

Prove di laboratorio

PROVE DI RESISTENZA A TRAZIONE

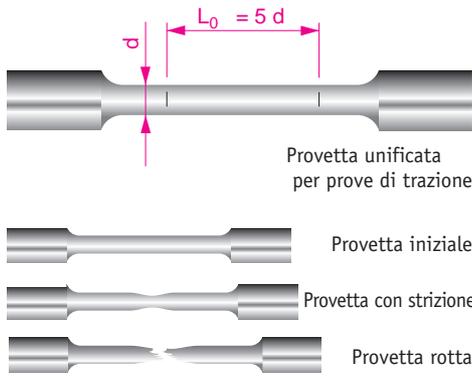
Le prove di resistenza a trazione sono essenziali per valutare le caratteristiche fondamentali e il comportamento del materiale sia sotto il profilo meccanico che della lavorabilità. Con questa prova infatti si possono determinare la resistenza, l'elasticità e la deformabilità tipiche di un materiale.

La prova consiste nel sottoporre una provetta di forma e dimensioni unificate a uno sforzo continuo e crescente fino alla sua rottura.

La provetta ha forma cilindrica con estremità di diametro maggiore per il fissaggio alle ganasce; nella zona centrale la provetta deve avere un rapporto tra lunghezza dai segni di riferimento (L_0) e il diametro (d) tale che $L_0 = 5 d$.

Durante l'allungamento nella zona centrale appare un restringimento della sezione (**strizione**), che insieme alla forma della frattura fornisce indicazioni sulle proprietà tecnologiche del materiale.

La *macchina universale* registra gli allungamenti della provetta in relazione ai carichi e ne elabora un grafico dal quale si desumono dati fondamentali quali gli *allungamenti percentuali*, il *carico al limite della proporzionalità* e il *carico unitario di rottura*.

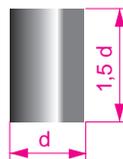


Macchina universale.

PROVE DI RESISTENZA A COMPRESSIONE

È analoga a quella di trazione ma in questo caso le forze hanno senso opposto alla trazione e tendono a schiacciare la provetta.

La provetta unificata ha forma cilindrica con rapporto tra lunghezza e diametro pari a $L_0 = 1,5 d$.



memo

Secondo il SI la resistenza dei materiali si misura in N/mm^2 . È da ricordare il rapporto tra il newton e il kg_f (unità ancora usata ma scomparsa dal SI):

1 N = 0,1019 kg_f e il rapporto reciproco **1 kg_f = 9,8066 N**

Molti materiali metallici hanno resistenza a trazione e a compressione con valori circa uguali; ma altri, come le ghise, resistono molto meno a trazione che a compressione. All'opposto si comportano i legnami che resistono meglio a trazione che a compressione.

PROVE DI RESISTENZA A FLESSIONE

È una prova che ha lo scopo di misurare il carico di rottura oppure le deformazioni di una provetta sollecitata a flessione.

La prova si esegue su appositi macchinari o anche sulla macchina universale. La provetta viene poggiata su due rulli paralleli a distanza L . Il carico viene esercitato con progressione graduale nel punto di mezzeria. Le deformazioni della provetta vengono registrate e messe in relazione ai carichi esercitati, fino a pervenire alla rottura.

Il **carico unitario di rottura a flessione** viene espresso dal rapporto

$$R_{fm} = \frac{M_{fm}}{W_f} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

In questa relazione M_{fm} esprime il momento flettente che ha prodotto la rottura, mentre W_f , chiamato **modulo di**

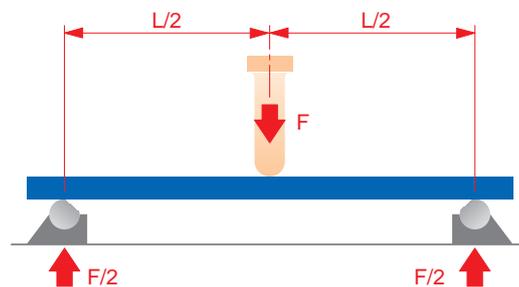
resistenza a flessione della sezione, è una quantità dipendente dalla forma e dalle dimensioni della sezione della provetta.

