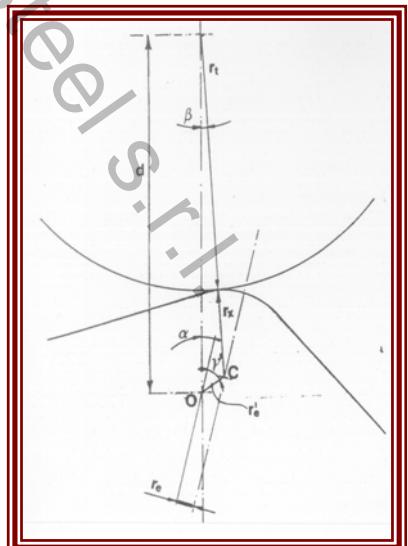
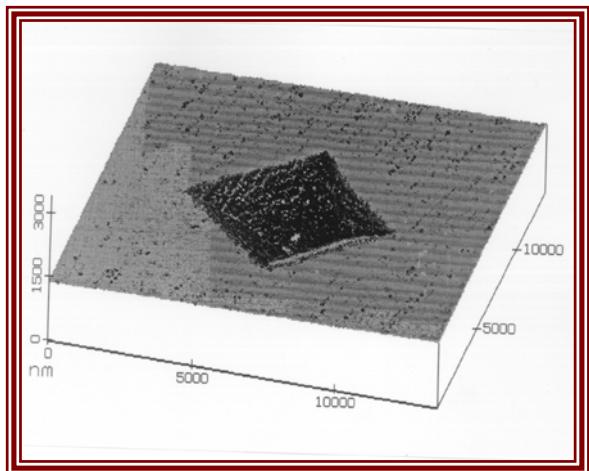


LA DUREZZA: DEFINIZIONE E MISURAZIONE

Anita Calcatelli, Alessandro Germak

I.N.R.I.M.



Contenuto

1. Considerazioni introduttive

2. Le scale di durezza

- 2.1 Considerazioni generali
- 2.2 Scala Brinell
- 2.3 Scala Vickers
- 2.4 Scala Rockwell
- 2.5 Scala Knoop
- 2.6 Scala Ludwick
- 2.7 Scala Shore

3. Campioni per la misurazione di durezza

4. Quadro normativo

- 4.1 Considerazioni generali
- 4.2 Struttura delle norme di riferimento internazionali

5. Incertezza di misura dei campioni di durezza nazionali italiani

- 5.1 Parametri che influenzano l'incertezza delle misure di durezza
 - 5.1.1. Materiale
 - 5.1.2. Durometri
 - 5.1.3. Condizioni ambientali
 - 5.1.4. Operatore

6. La taratura delle macchine per prove di durezza

- 6.1. Metodo diretto
- 6.2. Metodo indiretto

7. La disseminazione delle scale di durezza

- 7.1. Normativa principale di riferimento per la disseminazione
- 7.2. La disseminazione

8. Sviluppi futuri: l'unificazione delle scale

9. Interconfronti

1. Considerazioni introduttive

La durezza è una proprietà dei materiali ed è una grandezza meccanica non facile da definire, come invece capita per altre grandezze derivate per cui si possono realizzare campioni che costituiscono il riferimento nazionale (per esempio la forza, la pressione, la portata, ecc). Esistono varie scale con diversi livelli, che, tuttavia, non corrispondono a campioni ben definiti e conservati presso gli istituti metrologici.

Non è dunque possibile stabilire la riferibilità al SI come avviene per la maggior parte delle grandezze con la conseguente realizzazione di campioni di vario livello, ma la riferibilità è garantita a tutti i livelli della realizzazione della misurazione come verrà evidenziato nel seguito, attraverso la taratura delle macchine con cui si eseguono le misurazioni.

Le misurazioni di durezza sono molto importanti dal punto di vista applicativo e quindi molti istituti metrologici sono impegnati non solo nella definizione dei metodi di misurazione e di taratura delle macchine impiegate ma anche nella opportuna definizione della grandezza stessa attraverso norme adeguate e in continuo adattamento alle esigenze emergenti.

I materiali metallici per cui vengono comunemente richieste misurazioni di durezza sono: ferro, acciaio, alluminio, rame, ottone, bronzo, ecc. Ma si determina anche la durezza per materiali non metallici come elastomeri, gomme e materiali ceramici, ecc.

Le varie scale di durezza si differenziano tra di loro in base al metodo su cui le misurazioni sono basate.

La prima definizione di durezza fu data da Friedrich Mohs (mineralogista austriaco, 1723 - 1839) ed è basata su un criterio empirico: "la resistenza che il materiale oppone alla separazione delle sue particelle". La scala Mohs assume come riferimento la durezza di dieci minerali numerati progressivamente da 1 a 10 e tali che ciascuno è in grado di scalfire quello che lo precede ed è scalfito da quello che lo segue. Il primo minerale della serie è il talco, l'ultimo il **diamante**. La scala di Mohs, di seguito riportata, ha un valore puramente indicativo.

