrodurezza e prove di microdurezza (*in base ai carichi applicati*)

- MACRO: carichi applicati > 10 [N]
- MICRO: carichi applicati < 10 [N]

La prova si esegue con il **durometro**.

La prova consiste nel far penetrare nel pezzo da provare un “penetratore” (*diverso nella forma e nel materiale a seconda del metodo utilizzato*) mediante un carico di prova “F” (*diverso a seconda del materiale e del metodo utilizzato*) e nel misurare la lunghezza media “d” (*diametro, diagonale*) o la profondità “h” dell'impronta lasciata sulla superficie del pezzo dopo aver tolto il carico

Apparecchiature di carico



Le prove meccaniche richiedono l'applicazione di forze sul provino e, di conseguenza, di un dispositivo apposito.

La maggior parte delle prove meccaniche viene effettuata mediante le *macchine di prova universali*. In tali macchine, parti del provino (le estremità o punti della superficie) vengono fissate (o appoggiate) ad una parte fissa e ad un elemento mobile della macchina mediante appositi afferraggi e il **carico viene applicato facendo traslare la parte mobile mediante un opportuno meccanismo di movimento**.

Generalmente, durante la prova, il carico applicato e lo spostamento della traversa vengono misurati mediante appositi *trasduttori e visualizzati su indicatori posti sul pannello di controllo della macchina*.

In molti casi viene misurata la deformazione di uno o più punti del provino mediante altri trasduttori le cui letture possono essere effettuate su indicatori posti sulla macchina o esterni.

Macchine di prova



Se si considera la **posizione dell'asse del provino** che viene sollecitato dalla macchina, le macchine di prova possono essere distinte in:

- **macchine orizzontali:** vengono usate per prove su funi, cavi e catene; la lunghezza del provino può raggiungere i 10 m.
- **macchine verticali:** costituiscono il tipo più diffuso. La lunghezza del provino non supera in genere i 2 m.



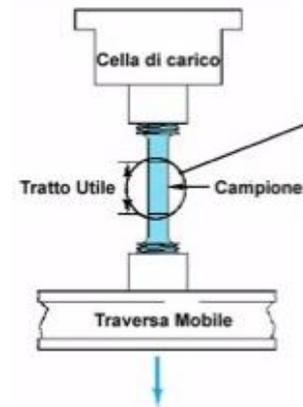
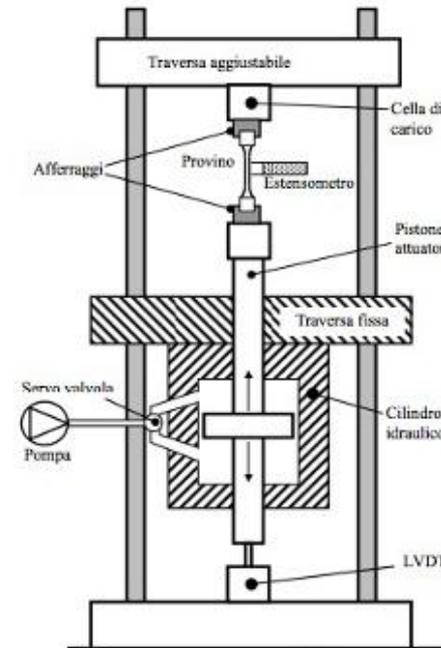
Macchina di prova universale



La macchina di prova è costituita dalla parte fissa (telaio), l'elemento mobile (traversa o pistone attuatore), il meccanismo di movimento con velocità regolabile (elettromeccanico o idraulico, es. pompa), gli afferraggi (ganasce), e il pannello di controllo.

Il telaio è composto da un pannello per i comandi manuali, un attuatore (ad afferraggio inferiore), una barra trasversale per i movimenti verticali dell'afferraggio superiore e una cella di carico in grado di rilevare le forze generate dall'attuatore.

Il sistema idraulico, fornito di servovalvola, garantisce un'elevata precisione di spostamento verticale della barra (nell'ordine del micrometro) e dell'attuatore.



Ganasce



Le ganasce permettono di **afferrare** sulla macchina **provini di spessore e di forma diversi**.

Esse devono garantire una **perfetta assialità del carico**, nelle prove di trazione.

