

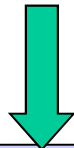
Durezza e prova di durezza

- La durezza è una misura della resistenza di un metallo alla deformazione (plastica) **permanente**
- Procedura generale:

Premere il penetratore, che è più duro del metallo, sulla superficie del metallo



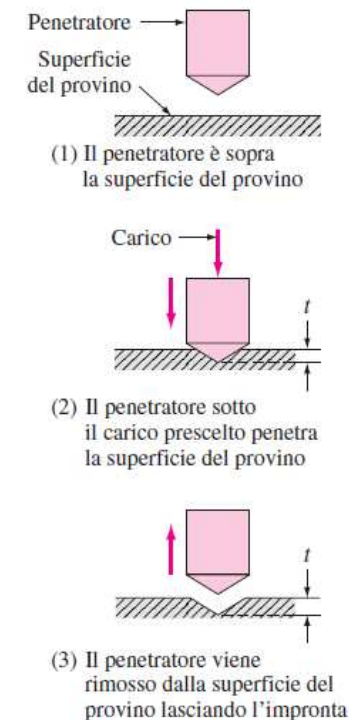
Sollevarre il penetratore



Misurare la durezza misurando la profondità e la larghezza dell'impronta

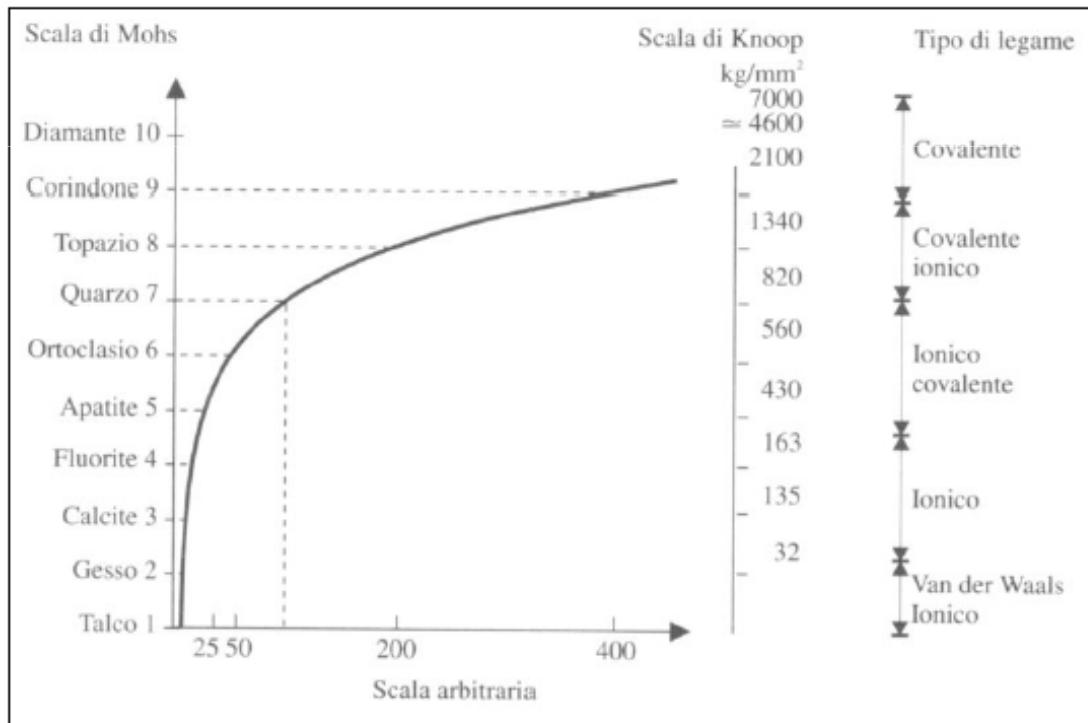


Strumento per la durezza Rockwell



PROVE DI RIGATURA

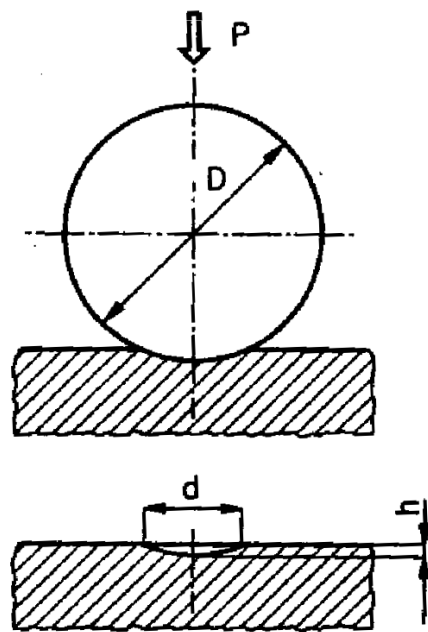
Per esse l'oggetto più duro incide il più tenero. Appartiene a questa classe la prova alla lima ed ogni prova atta a classificare i materiali secondo la **scala di Mohs**



PROVA DI DUREZZA BRINELL (UNI EN ISO 6506:2001)

La prova di durezza Brinell si esegue applicando un carico sul provino, mediante un opportuno penetratore e misurando la superficie dell'impronta lasciata sullo stesso

La durezza Brinell è proporzionale al rapporto tra il carico di prova diviso l'area dell'impronta



Il penetratore deve avere una superficie rettificata e lucidata a specchio; è una sfera di acciaio (HBS) per materiali di durezza Brinell minore di 350 oppure di metallo duro (HBW) per materiali aventi durezza Brinell fino a 650. Il penetratore può avere diametro pari a 1, 2.5, 5 o 10mm. Quando lo spessore della provetta lo consente, si utilizza preferenzialmente una sfera di 10mm; i diametri più piccoli si adoperano per spessori inferiori a 6mm.