Materiali TENERI (si scalfiscono con l'unghia.)

1. Talco
2. Gesso

Materiali SEMI DURI (si rigano con una punta d'acciaio.)

3. Calcite
4. Fluorite
5. Apatite

Materiali DURI (non si rigano con la punta di acciaio.)

6. Ortocalsio

7. Quarzo
8. Topazio
9. Corindone
10. Diamante (carborundum)

E' fondamentale trovare un accordo internazionale non solo per la definizione della durezza dei materiali ma soprattutto per la metodologia di misurazione; per questo si darà ampio spazio alla normativa di riferimento.

L'I.N.R.I.M. (prima del 2006 l'IMGC) opera da più di 30 anni nel settore delle misure di durezza. Inizialmente l'attività è stata concentrata sullo studio, sulla progettazione e sulla costruzione delle macchine campione che realizzano le varie scale di durezza e degli strumenti necessari per verificare la geometria dei penetratori utilizzati nelle diverse prove. Dopo aver ottenuto, in questo campo, parecchi riconoscimenti sulla qualità della ricerca effettuata per realizzare questi strumenti, che si sono rivelati altamente innovativi (tant'è che alcuni di essi sono stati coperti da brevetto), è stata avviata una seconda fase di ricerca volta a valutare le influenze metrologiche dei parametri che definiscono la procedura della prova. A seguito di quest'analisi si è potuto constatare l'estrema importanza di una corretta definizione dello strumento primario che si è rivelata la più importante fonte d'incertezza della misura. Recentemente sono state avviate alcune azioni a livello internazionale per porre l'attenzione sulla misurazione di questa grandezza che riveste un importantissimo ruolo nei sistemi industriali, soprattutto nel controllo di qualità dei prodotti.

Dapprima si passano in rassegna le varie scale di durezza e nella bibliografia essenziale sono riportati gli articoli più rilevanti sull'argomento e sulle macchine per misurarla.

Data la peculiarità della grandezza in esame, ampio spazio è dedicato alla normativa sia internazionale sia nazionale ed un'ampia elencazione delle norme disponibili a livello internazionale e recepite dall'ente di normazione italiano (UNI) è riportata nella parte della bibliografia denominata "RIFERIMENTI NORMATIVI", il cui numero attesta quanto sia complessa la definizione, attraverso le normative, della grandezza durezza.

Nell'ultimo paragrafo è presentata, con i più rilevanti riferimenti bibliografici, l'esigenza di raggruppare in un'unica "definizione" le varie scale per arrivare alla "Durezza Universale" con le relative difficoltà di realizzazione.

2. Le scale di durezza

2.1 Considerazioni generali

Le prove di durezza sono sicuramente tra le prove meccaniche le più diffuse in quanto:

- spesso non richiedono la realizzazione di specifici provini campione ma possono essere eseguite direttamente sul prodotto finale;
- in alcuni casi non sono distruttive poiché alterano solo localmente il prodotto ed in maniera spesso non significativa;
- possono fornire un'indicazione sullo stato micro-strutturale e su alcune fondamentali proprietà meccaniche dei materiali;
- consentono di determinare indici di confronto per esprimere giudizi relativi a processi tecnologici.
- permettono di fornire indicazioni utili per la qualifica di alcuni processi di produzione come, ad esempio, trattamenti termici, rivestimenti, saldature, ecc.
- e sono generalmente molto rapide.

Per quanto riguarda i materiali metallici, le scale di durezza più utilizzate sono le seguenti:

- scale di durezza Brinell
- scale di durezza Vickers
- scale di durezza Rockwell

Per gli elastomeri e le gomme si utilizza la scala Shore per la cui definizione sono state pubblicate le norme di riferimento, ma, a differenza delle altre scale, non è prevista la verifica dei durometri con i blocchi di riferimento data l'instabilità dei materiali. Per questo motivo nessun istituto metrologico realizza e dissemina questa scala.

La scala Martens, determinata come parametro misurabile nella prova di penetrazione strumentata, è stata recentemente introdotta dalla normativa internazionale e prevede di coprire tutto il campo di misura coperto anche dalle altre scale tradizionali.

Per tutte le scale di durezza il principio base è lo stesso: un penetratore con un carico applicato penetra nel materiale in prova, permane per un certo tempo e successivamente mediante la valutazione della deformazione permanente (plastica o elasto-plastica) che il materiale ha subito, si fornisce un numero di durezza.