Le **ganasce di tipo meccanico** (di uso pressoché generale) sono quindi divise in due metà, ed il serraggio è ottenuto mediante un sistema a cuneo, che mantiene parallele le superfici a contatto con il provino, ed applica una forza di serraggio trasversale proporzionale al carico assiale sul provino.



Tipi di ganasce



Vi sono **ganasce piatte** (per lamiera, provini piatti, o tondi di piccola sezione) e **ganasce per provini tondi**. In queste ultime il collegamento tra provino e ganascia può realizzarsi con una filettatura, mediante uno spallamento, ovvero per attrito.

Esistono poi le **ganasce pneumatiche**, introdotte di recente, in cui a forza di serraggio trasversale può essere regolata a piacere. Esse sono usate principalmente per prove di fatica con cicli alternati, dove è necessario che siano nulli i giochi tra sistema di afferraggio e provino nell'istante in cui il carico cambia di segno.

Macchina di prova universale



Le caratteristiche meccaniche di maggiore interesse di una macchina sono il **carico massimo** che può essere applicato (o portata), la **velocità massima di applicazione del carico** e lo **spostamento massimo** (corsa) dell'elemento mobile.

Altre caratteristiche interessanti sono le possibilità di controllo, la sicurezza operativa, l'ingombro e l'economicità.

Le macchine di prova universali vengono distinte in base all'elemento motore in:

- **elettromeccaniche**: il meccanismo di movimento è un motore elettrico collegato alla traversa mobile tramite ingranaggi;
- **servoidrauliche**: il meccanismo di movimento è una pompa idraulica dalla quale il fluido in pressione viene fatto fluire in cilindro in modo da spingere il pistone attuatore (o semplicemente attuatore); controllando la portata del fluido tramite una valvola si applica la forza desiderata.

Macchina di prova universale



Per macchine di elevata portata e capacità dinamica, la **pompa** risulta essere tanto **molto ingombrante e rumorosa** da necessitare la collocazione in un locale separato dalla macchina.

I due tipi di macchine hanno caratteristiche sovrapponibili per alcuni aspetti e complementari per altri; entrambi sono adatti a compiere **prove statiche** nelle quali, tuttavia, le macchine elettromeccaniche hanno una maggiore semplicità e sicurezza operativa.

MACCHINE Caratteristiche tipiche	Elettromeccaniche	Servoidrauliche
Portata P	$P < 4$ KN	$P > 20$ KN
Corsa massima c_m	$c_m > 500$ mm	100÷200 mm
Carichi statici	***	**
Carichi dinamici	NO	SI
Possibilità di controllo	*	***
Sicurezza	***	*
Ingombro	***	*

Macchina di prova universale



Le **macchine elettromeccaniche** generalmente hanno corse dell'elemento mobile molto più lunghe, mentre la velocità di applicazione del carico è generalmente inferiore a quella delle servoidrauliche.

Le macchine elettromeccaniche **non si prestano alle prove dinamiche** e a quelle di **fatica**, al contrario delle servoidrauliche.

Le **macchine servoidrauliche** generalmente sono costruite **per portate elevate, maggiori di 20KN**, di conseguenza se si effettuano prove statiche con bassi livelli di carico le macchine elettromeccaniche risultano più convenienti.

MACCHINE Caratteristiche tipiche	Elettromeccaniche	Servoidrauliche
Portata P	$P < 4$ KN	$P > 20$ KN
Corsa massima c_m	$c_m > 500$ mm	100÷200 mm
Carichi statici	***	**
Carichi dinamici	NO	SI
Possibilità di controllo	*	***
Sicurezza	***	*
Ingombro	***	*

Verifica macchina di prova



Una **macchina di prova può essere considerata uno strumento di misura**, e poiché i risultati da essa ottenuti spesso vengono usati per il controllo di forniture commerciali, le **norme impongono verifiche periodiche della sua taratura**.

La norma **UNI 6326-68** (in concordanza con la ISO/ R 147) si riferisce alla verifica della taratura della scala dei carichi delle macchine usate per **prove di trazione**. Si verificano almeno 5 punti, egualmente spaziatati nei 4/5 superiori della scala.

Poiché le macchine universali sono generalmente dotate di più portate, si dovranno verificare separatamente le diverse scale. In ogni punto di verifica si applica un carico noto (detto “carico vero”) alla macchina e si confronta il carico indicato dalla macchina con il valore del carico vero.