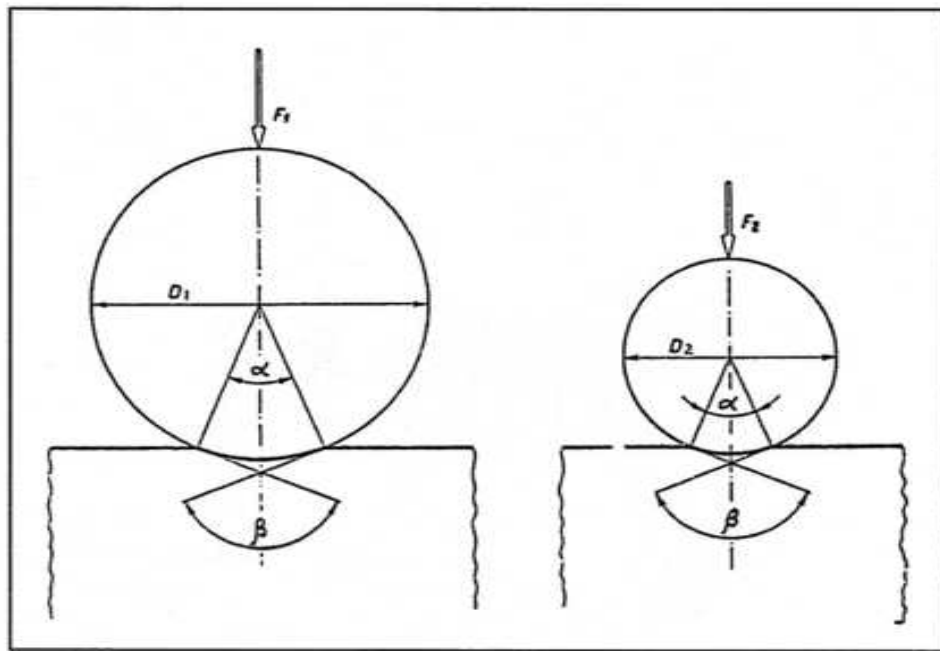
Spessore pezzo [mm]	<1	1÷3	3÷6	>6
Ø sfera [mm]	1	2,5	5	10



PROVA DI DUREZZA BRINELL (UNI EN ISO 6506:2001)

I risultati della prova dipendono dalla relazione tra il carico applicato **F** ed il diametro della sfera **D**

La comparabilità dei risultati delle prove dipende dagli **angoli di penetrazione β** . Se per prove effettuate con **F** e **D** diverse questi sono uguali, allora le misure sono comparabili



$$d/D = \text{costante}$$

PROVA DI DUREZZA BRINELL (UNI EN ISO 6506:2001)

Le condizioni normali di prova prevedono un carico $F=29.42\text{kN}$ (3000kgf)

Si deve tendere a rispettare la seguente condizione: $0.24D < d < 0.6D$ (condizione ideale: $d=0.375D$)

A tal fine, il carico (in chilogrammi) va dimensionato a seconda del materiale testato e del diametro (espresso in millimetri) del penetratore secondo la seguente relazione (legge di similitudine meccanica):

$$F = k \cdot D^2$$

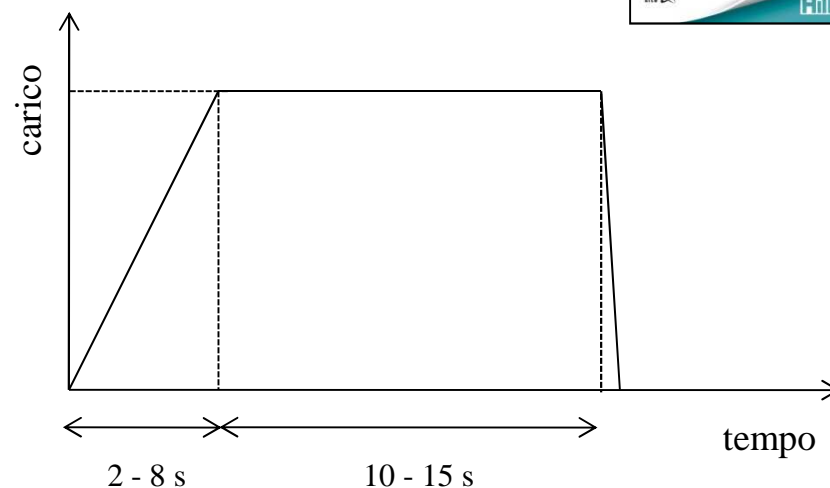
Materiali	Acciai e ghise	Leghe di rame e alluminio	Rame, alluminio, zinco, magnesio e sue leghe	Leghe di stagno	Piombo e stagno
k	30	10	5	1,25	0,5



PROVA DI DUREZZA BRINELL (UNI EN ISO 6506:2001)

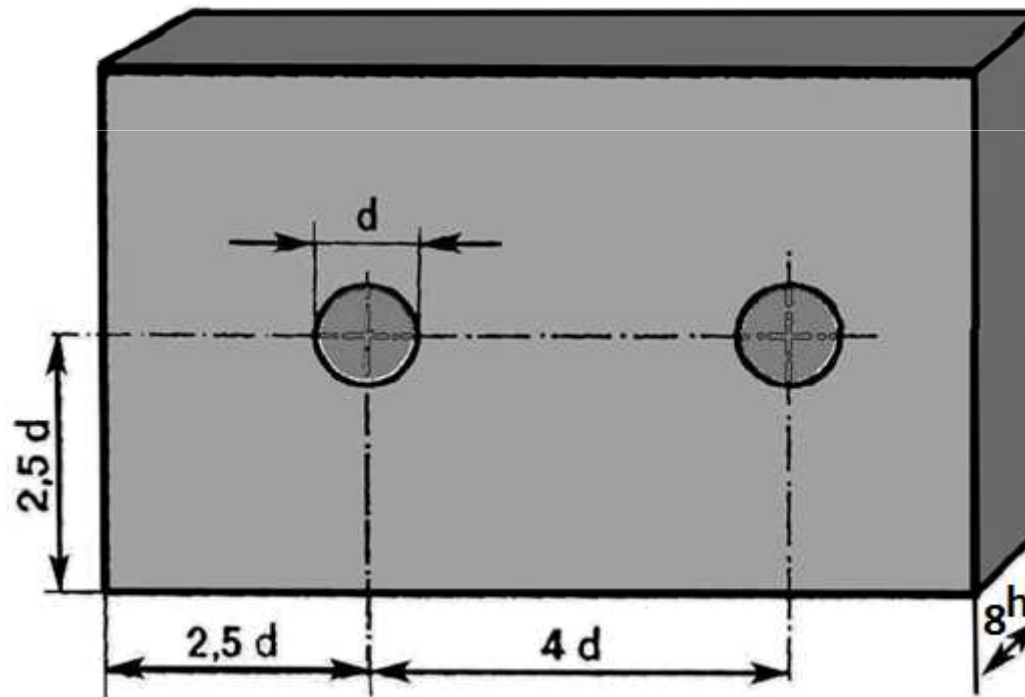
Il carico viene applicato incrementandolo fino al raggiungimento del valore prescelto in un tempo variabile tra 2 e 8 secondi, poi resta applicato sul provino per un tempo variabile tra 10 e 15 secondi. Trascorso tale tempo si elimina il carico e si visualizza la superficie del provino sulla quale sarà impressa l'impronta a forma di calotta sferica.