Tutte le scale però hanno le peculiarità seguenti: differiscono per le modalità di esecuzione, per i parametri di prova, per la forma e dimensione del penetratore, per la forza di carico applicato e per le modalità di misura della deformazione subita dal materiale.

Fondamentale per definire una scala di durezza è stabilire i processi di misurazione che possono essere statici e dinamici. Tutti si riferiscono allo stesso principio più sopra accennato: un corpo penetrante è premuto con continuità sul materiale con una forza di prova ben definita. Si misura la deformazione locale che si origina nella parte plastica (Vickers, Brinell) o elasto-plastica (Rockwell, Shore, Martens). Secondo il valore della forza di prova si ha una sommaria suddivisione del campo di misurazione:

- macro-durezza (forza $F > 30$ N),
- durezza di piccola carica (2 - 30 N),
- micro-durezza ($< 0,5$ N).

Le notissime "durezze Brinell, Vickers e Rockwell" sono basate su misurazioni con processo Brinell, Vickers o Rockwell e appartengono ai processi statici di misurazione della durezza. Statiche sono anche le prove di durezza Shore e Martens. Nei processi dinamici (metodo di durezza Leeb) si fa scontrare un corpo penetrante con il pezzo in prova con una certa energia cinetica e da una determinata distanza. In genere queste prove sono impiegate principalmente per misurazioni su tubature, fulcri di turbine, ecc...

Fin dal 1900 lo svedese Johan August Brinell propose il suo metodo di misura della durezza dei materiali mediante la penetrazione di una sfera di acciaio.

La proposta di Brinell di definire una scala secondo una prova codificata è la risposta pratica all'esigenza di misurare la durezza di un materiale come una delle proprietà meccaniche da correlarsi con altre proprietà molto più note quali la sollecitazione nominale di rottura, la sollecitazione effettiva di rottura, il carico di snervamento, il carico limite elastico convenzionale e la resilienza.

Il "successo" di questo metodo di misurazione è essenzialmente dovuto alla sua semplicità, alla sua rapidità ed economicità, ma anche al fatto di poter essere considerato, in alcune condizioni, una prova non distruttiva, da utilizzarsi quindi non su provini ma sui pezzi finiti.

Le scale proposte da diversi autori e in vari tempi sono:

- Brinell (1900)
- Ludwick (1908)
- Rockwell (1922)
- Vickers (1935)
- Knoop (1939)

Tutte le scale hanno come riferimento la definizione di durezza data Hertz nel 1895:

"la durezza alla penetrazione di un materiale è la pressione normale, riferita all'unità di

superficie, al centro di un'area di contatto, capace di sollecitare il materiale, in un suo punto, al limite di elasticità: deformazione permanente per i corpi plastici ed incipiente fessurazione per quelli fragili”.

Essendo la durezza una grandezza convenzionale, ogni tipo di scala è definita da una propria definizione operazionale codificata da specifiche normative che stabiliscono la metodologia di prova, dando dei valori di riferimento per ogni parametro d'influenza e la relativa tolleranza ammissibile (intervallo di variabilità). Storicamente le misure di durezza sono nate per velocizzare le prove meccaniche sui materiali metallici. Fu così che Brinell, ingegnere e direttore di un'acciaieria svedese, nei primi anni di questo secolo, propose la prima prova di durezza utilizzando una sfera di acciaio come penetratore. Dopo questa prima scala che prese il nome dal suo ideatore, altre persone, quali Rockwell, Vickers e Knoop, proposero altre scale con penetratori di diamante e altri valori della forza applicata. In genere oltre a queste scale attualmente mantenute in tutti gli Istituti Metrologici Nazionali, ve ne sono altre che recentemente hanno suscitato l'interesse dapprima industriale e poi metrologico, come ad esempio le scale Shore per elastomeri e gomme e la scala Martens.

Dunque il principale problema connesso con questo tipo di misurazioni consiste proprio nella definizione della scala che, di solito, è data dalle normative internazionali in tre diversi passi:

- 1) si definisce il metodo di prova, compresi, per ogni scala, i valori della forza applicata, il metodo di misura e la formula per ricavare il valore di durezza;
- 2) si definisce il tipo di macchina da usare per la misurazione nella scala considerata, le tolleranze relative ai parametri in gioco, il metodo per la taratura della macchina considerata;
- 3) si definisce il tipo di macchina da usare per la taratura dei blocchi di riferimento, le tolleranze relative ai parametri in gioco, il metodo per la taratura della macchina considerata.