Nel riquadro vengono riportati i valori del modulo di resistenza a flessione per le sezioni di forma circolare, rettangolare e quadrata.

Per calcolare invece il momento flettente (M_{fm}) della provetta, si osservi che a un carico F corrispondono sugli appoggi delle reazioni di valore $F/2$. Pertanto in corrispondenza della mezzeria, in cui lo sforzo è massimo e si verifica la rottura, il momento flettente è

MODULO DI RESISTENZA A FLESSIONE	
	Sezione rettangolare $W_f = \frac{b h^2}{6}$
	Sezione quadrata $W_f = \frac{b^3}{6}$
	Sezione circolare $W_f = 0,1 d^3$

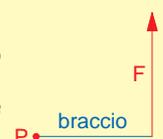
$$M_f = \frac{F}{2} \cdot \frac{L}{2} = \frac{F L}{4} \text{ (N} \cdot \text{mm)}$$



Nella prova di flessione la provetta è caricata al centro.

memo

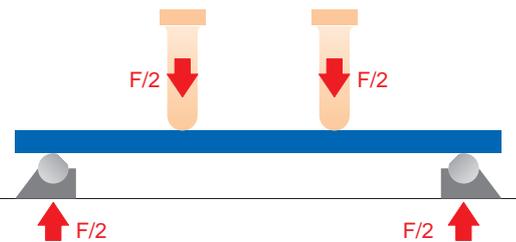
Momento di una forza rispetto a un punto è il prodotto della forza per il *braccio*, cioè la distanza del punto dalla sua retta d'azione. L'importanza di questo valore è evidente nei casi di leve o corpi rotanti.



In *materiali poco deformabili* la prova prevede che la provetta sia poggiata su due rulli e sia sollecitata da due carichi uguali e simmetrici rispetto agli appoggi.



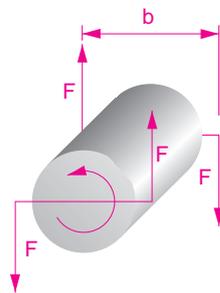
Prova di flessione con due carichi simmetrici.



Per materiali poco deformabili vi sono due carichi simmetrici.

PROVE DI RESISTENZA A TORSIONE

Con questa prova si misura la resistenza che un materiale oppone a una sollecitazione di torsione; questa consiste in due coppie di forze opposte che agiscono su piani diversi, perpendicolari all'asse del pezzo. Analogamente alla flessione, anche in questo caso le forze creano un momento torcente al quale si oppone la resistenza del materiale. Il **carico unitario di rottura a torsione** è dato dalla relazione



Il momento torcente è il prodotto della forza per il braccio: $M_t = F \cdot b$.

$$R_{tm} = \frac{M_{tm}}{W_p} \quad (\text{N/mm}^2)$$

nella quale M_{tm} è il momento torcente di rottura e W_p il modulo di resistenza polare, dipendente da forma e dimensioni della sezione. Per sezioni circolari, frequenti in caso di torsione, si ha $W_p = 0,2 d^3$.

Normalmente la prova si effettua su fili o barre cilindriche mediante macchine specifiche per questa sollecitazione.

PROVE DI RESISTENZA A TAGLIO

È una prova che ha lo scopo di misurare la resistenza che un materiale oppone a una sollecitazione di taglio; questa consiste in due forze opposte che agiscono su un piano perpendicolare all'asse del pezzo.

