

## Prove meccaniche di laboratorio

(Distillazione verticale)

OBIETTIVI: *sapere descrivere le esecuzioni delle prove;*  
*conoscere le caratteristiche dimensionali dei provini unificati;*  
*sapere calcolare le proprietà meccaniche dai dati desumibili dalle prove.*

### PROVE DI DUREZZA.

- Durezza (def.)
  - Classificazione prove di durezza (descr.)
  - Generalità esecuzione prove unificate (descr.)
    - Tipi di penetratori (descr.)
    - Carichi e tempi di applicazione (descr.)
    - Condizioni di validità delle prove (descr. + formule)
- Indice di durezza (def.)
  - Indici HB, HV, HRB, HRC (formule)
  - Campo di variabilità degli indici di durezza (descr.)
  - Confronto tra le varie scale di durezza (descr.)

### PROVA DI TRAZIONE.

- Sollecitazione di trazione (def.)
  - Generalità esecuzione della prova unificata (descr.)
  - Caratteristiche geometriche provette (descr.)
    - Area sezione resistente (calcolo)
    - Lunghezza del tratto utile (calcolo)
- Diagramma carichi allungamenti (grafico + commento)
  - Carico di proporzionalità (def.)
  - Carico di snervamento (def.)
  - Carico di rottura (def.)
  - Fase di elasticità (descr.)
  - Fase di elasto plasticità (descr.)
  - Fase di snervamento (descr.)
  - Fase di plasticità (descr.)
  - Fase di strizione (descr.)
- Carichi unitari (def. + formula)
- Allungamento percentuale a rottura (def. + formula)

### PROVA DI RESILIENZA

- Resilienza (def.)
  - Generalità esecuzione prova unificata (descr.)
  - Provini utilizzati:
    - Tipo Charpy con intaglio a U (descr.)
    - Tipo Charpy con intaglio a V (descr.)
  - Resilienza (formule)
  - Zona di transizione (descr.)
    - Rotture fragili (descr.)
    - Rotture tenaci (descr.)

N.B.: lezioni da integrare con l'esecuzione delle prove in laboratorio.

## PROVE MECCANICHE DI LABORATORIO - SCHEDA DI LEZIONE

PROVE MECCANICHE DI LABORATORIO: sono prove che si svolgono in **laboratorio** per determinare alcune **proprietà meccaniche dei materiali**; queste prove sono **quasi tutte unificate**. Una prova si dice unificata quando sono note nei dettagli tutte le procedure necessarie per eseguirle.

Prove meccaniche di laboratorio	{	- trazione	MACCHINE UTILIZZATE	
		{	- Brinell	macchina per la prova di trazione
			- Vickers	durometro
			- Rockwell "B", "C"	
- resilienza	pendolo di Charpy			

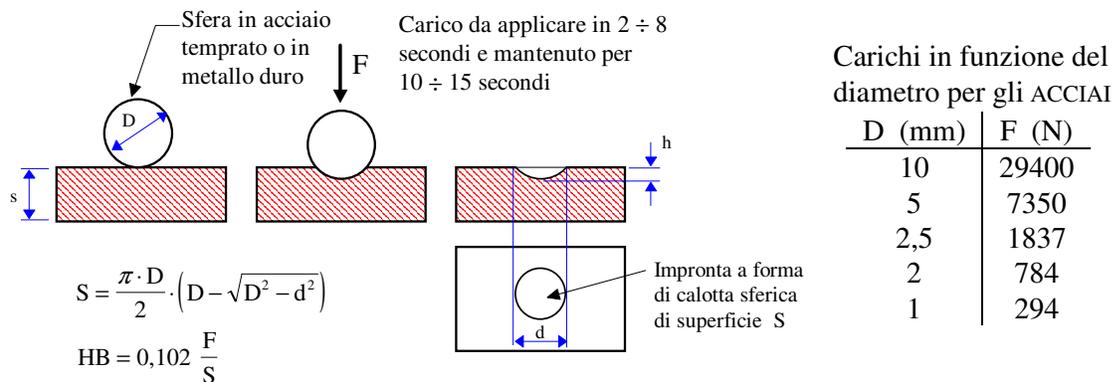
**DUREZZA**: capacità che hanno i materiali di resistere alle **forze concentrate**, ovvero è la resistenza superficiale che il materiale oppone alla penetrazione di un corpo duro attraverso una **compressione localizzata** (concetto metallurgico di durezza).

PROVE DI DUREZZA: servono per determinare il **grado o indice di durezza** di un materiale. La prova consiste nel fare penetrare nel materiale in esame un **penetratore** di forma opportuna sotto un determinato **carico applicato perpendicolarmente alla superficie** da provare. Dalle dimensioni dell'impronta e dal carico applicato si deducono gli indici di durezza del materiale nel caso delle prove di durezza Brinell e Vickers, mentre dalla profondità dell'impronta si deducono gli indici di durezza nelle prove Rockwell "B" e "C".

Le prove di durezza sono **prove statiche di tipo non distruttive**. I carichi vanno quindi applicati in modo graduale e continuo per un tempo prestabilito dalle norme.