Nel caso della durezza Shore, esistono solo i primi due passi, mentre ancora incerta e non definita rimane la procedura per taratura dei blocchi di riferimento e le caratteristiche minime delle macchine da utilizzare per queste tarature. Mancando questo passo, ossia l'accordo su come tarare i campioni di trasferimento e su come definire le caratteristiche delle macchine che in pratica realizzano la scala, è impossibile al momento stabilire

chiaramente una scala di riferimento. In questo settore alcuni passi avanti sono stati compiuti da alcuni Istituti Metrologici, come ad esempio il PTB tedesco, ma, oltre a non aver trovato ancora dei materiali da utilizzare per la costruzione dei blocchi di riferimento sufficientemente stabili nel tempo, non si è ancora affrontato il problema della procedura operativa atta a definire la scala stessa.

2.2 Scala Brinell

Brinell, nell'intento di sostituire la lunga e costosa prova di trazione con una più rapida di compressione, nel 1900 stabilì la base operazionale della prima scala di durezza tecnologica mediante la penetrazione di una sfera di acciaio.

La procedura operativa per la prova consiste nel comprimere un penetratore di forma sferica di acciaio temprato (sigla della durezza HBS) per cuscinetti oppure di metallo duro come il carburo di tungsteno (sigla della durezza HBW), con una forza ben definita contro la superficie del materiale in prova per un intervallo di tempo di 15 s, e, successivamente, misurare i due diametri ortogonali dell'impronta dovuta alla deformazione plastica del materiale e calcolare il numero di durezza.

Brinell chiamò numero di durezza il rapporto (Figura 1):

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

dove: F = forza che agisce sulla sfera

S = superficie dell'impronta della sfera sul materiale

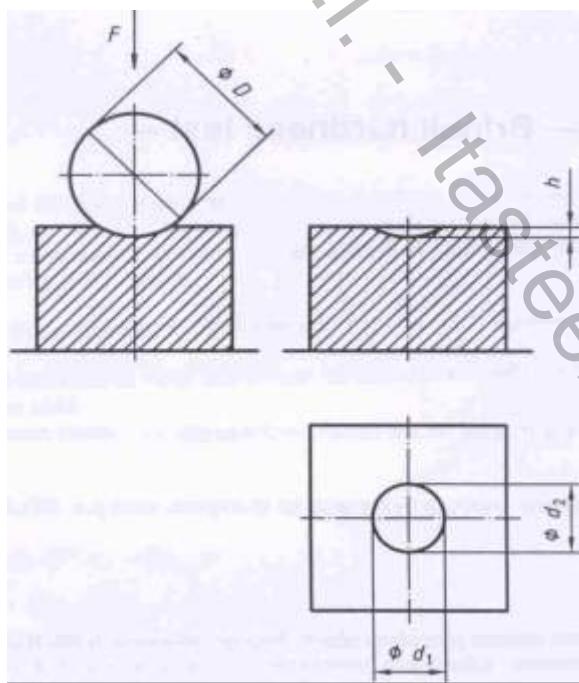


Figura 1. Principio di misura della durezza Brinell (Norma ISO 6506)

La superficie S dell'impronta è calcolata mediante la seguente formula.

$$S = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right), \text{ con } D \text{ diametro della sfera usata nella prova e } d = (d_1 + d_2)/2$$

media dei due diametri ortogonali.

E' stata scelta la superficie dell'impronta S anziché la sua profondità h , perché di più facile determinazione in funzione del diametro medio dell'impronta, mentre la profondità dell'impronta è in genere più difficile da misurazione date le deformazioni plastiche intorno all'impronta stessa. Comunque anche l'altezza ideale dell'impronta è ricavabile dal diametro medio dell'impronta d , e dal diametro delle sfera di prova D , mediante la relazione seguente:

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

La formula finale per la determinazione della durezza Brinell HB diventa quindi:

$$HB = \frac{F}{9,80665 \cdot S} = \frac{F}{9,80665} \cdot \frac{1}{\frac{1}{2} \pi \cdot D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)} = 0,102 \cdot \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}$$

F = forza in newton, D = diametro sfera di prova in millimetri, d = diametro medio impronta in millimetri¹.

Per le varie tipologie normalizzate di durezza Brinell vedasi Tabella 1 mentre le Figure 2,3 e 4 mostrano vari tipi di durometri.

Vantaggi: è una prova rapida, economica, non distruttiva e l'oggetto è riutilizzabile.

Svantaggi: Sono difficili i confronti tra diverse misure Brinell eseguite con forze di carico e/o penetratori di dimensioni diverse. Infatti, è possibile solo confrontare prove eseguite con parametri diversi solamente quando il rapporto d / D risulti pressoché uguale.

2.3 Scala Vickers

Il metodo Vickers è strettamente derivato dal metodo Brinell ed utilizza per l'esecuzione della misura la stessa definizione di rapporto tra forza applicata ed area della superficie totale dell'impronta. Esso fu introdotto per superare i limiti del metodo Brinell alle durezze

¹ originariamente si stabiliva la forza di carico P in kilogrammi-forza perciò il termine numerico al denominatore rappresenta il passaggio ai newton attraverso il valore dell'accelerazione di gravità standard.

elevate. Infatti, in questo tipo di misurazione si utilizza un penetratore di diamante avente la forma di piramide rovesciata a base quadrata.