Verifica macchina di prova



Per l'applicazione del carico vero si può procedere in tre modi:

- **applicando alla traversa mobile dei pesi morti, precisi entro $\pm 0,1\%$ almeno.** Ciò può richiedere che sia tenuto conto delle variazioni di g secondo la località. Questa procedura è ovviamente adatta solo a carichi relativamente modesti;
- **con pesi morti applicati mediante leve.** I pesi ed i bracci delle leve devono essere precisi entro $\pm 0,2\%$;
- **leggendo il valore del carico su di un dinamometro di precisione inserito nel telaio di carico della macchina.** L'errore del dinamometro non deve superare $\pm 0,5\%$ ($0,2\%$) del suo carico nominale, per macchine che devono essere verificate entro $\pm 1\%$ ($0,5\%$). Se il dinamometro ha un coefficiente di correzione per la temperatura può essere necessario tener conto delle correzioni corrispondenti.

Verifica macchina di prova



Per ognuno dei 5 punti di misura l'operazione di verifica è ripetuta 5 volte, scaricando ogni volta tutto o parte del carico.

Supponiamo che i valori così ottenuti siano F_1, F_2, F_3, F_4, F_5 e che il valore vero del carico sia F .

Vengono calcolati, per ogni punto di misura:

- **la ripetibilità percentuale** → massima differenza ottenuta tra i carichi indicati divisa per il carico vero

$$\frac{F_{max} - F_{min}}{F} * 100$$

- **l'errore percentuale di precisione** → differenza tra il carico vero e la media aritmetica dei carichi indicati dalla macchina

$$\frac{F - F_m}{F} * 100 \text{ con } F_m = \frac{F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5}{5}$$

Verifica macchina di prova



Dopo la verifica, la macchina può essere classificata in una delle due classi seguenti

- **classe 0,5** (macchine destinate a prove per le quali è essenziale un elevato grado di precisione) **quando:**
 - a) la ripetibilità percentuale sia inferiore, in ogni punto di verifica, al più elevato di questi due limiti: 0,5% del carico applicato, ovvero 1% della portata massima;
 - b) L'errore percentuale di precisione sia inferiore, in tutti i punti di verifica, allo 0,5%;
- **classe 1** (macchine destinate a prove correnti comunemente eseguite per le relazioni commerciali) quando i limiti sopra indicati per la classe 0,5 sono raddoppiati

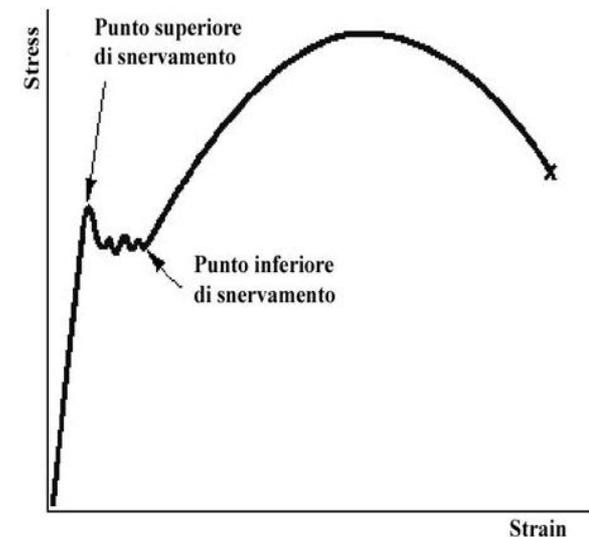
Proprietà meccaniche materiali



Per determinare le **proprietà meccaniche** dei materiali metallici (carico di proporzionalità, carico di snervamento, carico rottura, ecc. ...) si usano **prove a trazione su provini di tipo unificato**.

Tutti questi valori sono generalmente influenzati dalle condizioni di prova (ad es. assialità del carico, tipo di afferraggi, ecc.), ma in particolare è noto da tempo che il **valore del carico di snervamento è fortemente influenzato dalla velocità di applicazione del carico**.

Questa dipendenza è assai evidente nel caso delle leghe leggere, dei metalli a basso punto di fusione e degli acciai provati ad alta temperatura, ma è misurabile anche nel caso consueto di acciai provati a temperatura ambiente.