La **resistenza al taglio** è espressa dalla relazione

$$\tau = \frac{F}{S} \quad (\text{N/mm}^2)$$

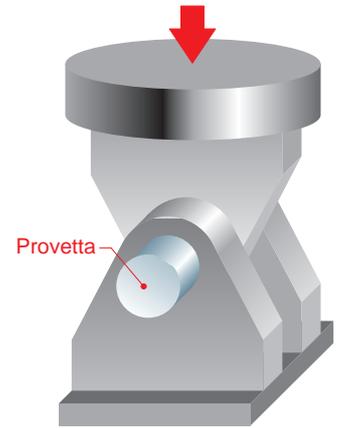
nella quale F è il valore del carico e S l'area della sezione della provetta.

Poiché nella sollecitazione di taglio spesso è presente anche una sollecitazione di flessione, che diminuisce la resistenza

al taglio, si aumenta il valore di resistenza al taglio con un coefficiente $4/3$. Pertanto si ha:

$$\tau = \frac{4}{3} \cdot \frac{F}{S} \quad (\text{N/mm}^2)$$

La prova su barra cilindrica si esegue con la macchina universale che utilizza apposite staffe in cui viene alloggiata la provetta (vedi figura). In questo caso il carico opera su due sezioni e pertanto l'area della sezione resistente al taglio sarà doppia.



Prova di taglio su barra cilindrica.

Nella pratica di progetto la resistenza al taglio (τ) si può ricavare dalla resistenza a trazione (R_m) mediante appositi coefficienti.

RESISTENZA AL TAGLIO IN RAPPORTO ALLA RESISTENZA A TRAZIONE

Materiale	Rapporto tra τ e R_m
Acciaio	$\tau = 0,8 R_m$
Ghisa	$\tau = 1,1 R_m$
Leghe leggere da fonderia	$\tau = 0,9 R_m$
Leghe leggere da lavorazioni plastiche	$\tau = 0,6 R_m$

PROVE DI RESILIENZA CHARPY

La resilienza è la resistenza del materiale alle sollecitazioni dinamiche (urti).

I materiali che presentano un'alta resilienza vengono detti **tenaci**, mentre quelli che presentano una bassa resilienza sono detti **fragili**.

In generale esiste un rapporto inverso tra la resilienza e le altre proprietà meccaniche; per esempio materiali come gli acciai duri sono fragili, mentre sono tenaci quelli con scarsa resistenza alle sollecitazioni statiche, quali gli acciai dolci o le leghe leggere.

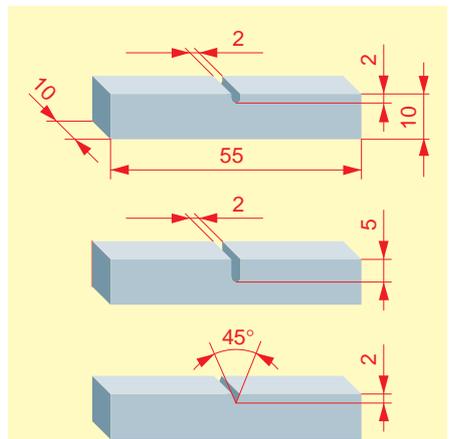
Per i materiali metallici si usa in generale la prova che utilizza il pendolo di Charpy.

• Prova con il pendolo di Charpy

È una prova di rottura per urto a flessione su una provetta di forma e dimensioni unificate.

La provetta è un barretta a sezione quadrata con un intaglio centrale a forma di U oppure a forma di V.