### RAPPRESENTAZIONE SCHEMATICA DELLE PROVE DI DUREZZA

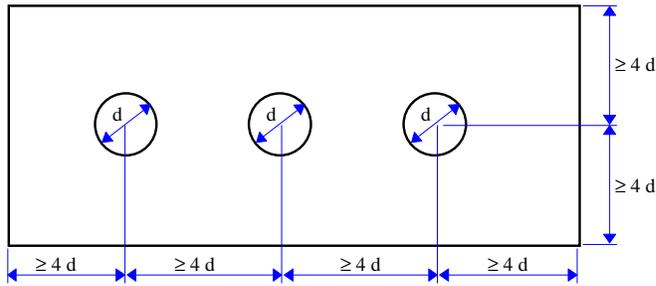
**DUREZZA BRINELL**: viene utilizzato un **penetratore sferico di acciaio duro** di diametro 10 mm, o 5 mm, o 2,5 mm, o 2 mm, o 1 mm. Il **carico** da applicare, che deve essere perpendicolare alla superficie di prova, **dipende dal diametro del penetratore utilizzato e dal materiale in prova**. Questa prova si fa su **materiali teneri o di media durezza**.



Dopo la prova **nessuna deformazione deve essere visibile sulla faccia opposta** a quella sulla quale è stato applicato il penetratore.

## PROCEDURA PER IL CALCOLO DELL'INDICE DI DUREZZA BRINELL HB

- 1) Si esegue la prova facendo **almeno tre impronte**.
- 2) Si rilevano col microscopio d'officina le **misure dei diametri delle impronte** (due diametri fra loro perpendicolari per ogni impronta e dei due diametri se ne calcola la media aritmetica).
- 3) Si verificano le **condizioni di validità**:

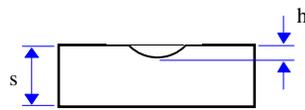
**1<sup>a</sup> condizione di validità**

La **distanza tra i centri delle impronte** e tra il centro delle impronte e il bordo del provino deve essere **minimo quattro volte** il diametro medio dell'impronta. Qualora due impronte adiacenti hanno diametri diversi, la distanza deve essere rilevata considerando il diametro medio dell'impronta più grande

**2<sup>a</sup> condizione di validità**

Il **diametro medio** di ogni impronta deve essere **compreso tra 0,24 D e 0,6 D**

$$0,24 D \leq d \leq 0,6 D$$

**3<sup>a</sup> condizione di validità**

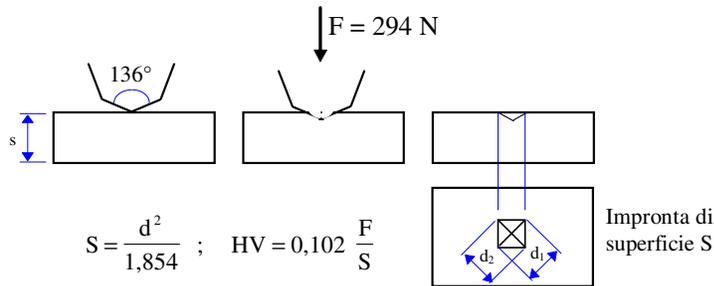
Lo **spessore** in millimetri del provino deve essere **minimo otto volte** la profondità dell'impronta

$$s \geq 8 h$$

- 4) Se sono verificate le condizioni di validità si calcola la media aritmetica di tutti i diametri.
- 5) Si calcola la superficie dell'impronta media con la formula:
 
$$S = \frac{\pi \cdot D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2}) \quad (\text{mm}^2) \quad \text{dove} \begin{cases} D \text{ (mm)} \text{ è il diametro del penetratore} \\ d \text{ (mm)} \text{ è la media aritmetica dei diametri delle impronte} \end{cases}$$
- 6) Si calcola l'indice di durezza Brinell con la formula

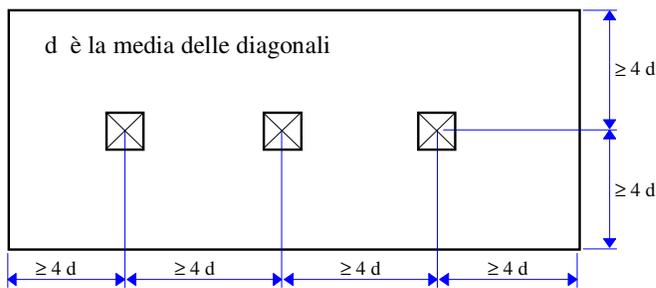
$$HB = 0,102 \frac{F}{S} \quad \text{dove} \begin{cases} F \text{ (N)} \text{ è la forza applicata al penetratore} \\ S \text{ (mm}^2\text{)} \text{ è la superficie dell'impronta media} \end{cases}$$

**DUREZZA VICKERS:** viene utilizzato un **penetratore di diamante a forma di piramide retta** a base quadrata, con angolo tra le facce opposte al vertice di  $136^\circ$ . Il **carico** da applicare, che deve essere perpendicolare alla superficie di prova, **dipende dal materiale** in prova (per l'acciaio normalmente è di 294 N). Questa prova può essere fatta su **qualsiasi tipo di materiale**.