La scelta della forma del penetratore, ideato da Smith e Sandlund (1922), è dettata dalla facilità con la quale può essere ottenuta con la lavorazione di un diamante, contrariamente alla forma cono-sferica del penetratore Rockwell in seguito descritto.

Inoltre i rapporti di forma dell'impronta non cambiano al variare delle sue dimensioni.

Per ottenere una scala comparabile a quella Brinell, l'angolo al vertice del penetratore fu scelto di 136° , uguale quindi a quello formato dalle tangenti ad una calotta sferica rappresentante un'impronta Brinell di dimensioni medie.

**Tabella 1. Scale normalizzate di durezza Brinell:
Tipi di classificazione, diametri della sfera, rapporti diametro/forza e forza di prova
(norma ISO 6506.)**

Simbolo durezza	Diametro del penetratore a sfera <i>D/mm</i>	Rapporto forza/diametro $0,13 \times F/D^2$	Valore nominale della forza di prova /N
HBW 10/3000	10	30	29420
HBW 10/1500	10	15	14710
HBW 10/1000	10	10	9807
HBW 10/500	10	5	4903
HBW 10/250	10	2,5	2452
HBW 10/100	10	1	980,7
HHBW 5/750	5	30	7355
HBW 5/250	5	10	2452
HBW 5/125	5	5	1226
HBW 5/62,5	5	2,5	612,9
HBW 5/25	5	1	245,2
HBW 2,5/187,5	2,5	30	1839
HBW 2,5/62,5	2,5	10	612,9
HBW 2,5/31,25	2,5	5	306,5
HBW 2,5/15,625	2,5	2,5	153,2
HBW 2,5/6,25	2,5	1	61,29
HBW 1/30	1	30	294,2
HBW 1/10	1	10	98,07
HBW 1/5	1	5	49,03
HBW 1/2,5	1	2,5	24,52
HBW 1/1	1	1	9,807

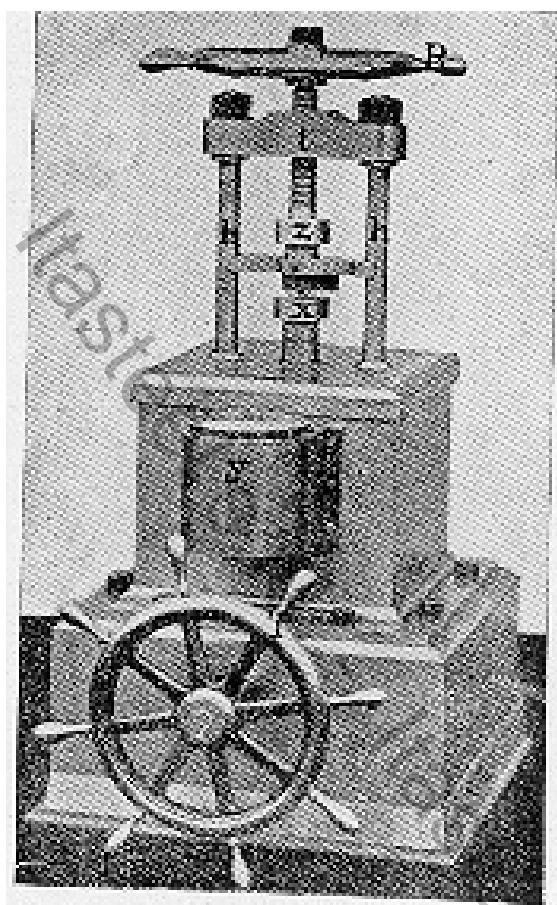


Figura 2. Apparecchio per la determinazione della durezza progettato da Brinell stesso.

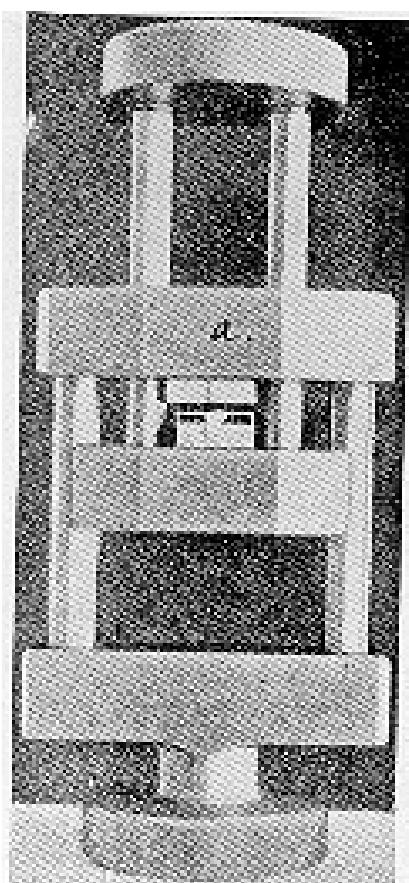


Figura 3. Dispositivo di Brinell per la prova di durezza da applicarsi alle macchine di trazione.