Proprietà meccaniche materiali



Meno noto è l'effetto dovuto ad un'altra grandezza di influenza: la **deformabilità sotto carico della struttura della macchina di prova** (telaio fisso e telaio mobile).

In effetti l'energia fornita dal motore della macchina di prova serve per deformare sia il provino che la struttura della macchina.

Snervendosi il provino, il suo modulo elastico E decade bruscamente, e si ha una trasformazione di parte dell'energia elastica, immagazzinata dalla macchina in lavoro di deformazione del provino.

Il fenomeno è stato intensamente studiato in questi ultimi anni, ed ha portato alla redazione della norma internazionale 150 DIS 82 e della successiva norma italiana PROG n. 823 del giugno 1973, che sostituirà la UNI 556 (Prova di trazione dei materiali ferrosi).

In entrambe le norme si tiene infatti conto non solo **della velocità di applicazione del carico, fissata all'inizio della prova, e cioè in campo elastico, ma anche della deformabilità della macchina di prova.**

Macchine di prova



Nelle **macchine idrauliche a comando manuale**, ancora molto diffuse, la prova di trazione è eseguita sostanzialmente in condizioni di apertura costante della valvola di regolazione del circuito idraulico, cioè in condizioni di portata di olio costante.

Ciò non corrisponde né a velocità di carico costante lungo tutta la prova, né a velocità di deformazione del provino costante.

Il provino, infatti, viene deformato in campo plastico molto più velocemente che non in campo elastico, e la velocità di applicazione del carico, costante in campo elastico, diviene quasi zero nella zona plastica del provino.

Macchine di prova



Nelle **macchine meccaniche con comando a circuito aperto** si prestabilisce la velocità di spostamento della traversa mobile, comandata in genere dal motore mediante due viti verticali.

La **deformazione del provino è tuttavia solo una parte** (variabile da prova a prova) **dello spostamento della traversa**, che comprende anche la deformazione del telaio della macchina.

Inoltre lo stesso rapporto tra le deformazioni del provino e della macchina è diverso (in una stessa prova) in campo elastico ed in campo plastico.

Macchine di prova



Nelle **macchine meccaniche con comando a circuito aperto** si prestabilisce la velocità di spostamento della traversa mobile, comandata in genere dal motore mediante due viti verticali.

La **deformazione del provino è tuttavia solo una parte** (variabile da prova a prova) **dello spostamento della traversa**, che comprende anche la deformazione del telaio della macchina.

Inoltre lo stesso rapporto tra le deformazioni del provino e della macchina è diverso (in una stessa prova) in campo elastico ed in campo plastico.

Nelle **macchine con comando elettronico a circuito chiuso** si possono esattamente realizzare le condizioni sia di velocità di deformazione del provino costante lungo tutta la prova (campo elastico e campo plastico), sia di velocità di applicazione del carico costante, sia di velocità di spostamento della traversa costante.

Si possono cioè **simulare le diverse condizioni limiti ed ideali** che non si ottengono in pratica sulle macchine a comando manuale od in genere non asservite.

Velocità deformazione del provino



Tanto più è elevata la velocità di deformazione del provino, tanto più elevato è il valore del carico misura di snervamento inferiore che si misura.

Con le macchine consuete (a comando manuale ovvero a circuito aperto) questa **velocità di deformazione in campo plastico non può però essere prefissata**. Essa può solo essere calcolata dalla conoscenza dei tre seguenti parametri:

- la **velocità di applicazione del carico in campo elastico** (che nel caso delle macchine idrauliche è prefissata attraverso l'apertura della valvola, e che nel caso delle macchine meccaniche è prefissata attraverso la velocità di spostamento della traversa);
- la **deformabilità della macchina**;
- la **deformabilità del provino** (modulo elastico E , sezione A).

Deformabilità della macchina



Se durante una prova di trazione, per una stessa variazione ΔP del carico, si misurano mediante due trasduttori:

- Δl_0 = allungamento del provino = variazione della distanza tra ganascia fissa e ganascia mobile della macchina;
- Δl_{tot} = spostamento dello stantuffo di carico della macchina

e si nota che $\Delta l_{tot} > \Delta l_0$ cioè la macchina si è deformata durante la deformazione del provino.