L'intaglio a forma di U può avere profondità 5 mm nel caso di metalli



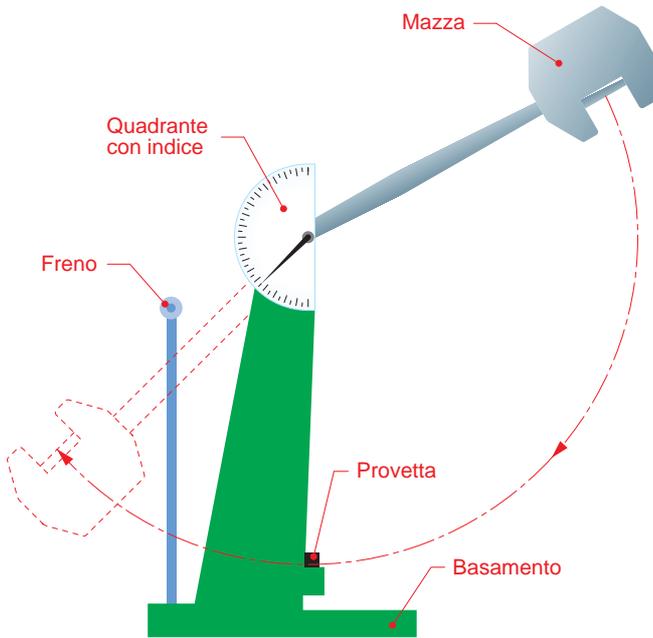
Forma e dimensioni delle diverse provette.

ferrosi, mentre è profondo 2 mm nel caso di metalli non ferrosi (leghe dell'alluminio e del rame). In questo caso la resilienza è caratterizzata dal simbolo **KCU**.

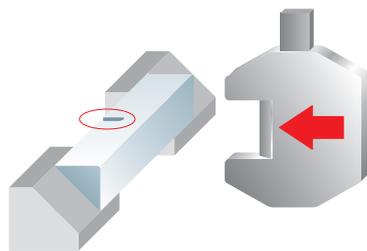
Su provette in metalli ferrosi si usa anche l'intaglio a V, profondo 2 mm; in questo caso la resilienza è designata dal simbolo **KV**.

La macchina per le prove di resilienza consiste in una incastellatura che sostiene una mazza oscillante; per questo la macchina è anche chiamata **pendolo di Charpy**.

La mazza può essere bloccata a una data altezza; dopo avere posizionato la provetta in un apposito alloggiamento e con intaglio rivolto dal lato opposto alla mazza, si può liberare la mazza che in caduta libera urta contro la provetta.



Dopo la rottura la mazza continua il moto pendolare fino a una certa altezza che la macchina è in grado di registrare mediante un indice angolare; esso viene azzerato prima della prova e indica sul quadrante l'angolo di risalita del pendolo.



Disposizione della provetta nel suo alloggiamento: l'intaglio è dal lato opposto a quello della mazza.

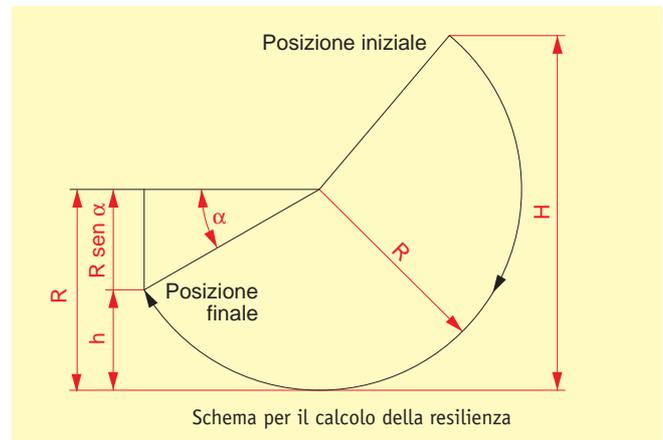
La macchina è provvista di freno per le oscillazioni del pendolo e di dispositivi di protezione.

• Calcolo della resilienza

La resilienza viene misurata mediante la relazione

$$K = \frac{L}{S} \quad (\text{J/cm}^2)$$

in cui L è il lavoro speso per spezzare la provetta e S l'area della sua sezione. Il valore di S è noto: 0,8 cm² oppure 0,5 cm² a seconda dell'intaglio nella provetta. Dalla prova bisogna invece rilevare i dati che consentono di calcolare il lavoro L in base al seguente procedimento.



Il lavoro speso per rompere la provetta si calcola per differenza tra il lavoro (L₁) che la mazza compie in caduta prima dell'urto e il lavoro residuo (L₂) che le consente di risalire dopo l'urto.