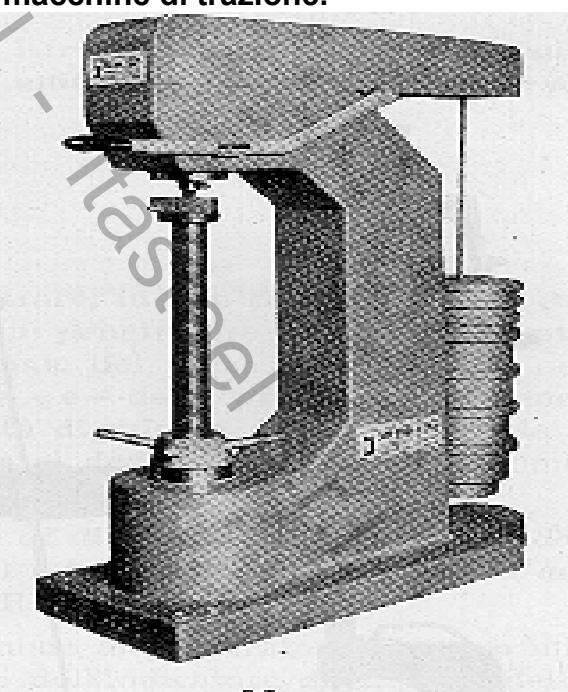
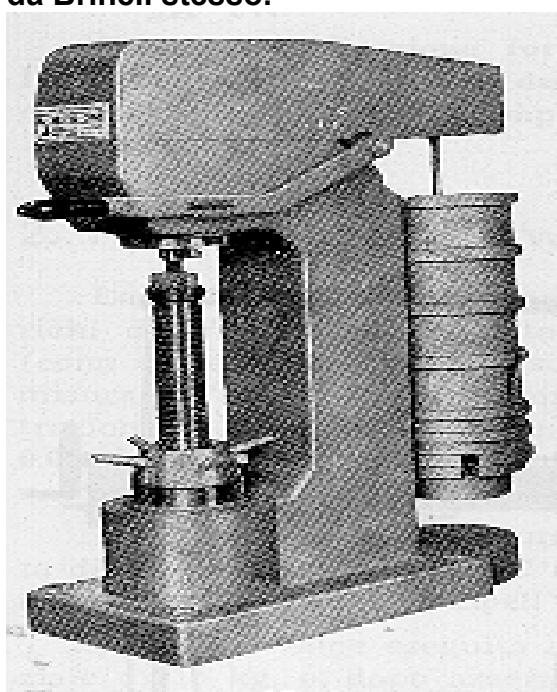


Figura 4. Apparecchi a leva per prove di durezza secondo il metodo Brinell

La procedura operativa per la prova consiste nel comprimere un penetratore di diamante di forma piramidale con una forza nota contro la superficie del materiale in prova per un tempo determinato (con un apparecchio del tipo di Figura 5), e successivamente misurare le due diagonali dell'impronta dovuta alla deformazione plastica del materiale e calcolare la durezza Vickers HV nel modo seguente (Figura 6):

$$HV = \frac{F}{9,80665xS} = \frac{F \sin 136^\circ / 2}{9,80665xd^2 / 2} = \frac{1}{9,80665} \cdot \frac{2F \sin 68^\circ}{d^2} = 0,189 \cdot \frac{F}{d^2}$$

F = forza normale alle superfici del penetratore in newton

S = area della superficie dell'impronta in millimetri² ($d^2/2$)

d = diagonale media dell'impronta in millimetri ($d_1 + d_2)/2$)

Per le varie tipologie normalizzate di durezza Vickers vedasi Tabella 2.