È possibile eseguire la prova in condizioni diverse da quelle nominali: in questo caso al simbolo HB sono aggiunti a pedice il diametro del penetratore utilizzato espresso in millimetri, il carico di prova applicato espresso in chilogrammi forza e la durata di applicazione del carico espresso in secondi (HB₅₋₇₃₅₅₋₂₀).



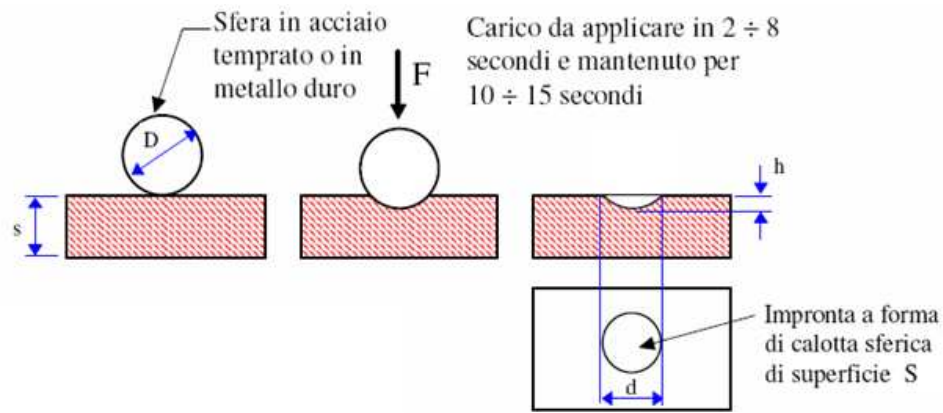
PROVA DI DUREZZA BRINELL (UNI EN ISO 6506:2001)

1. La prova si esegue facendo **almeno tre impronte su una superficie levigata** o quantomeno esente da difetti grossolani
2. Si rilevano col microscopio 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**:



PROVA DI DUREZZA BRINELL (UNI EN ISO 6506:2001)

4) Se sono verificate le condizioni di validità si calcola la media aritmetica di tutti i diametri

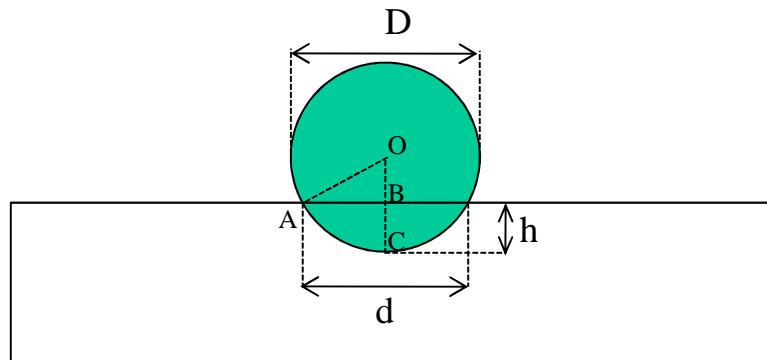


Area della superficie della calotta sferica

$$S = \pi \cdot D \cdot h$$

È possibile esprimere la profondità dell'impronta h in funzione di D e d:

$$h = BC = OC - OB = \frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2} = \frac{1}{2} \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)$$



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

$$HB = \frac{F}{S} = \frac{2F}{\pi \cdot D \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)}$$