L₁ è dato dalla forza, e cioè il peso della mazza (P), per lo spostamento (H) dalla posizione iniziale fino all'urto, quindi

$$L_1 = P \cdot H$$

Analogamente L₂ è dato dal prodotto tra peso della mazza per l'altezza di risalita (h), e cioè

$$L_2 = P \cdot h$$

Il valore di h è fornito dalla macchina mediante l'angolo di risalita (α) segnalato dall'indice sul quadrante e attraverso il valore di R (raggio di oscillazione del pendolo). Dalle relazioni trigonometriche possiamo ricavare

$$h = R - R \text{ sen } \alpha$$

Essendo noto il valore di h, è noto anche L₂ e quindi la differenza tra L₁ e L₂, cioè il valore di L. Con questo valore possiamo ricavare il valore della resilienza $K = L/S$.

VALORI DELLA RESILIENZA DI ALCUNI MATERIALI (J/cm ²)	
Acciai dolci	220
Acciai inox	198
Acciai duri	80 ÷ 100
Bronzo 30% Sn	30
Ottone 50% Cu	20 ÷ 40
Anticorodal	10 ÷ 30

PROVE DI DUREZZA

La durezza è la resistenza che il materiale oppone ai carichi concentrati. La misurazione della durezza fornisce dati estremamente importanti sulla lavorabilità del materiale, sugli effetti di trattamenti termici, sulla resistenza a trazione. Inoltre per misurare la durezza si usano **prove non distruttive**, che quindi possono essere applicate non solo su provette ma anche su pezzi finiti.

Le macchine utilizzate a questo scopo prendono il nome di **durometri**.

In generale le prove di durezza si eseguono mediante un penetratore di notevole durezza che, sotto l'azione di un certo carico, lascia un'impronta sulla superficie del materiale. *Il rapporto tra carico e dimensione dell'impronta definisce il valore della durezza.*

memo

Nel SI il lavoro è misurato in **joule** (J = N · m).

Per eventuali conversioni dalla precedente unità di misura del lavoro (il kg_f · m), ora abbandonata, si ricordano le relazioni

$$N = 0,102 \text{ kg}_f$$

$$J = 0,102 \text{ kg}_f \cdot m$$

$$1 \text{ kg}_f \cdot m/\text{cm}^2 = 9,81 \text{ J/cm}^2$$

$$1 \text{ J/cm}^2 = 0,102 \text{ kg}_f \cdot m/\text{cm}^2$$

A seconda della forma e delle dimensioni del penetratore si hanno diversi metodi di misurazione della durezza. I più frequenti vengono descritti di seguito.

• **Metodo Brinell**

È un metodo utilizzato per metalli non particolarmente duri; per quelli più duri si preferisce fare riferimento ad altri metodi.

Usa un penetratore in acciaio temprato di forma sferica di diametro 10 mm. In taluni casi il penetratore ha diametro 5 mm oppure 2,5 mm.

La durezza Brinell, indicata con il simbolo **HB**, è data dal rapporto tra carico e superficie dell'impronta lasciata dal penetratore sul pezzo:

$$HB = \frac{F}{S}$$

Il carico (F) viene espresso in N (newton) che da alcuni anni ha soppiantato l'uso del kg_f; per evitare che il cambiamento di unità comportasse un variazione generale dei valori delle durezze note in precedenza, l'UNI ha deliberato di introdurre nella formula il coefficiente 0,102 per far sì che i nuovi valori (espressi in N) coincidessero con quelli precedentemente espressi in kg_f. Pertanto la relazione utilizzata per la durezza Brinell è

$$HB = 0,102 \frac{F}{S}$$

In questa relazione il valore di S esprime la superficie dell'impronta, una calotta sferica di diametro uguale a quello del penetratore; in base alle relazioni geometriche il valore di S si può ricavare dal diametro dell'impronta:

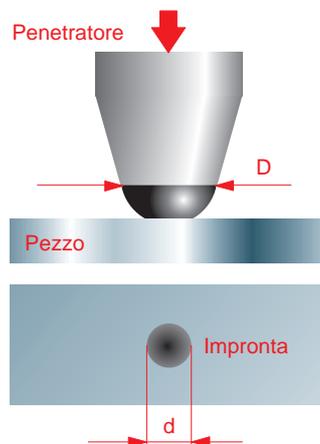
$$S = \pi D \cdot \frac{1}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})$$

Calcolato il valore di S e noto il carico F, si può ricavare la durezza HB. I carichi applicati sono rapportati al diametro del penetratore a seconda del materiale: per esempio F = 30 D² per metalli duri, mentre F = 0,5 D² nel caso del piombo. Il carico è variabile per far sì che l'impronta sia contenuta entro certi limiti (0,24 ÷ 0,6 D).

In condizioni normali si usa un penetratore di 10 mm con carico di 29 400 N (3000 kg_f) applicato per 15 secondi. In condizioni diverse la durezza Brinell si designa con il simbolo HB seguito nell'ordine dal diametro della sfera, valore del carico (in kg_f) e tempo di applicazione del carico. Per esempio:

- **300 HB** indica un valore 300 della durezza Brinell, con sfera di Ø 10 mm e con carico di 3000 kg_f applicato per 15 secondi.
- **180 HB_{5/250/20}** indica una durezza Brinell di valore 180, misurato con sfera di Ø 5 mm, carico di 250 kg_f applicato per 20 secondi.

Dai valori di HB si può ricavare con buona approssimazione anche la resistenza a trazione del materiale, mediante tabelle unificate di conversione.



Penetratore e impronta nella prova di durezza Brinell.

• **Metodo Vickers**

In questo metodo si usa un penetratore di diamante a forma di piramide a base quadrata con angolo di 136° tra facce opposte.

La durezza Vickers, indicata con il simbolo **HV**, è data dal rapporto tra carico e superficie dell'impronta lasciata dal penetratore sul pezzo

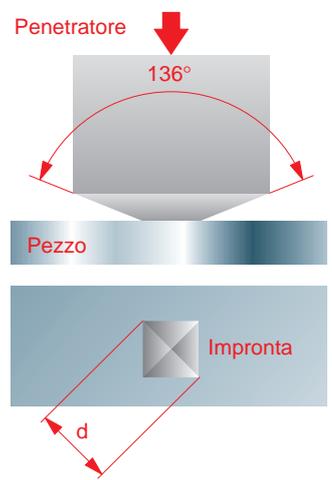
$$HV = 0,189 \frac{F}{d^2}$$

In questa relazione F esprime il carico (in N) mentre d rappresenta la diagonale dell'impronta piramidale lasciata dal penetratore. La presenza del coefficiente 0,189 è dovuta sia al calcolo della superficie dell'impronta mediante la diagonale sia al cambiamento di unità del carico; infatti, come nel caso della durezza Brinell, il passaggio dal kg_f al N avrebbe creato un mutamento generale dei valori della durezza Vickers, evitabile con l'introduzione di un coefficiente di conversione.

Le condizioni normali della prova prevedono un carico di 294 N (30 kg_f) applicato per un tempo di 10 ÷ 15 secondi.

In condizioni diverse la designazione della durezza Vickers prevede che, dopo la sigla HV, vengono indicati nell'ordine il carico (in kg_f) e il tempo di applicazione. Per esempio:

- **300 HV** indica una durezza Vickers di valore 300, con carico di 294 N applicato per 10 ÷ 15 secondi.
- **640 HV_{30/20}** indica una durezza Vickers di valore 640, ottenuto con un carico di 30 kg_f applicato per 20 secondi.



Penetratore e impronta nella prova di durezza Vickers.