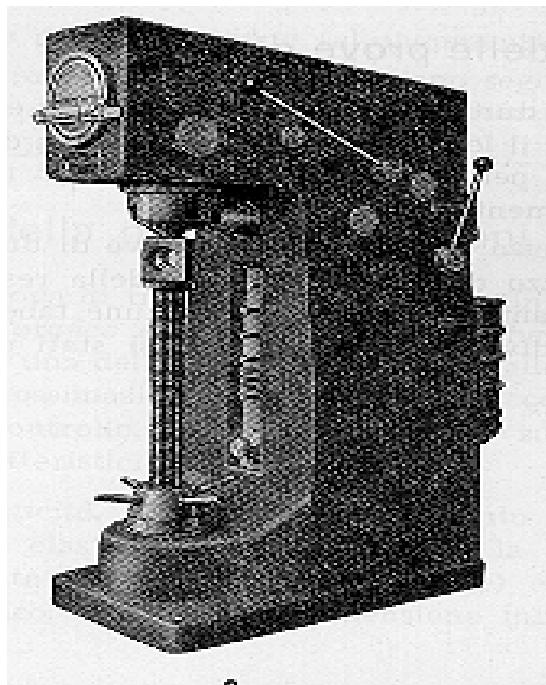


Figura 5. Apparecchio a leva per durezza secondo il metodo Vickers

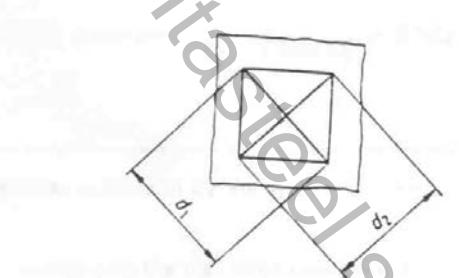
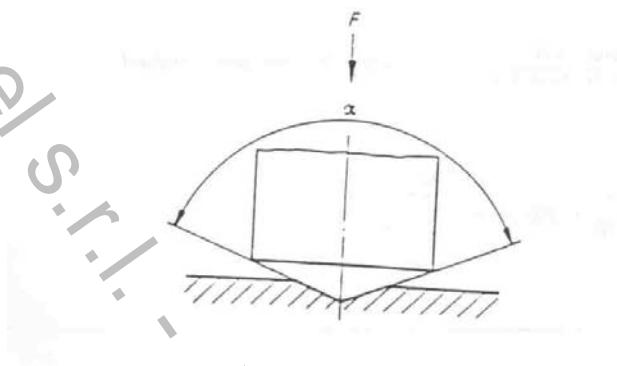


Figura 6. Principio di misura prove di durezza Vickers.

**Tabella 2. Scale normalizzate di durezza Vickers:
Tipi di classificazione e forze nominali per prove normali e speciali di micro-durezza
(norma ISO 6507)**

Prova di durezza¹		Prove di durezza di bassa forza		Prove di micro-durezza²	
Simbolo della durezza	Valore nominale della forza di prova <i>F/N</i>	Simbolo della durezza	Valore nominale della forza di prova <i>F/N</i>	Simbolo della durezza	Valore nominale della forza di prova <i>F/N</i>
HV 5	49,03	HV 0,2	1,961	HV 0,01	0,09807
HV 10	98,07	HV 0,3	2,942	HV 0,015	0,1471
HV 20	196,1	HV 0,5	4,903	HV 0,02	0,1961
HV 30	294,2	HV 1	9,807	HV 0,025	0,2452
HV 50	490,3	HV 2	19,61	HV 0,05	0,4903
HV 100	980,7	HV 3	29,42	HV 0,1	0,9807

¹ Possono essere applicate forze di prova nominali > 980,7 N

² Sono raccomandate forze di prova per prove di micro-durezza

Vantaggi: l'inclinazione delle facce è costante; si usano anche forze di carico piccole per ottenere valori di durezza del materiale in zone ravvicinate, buona accuratezza di misura. La scala è unica per tutti i materiali.

Svantaggi: prova costosa che richiede un notevole intervallo di tempo in quanto la lettura delle impronte si può fare solo al microscopio.

2.4 Scala Rockwell

Rockwell introdusse la sua scala di durezza nel 1920 per superare alcuni limiti delle scale Brinell e Vickers, ma soprattutto per aumentare la velocità delle prove.

Accanto ai notevoli vantaggi pratici, che portarono alla massima diffusione della scala Rockwell tra le scale di durezza, fa riscontro, purtroppo, una perdita delle caratteristiche metrologiche che invece erano osservate correttamente da Brinell e successivamente migliorate da Vickers.

Le differenze sostanziali rispetto ai metodi Brinell e Vickers sono essenzialmente due:

- nella misura della profondità di penetrazione eseguita direttamente dalla macchina durante l'esecuzione della prova anziché del diametro dell'impronta eseguita successivamente da parte dell'operatore (e quindi affetta da errori soggettivi);
- nell'uso di un penetratore di diamante per la misura su materiali più duri per evitare gli effetti dovuti alla deformazione del penetratore.