PROVA DI DUREZZA BRINELL (UNI EN ISO 6506:2001) LIMITI



CAMPO DI APPLICAZIONE LIMITATO A CAUSA DELLA DUREZZA DEL
PENETRATORE

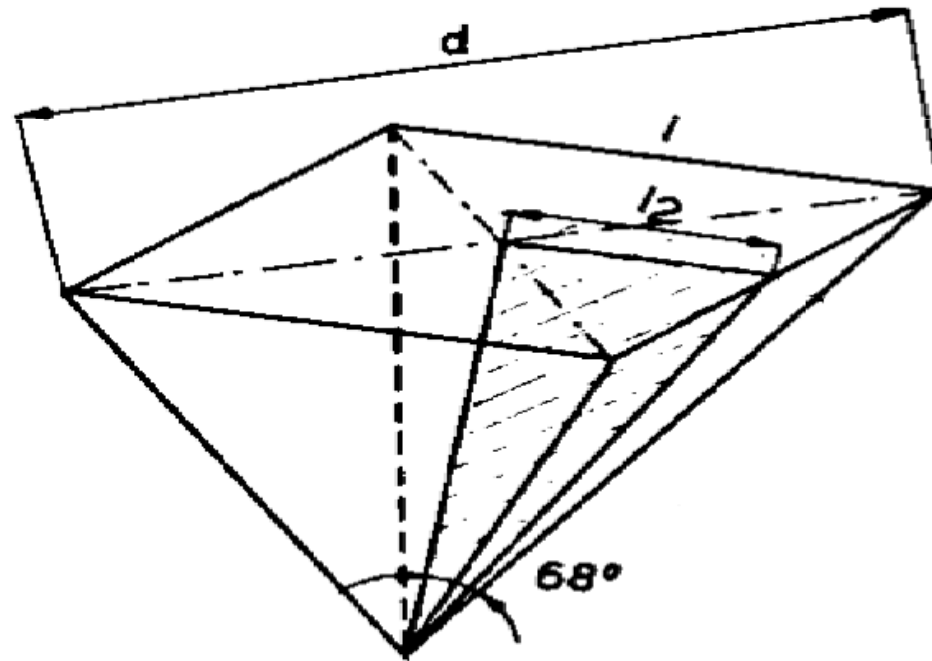
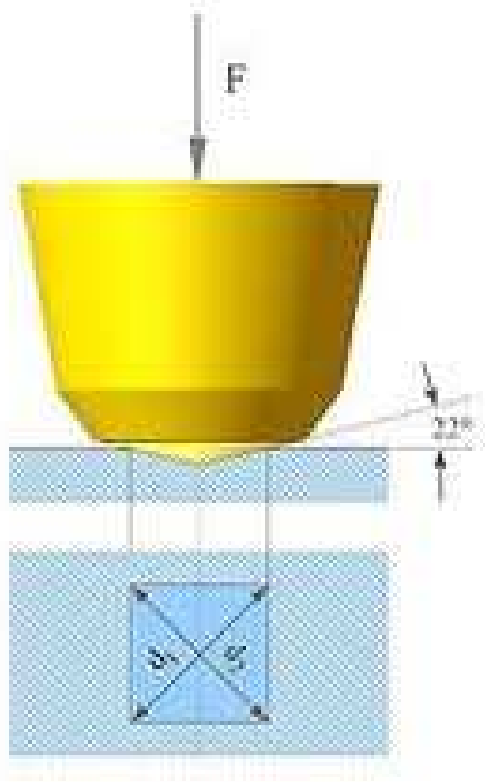
POSSIBILITA DI ERRORI NELLA MISURA DELL'IMPRONTA

MISURA INDIRETTA

VARIABILITA DEI RISULTATI

PROVA DI DUREZZA VICKERS(UNI EN ISO 6507-1:1999)

Introdotta per le misure di durezza di materiali estremamente duri, utilizza un penetratore di diamante a forma di piramide a base quadrata, con angolo al vertice di 136° , e carico di prova $1.9 < F < 980.7 \text{ N}$



PROVA DI DUREZZA VICKERS(UNI EN ISO 6507-1:1999)

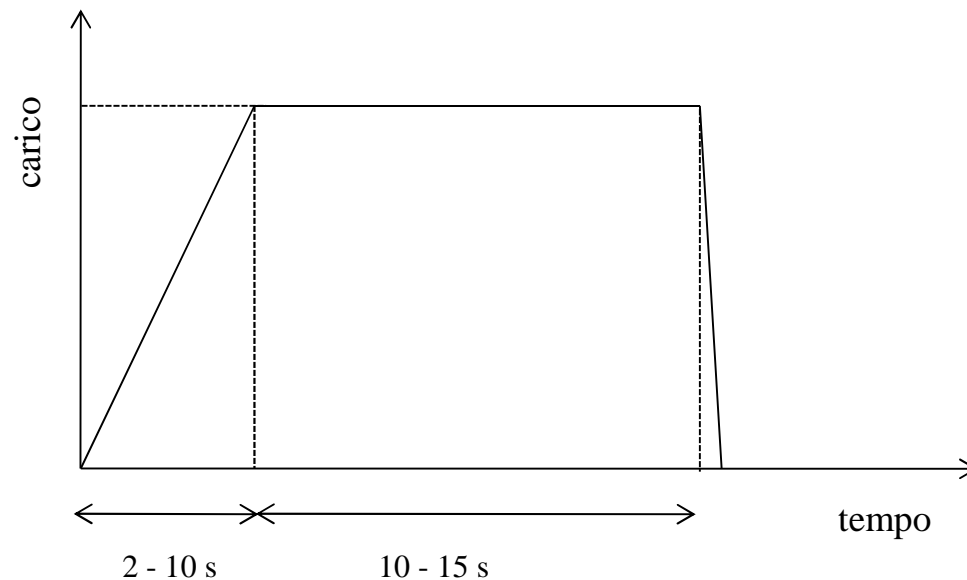
In condizioni standard, la prova viene condotta con una carico di 30 kg, per una permanenza di 10-15 s, dopo una crescita graduale per un tempo di 2-10 s.

In condizioni diverse, i risultati vengono indicati facendo seguire al simbolo HV un indice che specifichi, nell'ordine, il carico impiegato e il tempo di permanenza

Esempi

HV30/20

HV5/15



PROVA DI DUREZZA VICKERS(UNI EN ISO 6507-1:1999) CONDUZIONE DELLA PROVA



- 1) Si esegue la prova facendo **almeno tre impronte**
- 2) Si rilevano col microscopio le **misure delle diagonali di ognuna delle impronte** e se ne calcola la media aritmetica
- 3) Si verificano le condizioni di validità:
 - a) 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 abbiano diagonali diverse, la distanza deve essere rilevata considerando la diagonale media dell'impronta più grande
 - b) Lo **spessore del provino** deve essere **minimo 1,5 volte la diagonale media** dell'impronta $s > 1,5 d$

PROVA DI DUREZZA VICKERS(UNI EN ISO 6507-1:1999) CONDUZIONE DELLA PROVA



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:

$$S = 4 \cdot \frac{1}{2} \cdot a \cdot h = \frac{1}{2} \cdot \frac{d^2}{\sin 68^\circ}$$

Con

d= media aritmetica delle diagonali misurate

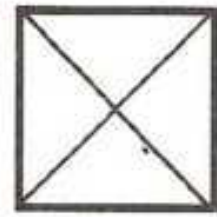
a= lato di base della piramide

h= altezza delle facce della piramide

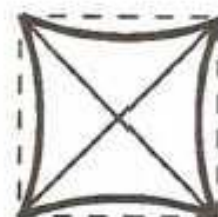
6) Si calcola l'indice di durezza Vickers con la formula:

$$HV = \frac{F}{S} = 1.854 \frac{F}{d^2}$$

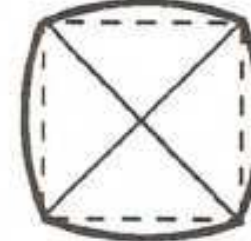
PROVA DI DUREZZA VICKERS (UNI EN ISO 6507-1:1999) IMPRONTE



a)