PROCEDURA PER IL CALCOLO DELL'INDICE DI DUREZZA VICKERS HV

- 1) Si esegue la prova facendo **almeno tre impronte**.
- 2) Si rilevano col microscopio d'officina le **misure delle diagonali** di ognuna delle impronte e se ne calcola la media aritmetica.
- 3) Si verificano le condizioni di validità:



#### 1<sup>a</sup> condizione di validità

La **distanza tra i centri delle impronte** e tra il centro delle impronte e il bordo del provino deve essere **minimo quattro volte** la diagonale media dell'impronta. Qualora due impronte adiacenti hanno diagonali diverse, la distanza deve essere rilevata considerando la diagonale media dell'impronta più grande

#### 2<sup>a</sup> condizione di validità

Lo **spessore** in millimetri del provino deve essere **minimo 1,5 volte la diagonale media** dell'impronta

$$s \geq 1,5 d$$

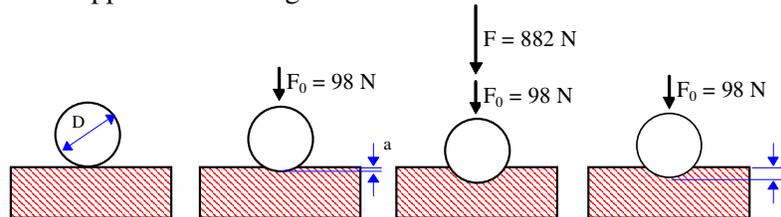
- 4) Se sono verificate le condizioni di validità si calcola la media aritmetica di tutte le diagonali.
- 5) Si calcola la superficie dell'impronta media con la formula:

$$S = \frac{d^2}{1,854} \quad (\text{mm}^2) \quad \text{dove } \{d \text{ (mm)} \text{ è la media aritmetica delle diagonali delle impronte}$$

- 6) Si calcola l'indice di durezza Vickers con la formula

$$HV = 0,102 \frac{F}{S} \quad \text{con } \begin{cases} F \text{ (N)} \text{ è la forza applicata al penetratore} \\ S \text{ (mm}^2\text{)} \text{ è la superficie dell'impronta} \end{cases}$$

**DUREZZA ROCKWELL “B”**: consiste nel fare penetrare, in **due tempi**, sulla superficie del pezzo da provare un **penetratore sferico di acciaio temprato** di diametro uguale a 1,587 mm avente durezza  $HV \geq 850$ . Il penetratore viene portato in posizione perpendicolare alla superficie da provare ed a contatto con questa; si applica senza urto il carico iniziale  $F_0 = 98 \text{ N}$  e si sposta il quadrante dello strumento indicatore di profondità sino a portare l'indice sullo zero della scala. Si applica progressivamente, in un tempo di  $5 \div 10$  secondi, il carico addizionale  $F = 882 \text{ N}$ . Trascorsi 30 secondi dall'applicazione del carico addizionale  $F$  questo si toglie in modo da riportare il carico al suo valore iniziale  $F_0$ . Quindi si calcola la **profondità dell'impronta “e”** (accrescimento rimanente) così come rappresentato in figura.

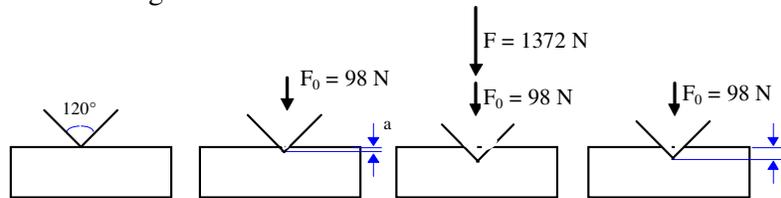


$$e = b - a \text{ (mm)}$$

$$HRB = 130 - 500 \cdot e \quad \text{si legge direttamente dalla macchina}$$

Secondo questa scala di durezza convenzionale, 130 HRB è la durezza dell'acciaio temprato; si ottiene per  $e = 0$ . Questo tipo di prova si fa su **materiali aventi durezza Brinell minore di 200 HB**.

**DUREZZA ROCKWELL “C”**: consiste nel fare penetrare, in **due tempi**, sulla superficie del pezzo da provare un **penetratore di diamante a forma di cono** circolare retto con angolo al vertice di  $120^\circ$ . Il penetratore viene portato in posizione perpendicolare alla superficie da provare ed a contatto con questa; si applica senza urto il carico iniziale  $F_0 = 98 \text{ N}$  e si sposta il quadrante dello strumento indicatore di profondità sino a portare l'indice sullo zero della scala. Si applica progressivamente, in un tempo di  $5 \div 10$  secondi, il carico addizionale  $F = 1372 \text{ N}$ . Trascorsi 30 secondi dall'applicazione del carico addizionale  $F$  questo si toglie in modo da riportare il carico al suo valore iniziale  $F_0$ . Quindi si calcola la **profondità dell'impronta “e”** (accrescimento rimanente) così come rappresentato in figura.



$$e = b - a \text{ (mm)}$$

$$HRC = 100 - 500 \cdot e \quad \text{si legge direttamente dalla macchina}$$

Secondo questa scala di durezza convenzionale, 100 HRC è la durezza del diamante; si ottiene per  $e = 0$ . Questo tipo di prova si fa su **materiali aventi durezza Brinell maggiore di 200 HB**.