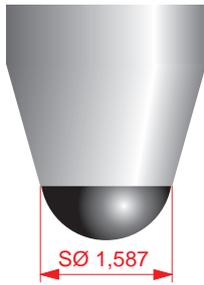
Durometro Vickers.

memo

Le relazioni che legano il newton (N) al kilogrammo-forza (kg_f) sono
1 N = 0,102 kg_f **1 kg_f = 9,81 N**

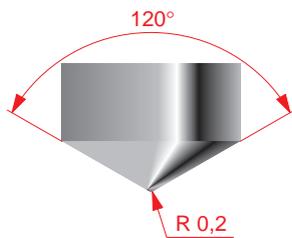
• **Metodo Rockwell**

Questo metodo è più usato dei precedenti perché consente una lettura immediata della durezza dall'apparecchio. Si usano due tipi di penetratori diversi:



Penetratore della prova HRB: sfera in acciaio.

- sfera d'acciaio ($\varnothing 1,587 \text{ mm} = 1/16''$) per materiali non molto duri; in questo caso il valore della durezza Rockwell è designato dalla sigla **HRB**.
- cono di diamante (angolo 120° e raccordo al vertice di $R 0,2 \text{ mm}$) per materiali duri; in questo secondo caso il valore della durezza viene designato dalla sigla **HRC**.



Penetratore della prova HRC: cono di diamante.

La prova consiste nell'applicare un carico iniziale F_0 di 98 N (10 kgf) che provoca una prima impronta (di profondità a); dopo aver azzerato l'indice dello strumento si applica un secondo carico F_1 fino a giungere a un carico totale F di 981 N (100 kgf) per la prova HRB oppure di 1470 N (150 kgf) per la prova HRC.



Quindi si toglie il secondo carico, mantenendo il primo; il rientro elastico del materiale fa risalire il penetratore e, dopo un assestamento, l'indice segnala il valore della durezza oppure la profondità residua (e). Le due diverse prove forniscono dei valori numerici pari a:

- 130 – e (per la prova HRB); quindi sono valori compresi tra 0 (minimo) e 130 (massimo).
- 100 – e (per la prova HRC); quindi sono valori compresi tra 0 (minimo) e 100 (massimo).

Durometro in grado di eseguire prove di durezza Brinell, Vickers e Rockwell. In quest'ultimo caso il valore della durezza è leggibile direttamente sul display.



Controllo dimensionale di un penetratore Rockwell. Le irregolarità del profilo sferico sono causa di incertezza nella misurazione della durezza.

CONVERSIONE TRA TIPI DI DUREZZE

HB	HV	HRC	HRB
10/3000/30"		F = 1470 N	F = 980 N
780	1150	70	-
712	960	66	-
627	765	60	-
555	633	55	120
495	540	50	117
444	472	46	115
401	420	42	113
363	375	38	110
331	339	35	109
302	305	32	107
277	279	29	104
255	256	25	102
235	235	22	99
217	217	18	96
202	202	15	94
187	187	10	91
174	174	7	88
163	163	3	85
153	153	-	82
143	143	-	79
134	134	-	76
126	126	-	72
118	118	-	69
112	112	-	66
105	105	-	62
99	99	-	59
95	95	-	56

FASI DELLE PROVE HRB E HRC

	HRB	HRC
	<p>1ª Fase: PRECARICO Si applica un carico di 98 N e si azzerà l'apparecchio.</p>	<p>2ª Fase: SOVRACCARICO Con il secondo carico il totale arriva a 981 N per la HRB e a 1470 per la HRC.</p>
	<p>3ª Fase: LETTURA Tolto il sovraccarico, si mantiene il precarico di 98 N e si legge il valore Rockwell.</p>	
	<p>a = profondità da precarico</p>	<p>b = profondità da sovraccarico</p>
		<p>e = profondità residua</p>

memo

Secondo le norme UNI per le prove Brinell, Vickers e Rockwell i valori delle durezza sono privi di unità di misura, sono cioè dei numeri puri; ciò nonostante siano stati ricavati da misure in N, in mm o in mm².