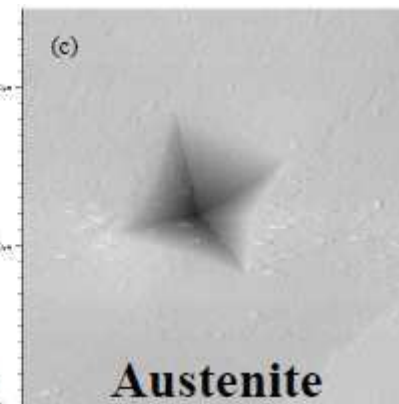
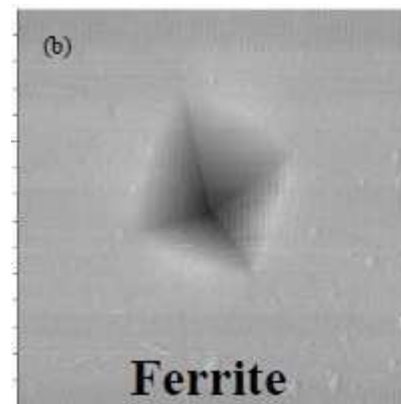


b)

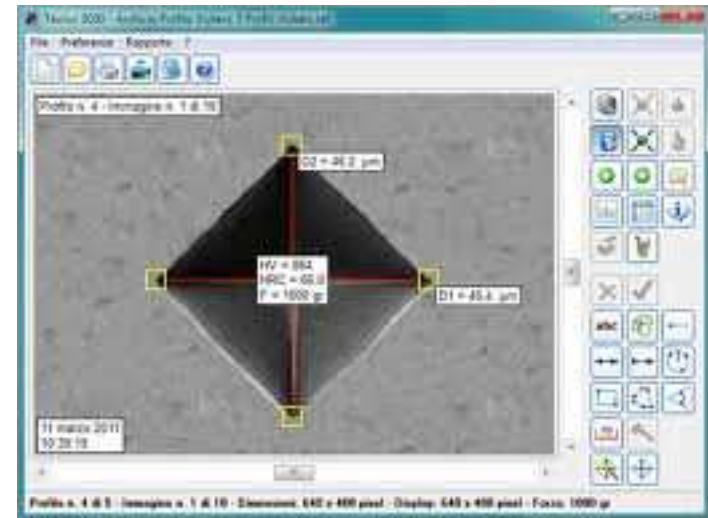


c)

Forma dell'impronta Vickers: a) quadrata; b) "a guanciaie"; c) "a botte".



PROVA DI DUREZZA VICKERS (UNI EN ISO 6507-1:1999) DUROMETRO



PROVE DI MICRODUREZZA



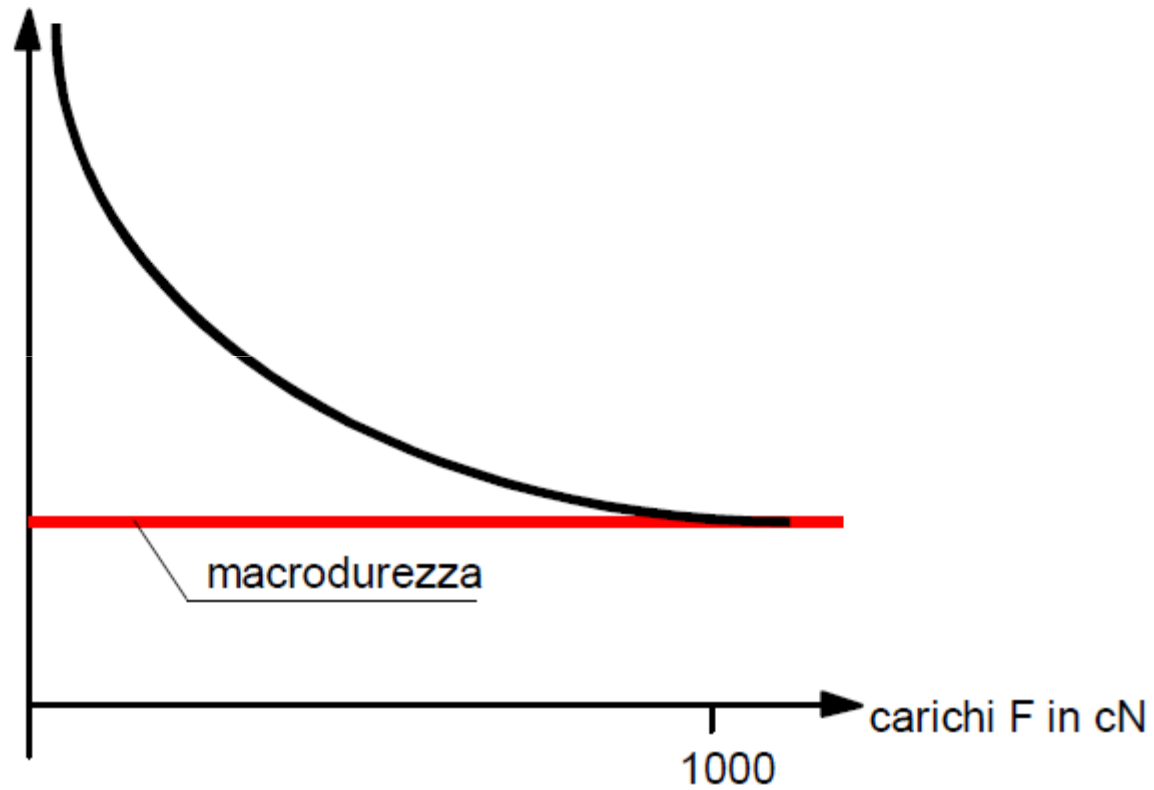
Sono prove che vanno effettuate con carichi molto limitati (pochi chilogrammi)

Sono utilizzate per:

- Oggetti di limitate dimensioni
- Durezze superficiali
- Valutare la variazione di durezza in funzione della profondità dalla superficie del pezzo
- Materiali fragili

DUREZZA/MICRODUREZZA

microdurezza HV



PROVA DI MICRODUREZZA MICRODUROMETRO



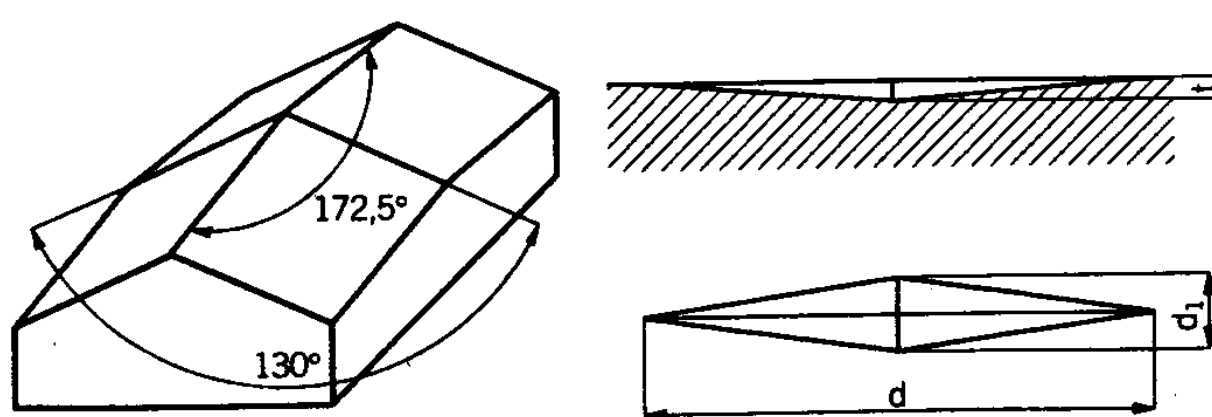
PROVA DI DUREZZA KNOOP (UNI EN ISO 4516:2004)

È una prova di **microdurezza**, condotta con carichi tra 25 e 3600 g

È utilizzata per:

- Provini piccoli o sottili
- Materiali fragili
- Misure di durezza su singoli grani

Il penetratore è un diamante a forma piramidale allungata (impronta rilasciata a forma di rombo)



$$\frac{d}{d_1} = 7.11$$

$$\frac{d}{t} = 8.4$$

$$HK = \frac{F}{A} = 14.2 \frac{F}{d^2}$$



PROVA DI DUREZZA KNOOP (UNI EN ISO 4516:2004)



Vantaggi:

- Maggiore facilità di lettura (impronta più lunga)
- Maggiore rapidità di lettura (si misura una sola diagonale)

Svantaggi:

- Accurata preparazione del campione

PROVA DI DUREZZA ROCKWELL (UNI EN ISO 6508-1:2002)



Per superare l'inconveniente di misurare le dimensioni dell'impronta mediante microscopio micrometrico (operazione lenta e faticosa), ha avuto grande diffusione la prova di durezza **Rockwell**

Il procedimento prevede inizialmente l'applicazione del penetratore contro la superficie del pezzo sotto un precarico dato e l'azzeramento dello strumento indicatore, quindi l'aggiunta del carico principale che produce l'impronta ed infine la lettura della profondità permanente sotto l'azione del solo precarico (in questo modo si tiene conto del ritorno elastico del materiale)

PROVA DI DUREZZA ROCKWELL (UNI EN ISO 6508-1:2002)



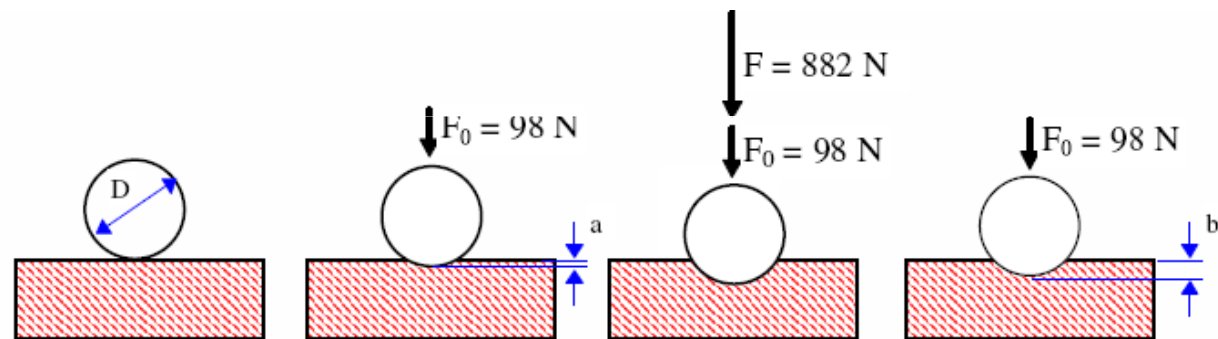
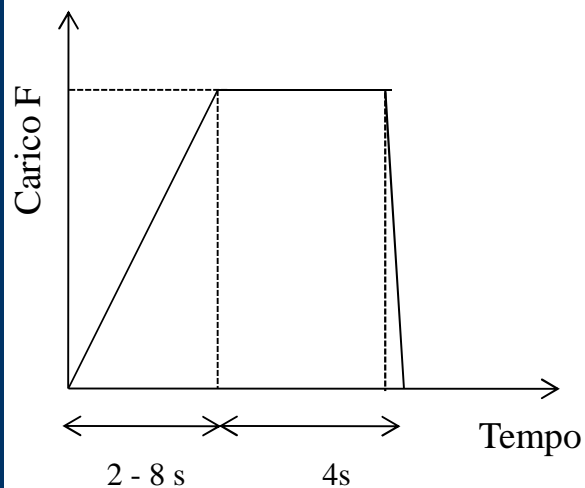
Grazie all'impiego di 5 penetratori e 6 condizioni di carico si realizzano le 30 scale diverse riepilogate in tabella, capaci di coprire esigenze relative alla grande maggioranza di materiali impiegati nell'industria