**CONFRONTO FRA LE SCALE DI DUREZZA BRINELL, ROCKWELL “B” E ROCKWELL “C”**:

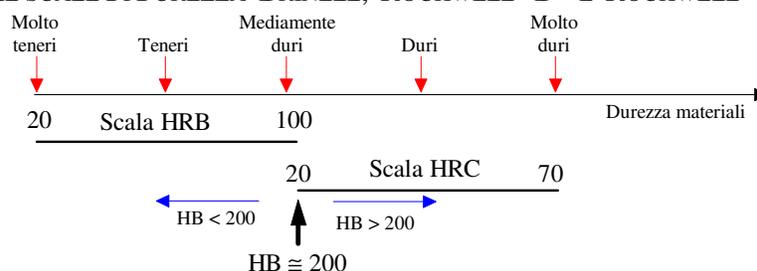


TABELLA RIASSUNTIVA PER LO SVOLGIMENTO DELLE PROVE DI DUREZZA UNIFICATE

Tipo prova	Tipo di penetratore	Carico da applicare	Tempo appl. carico	Condizioni di validità	Indice di durezza	Campo di variabilità	Tipi di materiali
B R I N E L L	sfera di acciaio duro di diametro 10 mm	F= 29400 N	2-8 s e restare applicato per 10-15 s	$s \geq 8 h$ $0,24D \leq d \leq 0,6D$ minimo tre impronte	$HB = 0,102 \frac{F}{S}$ $S = \frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})$	80-400	teneri
V I C K E R S	piramidale a base quadrata con punta di diamante e apertura al vertice di 136°	F=294 N	2-8 s e restare applicata per 10-15 s	$s \geq 1,5 d$ minimo tre impronte	$HV = 0,102 \frac{F}{S}$ $S = \frac{d^2}{1,854}$	80-900	tutti
R O C K W E L L B	sfera di acciaio temprato di diametro 1/16" = 1,5875mm	$F_0 = 98 N$ + $F=882 N$	5-10 s e restare applicato per 30 s	$s \geq 8 e$ minimo tre impronte	HRB=130-500 e si legge direttamente dalla macchina	20-100	teneri ferrosi
R O C K W E L L C	conico con punta in diamante e apertura al vertice di 120°	$F_0 = 98 N$ + $F=1372 N$	5-10 s e restare applicato per 30 s	$s \geq 8 e$ minimo tre impronte	HRC=100-500 e si legge direttamente dalla macchina	20-80	duri ferrosi

Le **superfici** su cui si eseguono le prove devono essere **prive di ossidi, scorie, materie estranee, lisce** ed accuratamente levigate **tanto più quanto minore è l'impronta**. Dopo la prova **nessuna deformazione deve essere visibile sulla faccia opposta** a quella sulla quale è stato applicato il penetratore.

## CONFRONTO TRA GLI INDICI DI DUREZZA DELLE VARIE PROVE

	HB	HV	HRC	HRB
MATERIALI MOLTO DURI		1000	70	
		850	65	
		700	60	
		600	55	
		500	50	
MATERIALI DI MEDIA DUREZZA	<b>400</b>	<b>400</b>	40	
	300	300	30	
	<b>200</b>	<b>200</b>	<b>20</b>	<b>100</b>
MATERIALI TENERI		180		90
		160		85
		140		80
		120		70
		100		60

Come si può notare gli indici di durezza delle scale Brinell e Vickers coincidono per valori fino a 400 HB, mentre ad una durezza di circa 200 HB corrisponde una durezza pari a 20 HRC ed una durezza pari a 100 HRB.

## ESERCIZI SULLE PROVE DI DUREZZA

- 1) Su un provino di acciaio dello spessore di 20 mm è stata effettuata una prova di durezza Brinell ( $D = 10$  mm). Dall'esame delle tre impronte si sono rilevati i seguenti diametri:

1 <sup>a</sup> impronta	$d_1 = 3.56$ mm	$d_2 = 3.57$ mm	$h = 0.32$ mm
2 <sup>a</sup> impronta	$d_1 = 3.56$ mm	$d_2 = 3.56$ mm	$h = 0.33$ mm
3 <sup>a</sup> impronta	$d_1 = 3.55$ mm	$d_2 = 3.57$ mm	$h = 0.33$ mm

Calcolare l'indice di durezza Brinell di quel materiale dopo aver verificato le condizioni di validità.

Medie diametri impronte:	1 <sup>a</sup> impronta	$d = \frac{3.56+3.57}{2} = 3,565$ mm
	2 <sup>a</sup> impronta	$d = \frac{3.56+3.56}{2} = 3,56$ mm
	3 <sup>a</sup> impronta	$d = \frac{3.55+3.57}{2} = 3,56$ mm

Condizioni di validità:  $s \geq 8h$   $0,24 D \leq d \leq 0,6 D$

1 <sup>a</sup> impronta	$20 \geq 8 \times 0,32 = 2,56$ mm	$2,4 \leq 3,565 \leq 6$	valida
2 <sup>a</sup> impronta	$20 \geq 8 \times 0,33 = 2,64$ mm	$2,4 \leq 3,56 \leq 6$	valida
3 <sup>a</sup> impronta	$20 \geq 8 \times 0,33 = 2,64$ mm	$2,4 \leq 3,56 \leq 6$	valida

Media diametri di tutte le impronte:  $d = \frac{3.565+3.56+3.56}{3} = 3,561$ mm

$$S = \frac{\pi D}{2} \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2}) = \frac{3.14 \times 10}{2} \times (10 - \sqrt{10^2 - 3.561^2}) = 10,291 \text{ mm}^2$$

$$HB = 0,102 \frac{F}{S} = 0,102 \times \frac{29400}{10,291} = 291$$

- 2) Su un provino di acciaio temprato è stata effettuata una prova di durezza Vickers. Dall'esame delle tre impronte si sono rilevate le seguenti diagonali:

1 <sup>a</sup> impronta	$d_1 = 0.24$ mm	$d_2 = 0.26$ mm
2 <sup>a</sup> impronta	$d_1 = 0.25$ mm	$d_2 = 0.26$ mm
3 <sup>a</sup> impronta	$d_1 = 0.25$ mm	$d_2 = 0.27$ mm

Calcolare l'indice di durezza Vickers di quel materiale.

$$\text{Media delle diagonali: } d = \frac{0,24+0,26+0,25+0,26+0,25+0,27}{6} = 0,255 \text{ mm}$$

$$S = \frac{0,255^2}{1,854} = 0,035 \text{ mm}^2 \quad HV = 0,102 \frac{F}{S} = 0,102 \times \frac{294}{0,035} = 857$$

- 3) Su quattro materiali diversi si sono fatte quattro prove di durezza; si sono calcolati per

il materiale 1 : 95 HRB

il materiale 2 : 32 HRC

il materiale 3 : 150 HV

il materiale 4 : 160 HB

Disporre i materiali in ordine di durezza crescente.

il materiale 3 : 150 HV

il materiale 4 : 160 HB

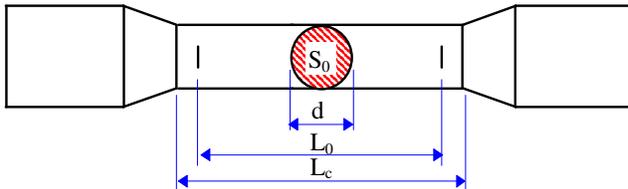
il materiale 1 : 95 HRB

il materiale 2 : 32 HRC

**RESISTENZA MECCANICA:** capacità dei materiali di **resistere** alle sollecitazioni dovute alle **forze esterne applicate con gradualità e continuità**.

**PROVA DI TRAZIONE:** è la prova più importante dalla quale si rilevano proprietà di resistenza, di deformabilità e di elasticità del materiale. È una **prova statica distruttiva** e consiste nel sottoporre una **provetta unificata** del materiale in esame ad un carico di trazione applicato gradualmente e con continuità fino a provocarne la rottura.

#### PROVETTA CILINDRICA UNIFICATA



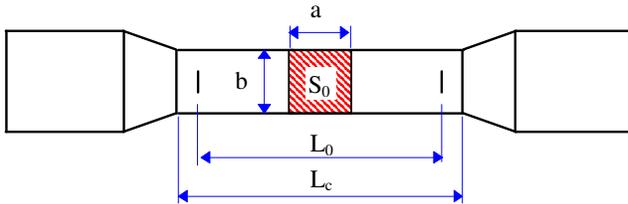
$d$  (mm) diametro sezione resistente

$S_0 = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$  (mm<sup>2</sup>) area sezione resistente

$L_0 = 5 \cdot d$  (mm) lunghezza tratto utile

$L_c = L_0 + 2 \cdot d$  (mm) lunghezza tratto calibrato

#### PROVETTA PRISMATICA UNIFICATA



$a, b$  (mm) lati sezione resistente

$S_0 = a \cdot b$  (mm<sup>2</sup>) area sezione resistente

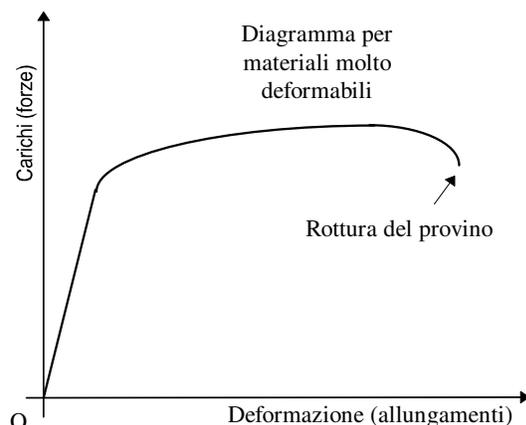
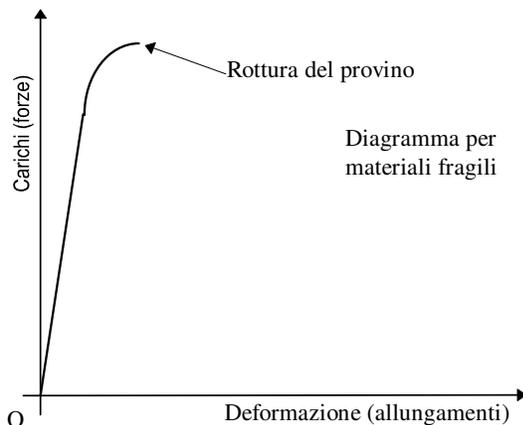
$L_0 = 5,65 \sqrt{S_0}$  (mm) lunghezza tratto utile

$L_c = L_0 + 2,5 \sqrt{S_0}$  (mm) lunghezza tratto calibrato

La prova di trazione ha lo scopo di determinare per il materiale oggetto di studio le caratteristiche di