Deformabilità della macchina



Se durante una prova di trazione, per una stessa variazione ΔP del carico, si misurano mediante due trasduttori:

- Δl_0 = allungamento del provino = variazione della distanza tra ganascia fissa e ganascia mobile della macchina;
- Δl_{tot} = spostamento dello stantuffo di carico della macchina

e si nota che $\Delta l_{tot} > \Delta l_0$ cioè la macchina si è deformata durante la deformazione del provino.

Si definiscono i seguenti parametri:

- **deformabilità del provino:**

$$K_p = \frac{\Delta l_0}{\Delta P} = \frac{l_0}{EA}$$

dove l_0 , E , A sono la lunghezza iniziale, il modulo elastico e l'area iniziale del provino

- **deformabilità macchina di prova:**

$$K_m = \frac{\Delta l_{tot} - \Delta l_0}{\Delta P} = \frac{\Delta l_{macch}}{\Delta P}$$

Deformabilità della macchina



Bisogna subito notare che la **deformabilità della macchina di prova non è affatto trascurabile rispetto alla deformabilità del provino**, ma anzi risulta in genere diverse volte maggiore (ad es. K_m/K_p compreso tra 3 e 10).

Deformabilità della macchina



Bisogna subito notare che la **deformabilità della macchina di prova non è affatto trascurabile rispetto alla deformabilità del provino**, ma anzi risulta in genere diverse volte maggiore (ad es. K_m/K_p compreso tra 3 e 10).

K_m per una stessa macchina è quasi una costante.

La deformabilità della macchina varia in effetti col carico e può ritenersi una costante solo ai carichi più elevati

Si può definire, per una data condizione di prova, un **rapporto di durezza H del sistema**, definito come rapporto tra la deformazione Δl_{tot} del sistema (macchina + provino) e quella Δl_0 del solo provino, entrambi misurati in campo elastico, per uno stesso incremento di carico:

$$\frac{\Delta l_{\text{tot}}}{\Delta l_0} = \frac{\Delta l_0 + \Delta l_{\text{macch}}}{\Delta l_0} = 1 + \frac{K_m}{K_p} = 1 + \frac{K_m A E}{l_0}$$

Rapporto di durezza del sistema



Per una stessa macchina di prova, **H varia per ogni diverso provino** (lunghezza, sezione e modulo elastico) e in **funzione del tipo di afferraggio**.

- $H=1$ per una macchina infinitamente rigida ($K_m=0$);
- $H>1$ nella pratica; quanto più la macchina è deformabile rispetto al provino, quanto più grande sarà H .

Il rapporto di durezza è molto importante perché è **esprime** anche, nel limite di validità di certe ipotesi e semplificazioni, il **rapporto tra la velocità di deformazione del provino in campo plastico** (che si vuole ottenere) e **la velocità di deformazione all'inizio della prova**, cioè in campo elastico (velocità che si può imporre)

Deformabilità macchina e provino



L'influenza della deformabilità della macchina di prova (K_m) sul fenomeno dello snervamento si può spiegare considerando che il **telaio di una macchina molto deformabile ($K_m \rightarrow \infty$)** è capace di seguire le deformazioni plastiche del provino **senza determinare una apprezzabile caduta di carico**, proprio perché esso non richiede forze apprezzabili per essere deformato.

Al contrario, **una macchina poco deformabile ($K_m \rightarrow 0$)** si hanno **forti variazioni di carico per piccole deformazioni del telaio** della macchina e quindi grandi cadute di carico non appena lo snervamento del provino permette alla macchina di recuperare una parte della sua deformazione elastica.

Misura di K_m

Per la **misura pratica di K_m** di una determinata macchina di prova, la norma italiana impone di:

- eseguire una prova di trazione nelle condizioni normali di utilizzo (tipo di afferraggi, provino, regolazione della velocità della traversa);
- applicare un estensimetro al provino misurare il valore della deformazione in funzione del tempo durante tutta la prova, riportando i risultati su di un diagramma;
- considerare la pendenza della curva ottenuta in campo plastico ed elastico, trascurando le variazioni irregolari nell'istante dello snervamento. Il rapporto tra le due pendenze è H
- K_m si ottiene da H attraverso la relazione:

$$K_m = \frac{l_0 (H - 1)}{A E}$$