Penetratore	Normale (precarico 10 kgf) Carico totale, kgf			Superficiale (precarico 3 kgf) Carico totale, kgf		
	60	100	150	15	30	45
Cono diamante	A	D	C	15N	30N	45N
Sfera Ø 1/16"	F	B	G	15T	30T	45T
Sfera Ø 1/8"	H	E	K	15W	30W	45W
Sfera Ø 1/4"	L	M	P	15X	30X	45X
Sfera Ø 1/2"	R	S	V	15Y	30Y	45Y

PROVA DI DUREZZA ROCKWELL (UNI EN ISO 6508-1:2002) ROCKWELL B



Il penetratore è una sfera di acciaio di diametro di 1.587mm=1/16 di pollice



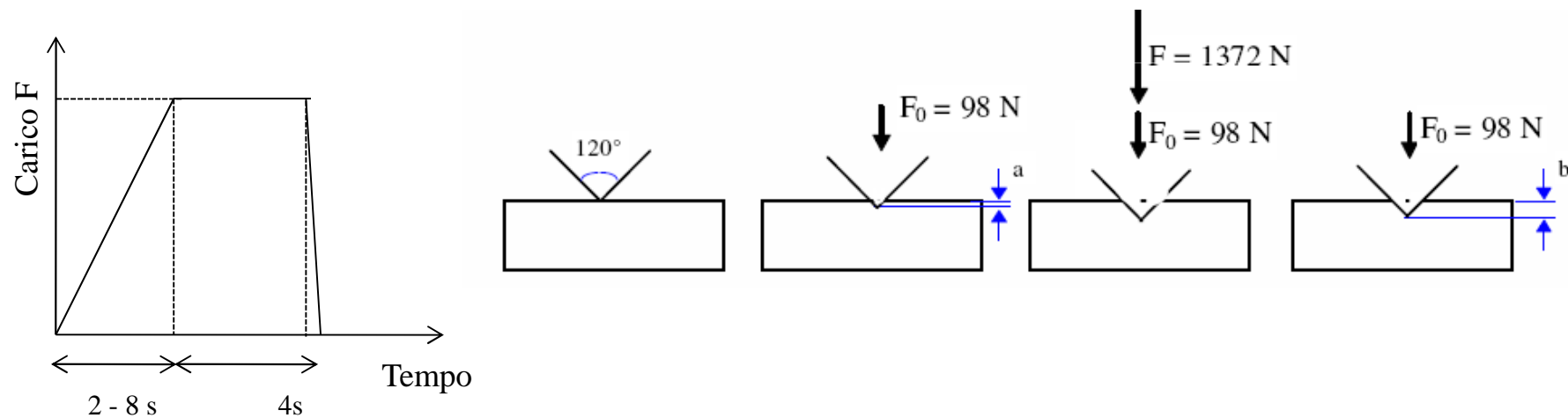
$$HRB=130-500h$$

dove $h = b - a$ è la profondità dell'impronta espressa in *mm*

PROVA DI DUREZZA ROCKWELL (UNI EN ISO 6508-1:2002) ROCKWELL C



Il penetratore è un cono di diamante con angolo di apertura 120° e raggio di curvatura in corrispondenza della punta di 0.2mm



$$HRC=100-500h$$

dove $h = b - a$ è la profondità dell'impronta espressa in *mm*

PROVA DI DUREZZA ROCKWELL (UNI EN ISO 6508-1:2002) VALIDITÀ DELLA PROVA



Nell'eseguire la prova di durezza Rockwell bisogna fare in modo che lo spessore della provetta sia almeno pari a $10h$ per prove effettuate con il penetratore conico ed almeno $15h$ per prove con penetratore sferico

Inoltre la distanza tra i centri di due impronte adiacenti deve essere almeno 2mm e la distanza tra il centro dell'impronta ed il bordo della provetta deve essere almeno uguale a 1mm