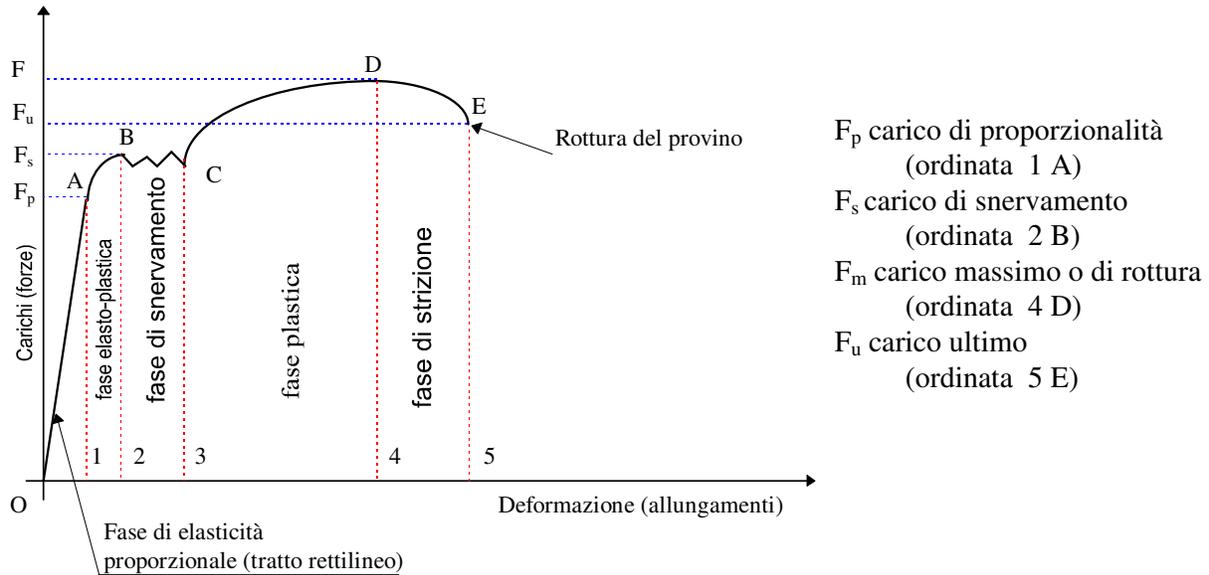
- resistenza: carico unitario a rottura  $\left(\frac{N}{mm^2}\right)$
- deformabilità: allungamento percentuale a rottura (%)
- elasticità: modulo elastico  $\left(\frac{N}{mm^2}\right)$

Eseguendo la prova di trazione, la macchina fornisce un **diagramma** dove sono rappresentate le deformazioni della provetta in funzione del carico che la macchina man mano applica. Tale diagramma assume **forme diverse in dipendenza del materiale** oggetto di prova.



## DIAGRAMMA DELLA PROVA DI TRAZIONE

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



FASE DI ELASTICITÀ PROPORZIONALE: (tratto OA): al cessare del carico la provetta riacquista le dimensioni iniziali, quindi le **deformazioni sono solo elastiche**.

FASE ELASTOPLASTICA (tratto AB): il materiale presenta delle **deformazioni sia elastiche** (che scompaiono al cessare del carico) **sia plastiche** (che permangono al cessare del carico).

FASE DI SNERVAMENTO (tratto BC): quando la deformazione della provetta aumenta senza che aumenti il carico. È la fase in cui si ha il **passaggio dalle piccole alle grandi deformazioni**.

FASE DI PLASTICITÀ (tratto CD): il materiale presenta deformazioni **solo plastiche** (permanenti); in questa zona avvengono le **grandi deformazioni**.

FASE DI STRIZIONE E ROTTURA (tratto DE): si ha un progressivo **restringimento della sezione** resistente e la conseguente rottura del provino (da notare che in questo tratto la forza applicata al provino diminuisce perché diminuisce la sezione resistente).

CARICHI UNITARI: descrivono le **caratteristiche del materiale** in esame, **indipendentemente dalla sezione della provetta**; in generale si calcolano dividendo la forza per l'area della sezione resistente.

$$R = \frac{F}{S_0} \quad \text{con} \quad \begin{cases} R & \text{carico unitario} \left( \frac{N}{\text{mm}^2} \right) \\ F & \text{carico (N)} \\ S_0 & \text{area sezione resistente provetta (mm}^2\text{)} \end{cases}$$

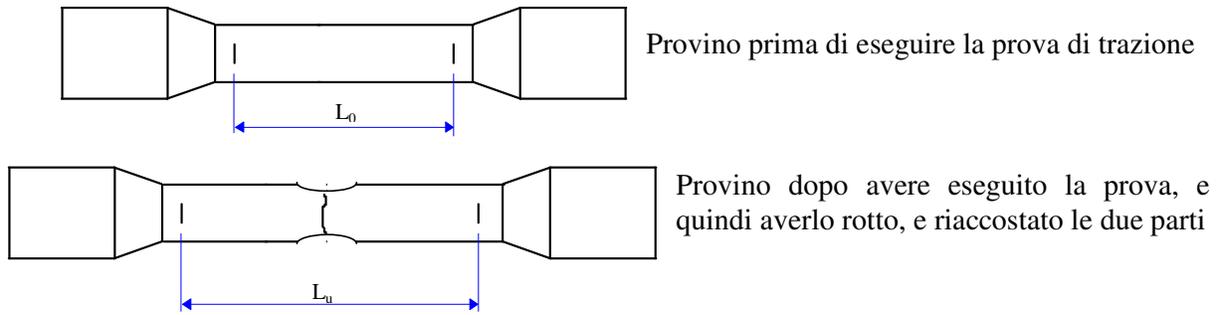
$$\begin{aligned} R_p &= \frac{F_p}{S_0} \left( \frac{N}{\text{mm}^2} \right) \text{ carico unitario di proporzionalità} \\ R_s &= \frac{F_s}{S_0} \left( \frac{N}{\text{mm}^2} \right) \text{ carico unitario di snervamento} \\ R_m &= \frac{F_m}{S_0} \left( \frac{N}{\text{mm}^2} \right) \text{ carico unitario di rottura a trazione} \end{aligned}$$

Es.:  $R_m = 650 \text{ N/mm}^2$

carico unitario di rottura a trazione dell'acciaio:

indica che per portare a rottura una barra di acciaio di sezione resistente di area  $1 \text{ mm}^2$  occorre una forza di trazione di  $650 \text{ N}$

ALLUNGAMENTO PERCENTUALE A ROTTURA: misura la **deformabilità** del materiale, **indipendentemente dalla sezione** della provetta



Se la rottura del provino avviene entro il **TERZO MEDIO** si calcola:

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100 \quad \text{con} \quad \begin{cases} A & \text{allungamento percentuale della provette (\%)} \\ L_u & \text{lunghezza del tratto utile della provetta dopo la rottura (mm)} \\ L_0 & \text{lunghezza del tratto utile della provetta prima della rottura (mm)} \\ L_u - L_0 & \text{allungamento del tratto utile della provetta (mm)} \end{cases}$$

#### ESERCIZI SULLA PROVA DI TRAZIONE

- 1) 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.

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

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

- 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.

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

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

- 3) 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 N/mm<sup>2</sup>.

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

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

- 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.

$$\Delta L = L_u - L_0 \quad \Delta L = 72 \text{ mm} - 60 \text{ mm} = 12 \text{ mm}$$

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100 = \frac{72 \text{ mm} - 60 \text{ mm}}{60 \text{ mm}} \cdot 100 = 20\%$$

- 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>.

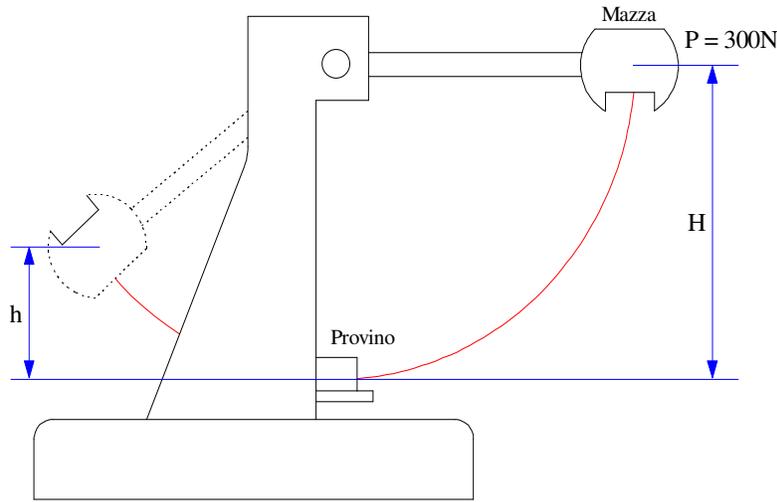
$$S_o = \frac{40 \text{ mm} \times 60 \text{ mm}}{2} = 1200 \text{ mm}^2 \quad F_m = R_m \cdot S_o = 600 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 1200 \text{ mm}^2 = 720000 \text{ N}$$

RESILIENZA: è la **capacità** che ha un materiale di resistere a **forze dinamiche** ovvero ad urti.

PROVA DI RESILIENZA: consiste nel **rompere con un solo colpo un provino unificato** del materiale in esame; la rottura avviene a flessione per urto; la macchina utilizzata è il pendolo di Charpy.

È una **prova dinamica distruttiva**. La prova è **unificata**.

RAPPRESENTAZIONE SCHEMATICA DEL PENDOLO DI CHARPY.



Condizioni **normali** di prova:

- energia (lavoro) disponibile della macchina di  $300 \text{ J} \pm 10 \text{ J}$ ;
- velocità della mazza al momento dell'urto compresa tra  $5 \text{ m/s}$  e  $5,5 \text{ m/s}$ ;
- temperatura di esecuzione della prova di  $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Il pendolo cadendo da un'altezza  $H$ , rompe il provino e risale dall'altro lato per un'altezza  $h$ ; tale altezza  $h$  è tanto più piccola quanto più resiliente è il

materiale in prova.

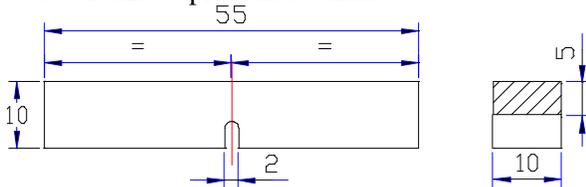
Il **lavoro speso** dal pendolo per rompere il provino che equivale al lavoro assorbito dal provino vale:

$$L_a = P \cdot (H - h) \quad (\text{J}) \quad \left\{ \begin{array}{l} L_a \text{ lavoro assorbito dalla provetta (J)} \\ P \text{ peso della mazza (N)} \\ H \text{ altezza di caduta della mazza (m)} \\ h \text{ altezza di risalita della mazza dopo che ha rotto la provetta (m)} \end{array} \right.$$

Per materiali metallici si utilizzano **due tipi di provette unificate**.