CONFRONTO TRA LE SCALE HB-HRB-HRC

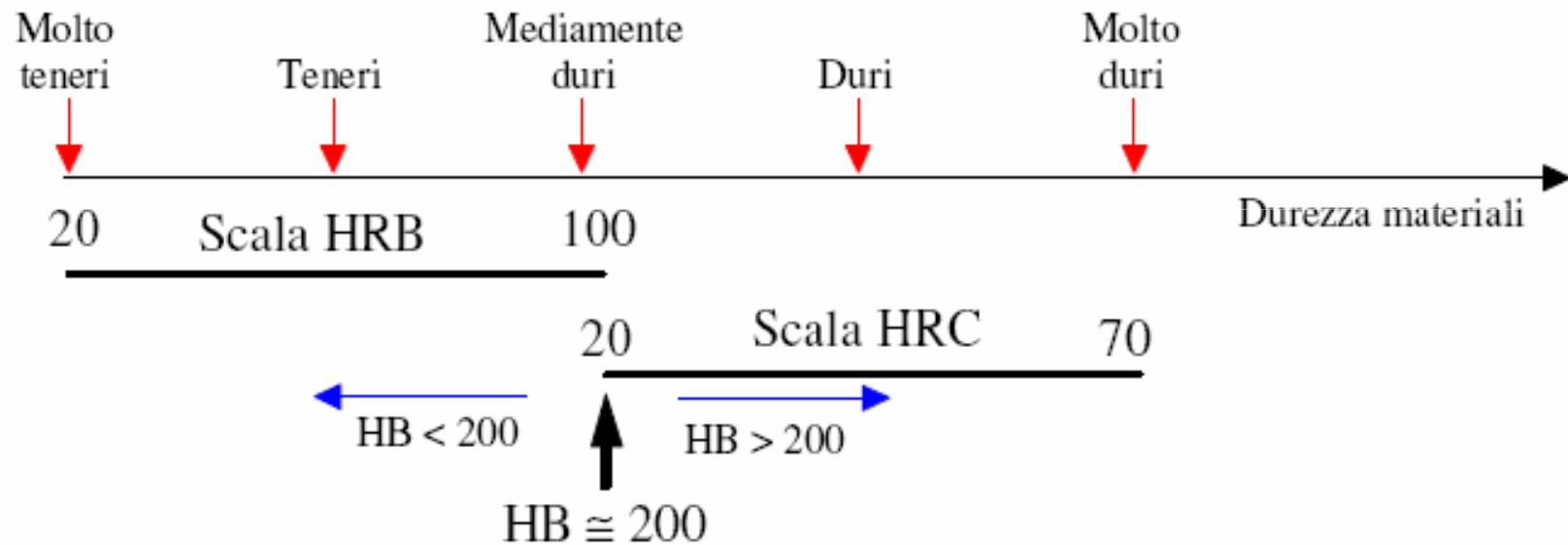
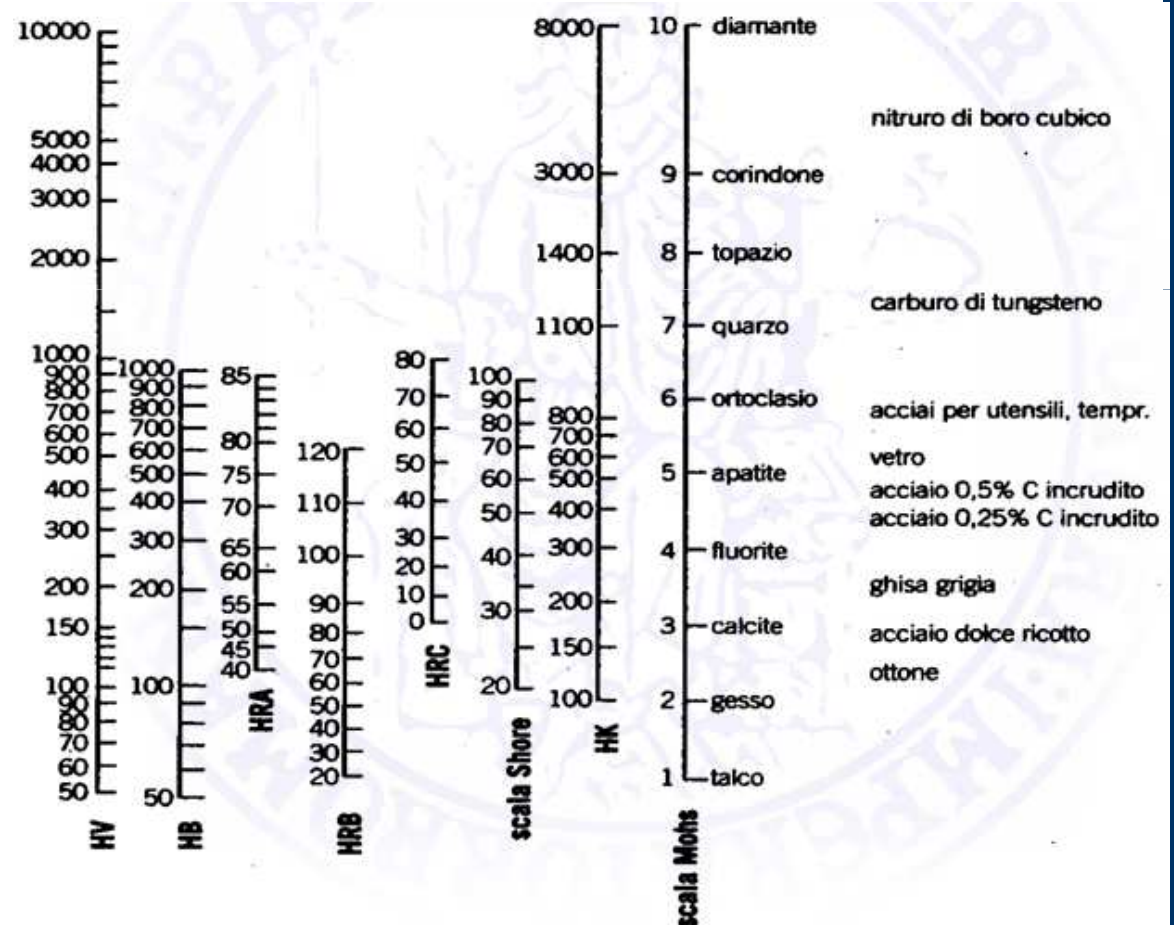


TABELLE DI CONVERSIONE



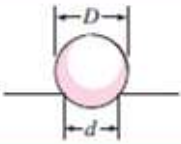

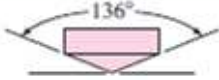
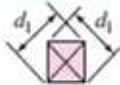
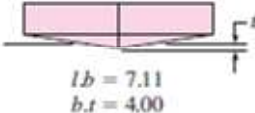
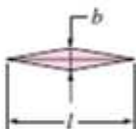
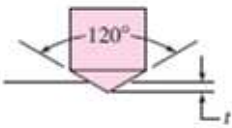

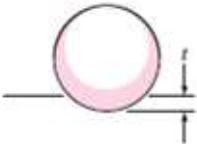

Esistono nomogrammi e tabelle di conversione che permettono di passare da una scala di durezza ad un'altra

Non esiste una corrispondenza esatta tra le scale a causa della differenza del principio fisico, del volume di materiale interessato e della modalità di prova



Prove di durezza

Tabella 6.2 Prove di durezza

Test	Carico	Forma del penetratore		Penetratore	Formula per il calcolo della durezza
		Vista laterale	Vista dall'alto		
Brinell	P			Sfera di 10 mm di acciaio o carburo di tungsteno	$BHN = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Vickers	P			Piramide di diamante	$VHN = \frac{1.854P}{d_1^2}$
Microdurezza Knoop	P			Piramide di diamante	$KHN = \frac{14.2P}{l^2}$
Rockwell					
A } B } C }	60 kg 150 kg 100 kg			Cono di diamante	R_A R_C R_D } 100-500f
B } F } G }	100 kg 60 kg 150 kg			Sfera di acciaio di diametro 1/16 in	R_B R_F R_G } 130-500f
E }	100 kg			Sfera di acciaio di diametro 1/8 in	R_E }

Fonte: Da H. W. Hayden, W. G. Moffatt, and J. Wulff, "The Structure and Properties of Materials," vol. III, Wiley, 1965, p. 12.