#### PROVETTA CHARPY CON INTAGLIO A U O A BUCO DI CHIAVE

In questo caso la resilienza  $KU$  è definita dal lavoro in joule necessario per rompere in un solo colpo, con una mazza a caduta pendolare, una provetta con intaglio a U profondo 5 mm, oppure a buco di chiave profondo 5 mm.



AREA SEZIONE RESISTENTE

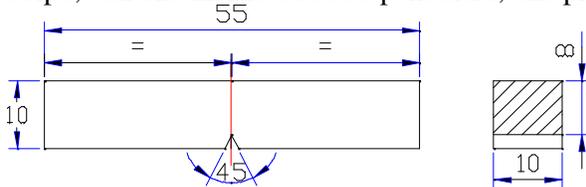
$$S_0 = 10 \text{ mm} \times 5 \text{ mm} = 50 \text{ mm}^2$$

RESILIENZA

$$KU = L_a \quad (\text{J})$$

#### PROVETTA CHARPY CON INTAGLIO A V

In questo caso la resilienza  $KV$  è definita dal lavoro in joule necessario per rompere in un solo colpo, con una mazza a caduta pendolare, una provetta con intaglio a forma di V, profondo 2 mm.



AREA SEZIONE RESISTENTE

$$S_0 = 10 \text{ mm} \times 8 \text{ mm} = 80 \text{ mm}^2$$

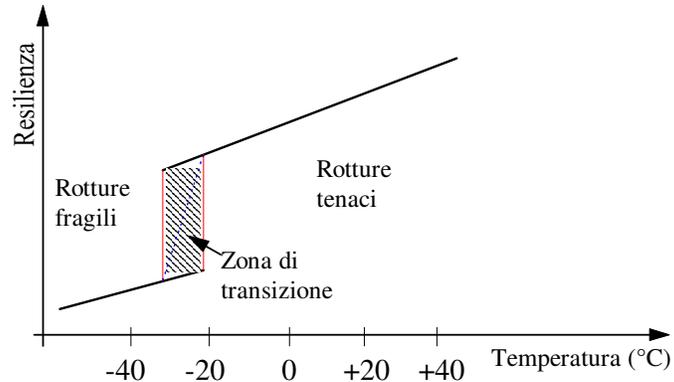
RESILIENZA

$$KV = L_a \quad (\text{J})$$

L'**intaglio** nelle provette ha la funzione di **predeterminare la sezione di rottura**, infatti la rottura avverrà nella sezione dell'intaglio poiché è la sezione resistente più piccola della provetta.

Per le prove di resilienza è molto **importante la temperatura di prova**, infatti i materiali metallici presentano una resilienza più bassa man mano che la temperatura diminuisce; in particolare esiste un **intervallo di temperatura** detto ZONA DI TRANSIZIONE in cui si ha un **abbassamento improvviso della resilienza** del materiale.

VARIAZIONE DELLA RESILIENZA IN FUNZIONE DELLA TEMPERATURA



Convenzionalmente si definisce temperatura di transizione quella temperatura in corrispondenza della quale la resilienza con provetta con intaglio a V passa attraverso il valore di 35 J.

**ROTTURE FRAGILI:** si tratta di rotture che si ottengono a basse temperature e per piccoli valori della resilienza che avvengono per **decoesione del materiale** senza essere precedute da deformazioni; le rotture di questo tipo hanno **aspetto granulare e lucentezza cristallina**.

**ROTTURE TENACI:** si tratta di rotture che si ottengono a temperature più elevate e per valori più grandi della resilienza che avvengono per **deformazione del materiale**; le rotture di questo tipo hanno **aspetto fibroso e lucentezza setacea**.

#### ESERCIZI SULLA RESILIEZA

- 1) Calcolare la resilienza del materiale di un provino tipo Charpy con intaglio a U, sapendo che l'altezza di caduta della mazza (del peso di 300 N) è di 1 m e l'altezza di risalita della mazza dopo avere rotto il provino di 0,9 m.

$$\text{AREA SEZIONE RESISTENTE: } S_0 = 10 \text{ mm} \times 5 \text{ mm} = 50 \text{ mm}^2$$

$$\text{LAVORO ASSORBITO: } L_a = P \cdot (H - h) = 300 \text{ N} \times (1 \text{ m} - 0,9 \text{ m}) = 30 \text{ J}$$

$$\text{RESILIENZA } KU = L_a = 30 \text{ J}$$

- 2) Calcolare la resilienza del materiale di un provino tipo Charpy con intaglio a V, sapendo che l'altezza di caduta della mazza (del peso di 300 N) è di 1 m e l'altezza di risalita della mazza dopo avere rotto il provino di 0,7 m.

$$\text{AREA SEZIONE RESISTENTE: } S_0 = 10 \text{ mm} \times 8 \text{ mm} = 80 \text{ mm}^2$$

$$\text{LAVORO ASSORBITO: } L_a = P \cdot (H - h) = 300 \text{ N} \times (1 \text{ m} - 0,7 \text{ m}) = 90 \text{ J}$$

$$\text{RESILIENZA } KU = L_a = 90 \text{ J}$$