La procedura operativa per la prova consiste nell'applicare una forza iniziale nota al penetratore (a sfera o a cono di diamante) per assestarlo sulla superficie del pezzo in prova e stabilire il livello iniziale del penetratore o livello di zero di riferimento che non risulta quindi influenzato dallo stato della superficie del pezzo (per esempio con un apparecchio del tipo illustrato in Figura 7). Successivamente si applica al penetratore una forza addizionale nota per un definito intervallo di tempo e la si rimuove per eliminare la deformazione elastica ad essa dovuta. Infine si misura la posizione finale del penetratore per determinare la profondità dell'impronta e calcolare i vari numeri di durezza Rockwell nel modo seguente:

$HRB = 130 - h/0,002$ per il penetratore a sfera

$HRC = 100 - h/0,002$ per il penetratore a cono, dove h è la penetrazione del penetratore a sfera o a cono nel materiale in prova espressa in millimetri. Per le diverse tipologie normalizzate di durezza Rockwell vedasi Tabella3.

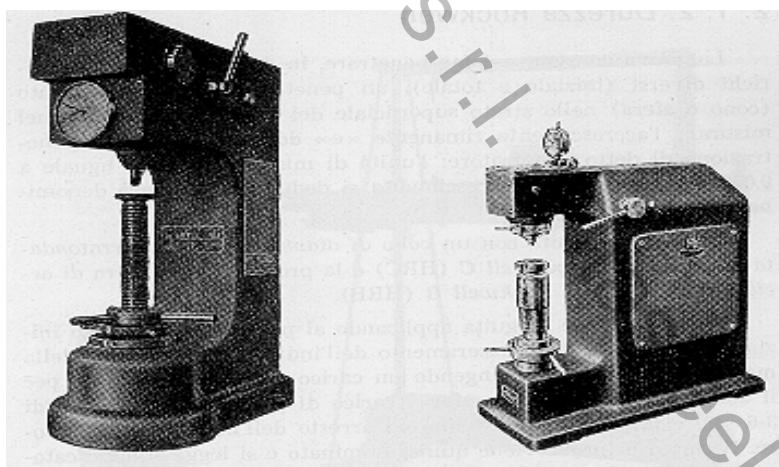


Figura 7. Apparecchi a leva per prove di durezza secondo il metodo Rockwell

Tabella 3. Scale normalizzate di durezza Rockwell:
Tipi di classificazione e di penetratori con forza di precarico e di carico addizionale
ed il tipico campo di applicazione (norma ISO 6508)

Scala di durezza Rockwell	Simbolo della durezza ¹	Tipo di penetratore /mm	Forza per la prova preliminare F_0 /N	Forza per prova addizionale F_1 /N	Forza totale di prova F/N	Campo di applicazione
A	HRA	Cono di diamante	98,07	490,3	588,4	Da 20 HRA a 88 HRA
B	HRB	Sfera 1,5875 mm	98,07	882,6	980,7	Da 20 HRB a 100 HRB
C	HRC	Cono di diamante	98,07	1373	1471	Da 20 HRC a 70 HRC
D	HRD	Cono di diamante	98,07	882,6	980,7	Da 40 HRD a 77 HRD
E	HRE	Sfera 3,175 mm	98,07	882,6	980,7	Da 70 HRE a 100 HRE
F	HRF	Sfera 1,5875 mm	98,07	490,3	588,4	Da 60 HRF a 100 HRF
G	HRG	Sfera 1,5875 mm	98,07	1373	1471	Da 30 HRG a 94 HRG
H	HRH	Sfera 3,175 mm	98,07	490,3	588,4	Da 80 HRH a 100 HRH
K	HRK	Sfera 3,175 mm	98,07	1373	1471	Da 40 HRK a 100 HRK
15 N	HR15n	Cono di diamante	29,42	117,5	147,1	Da 70 HR15N a 94 HR15N
30 N	HR30N	Cono di diamante	29,42	264,8	294,2	Da 42 HR30N a 86 HR30N
45 N	HR45N	Cono di diamante	29,42	411,9	441,3	Da 20 HR45N a 77 HR45N
15 T	HR15T	Sfera 1,5875 mm	29,42	117,7	147,1	Da 67 HR15T a 93 HR15T
30 T	HR30T	Sfera 1,5875 mm	29,42	264,8	294,2	Da 29 HR30T a 82 HR30T
45 T	HR45T	Sfera 1,5875 mm	29,42	411,9	441,3	Da 10 HR45T a 72 HR45T

¹ per le scale che usano il penetratore sferico il simbolo della durezza deve essere completato con "S" se si fa uso di una sfera di acciaio, con "W" se si usa una sfera di metallo duro.

NOTA: I diversi numeri di durezza Rockwell in funzione della classificazione prevista in tabella sono così determinabili:
- $HR = 100 - h / 0,002$ per i tipi A, C, D; $-HR = 130 - h / 0,002$ per i tipi B, E, F, G, H, K; $-HR = 100 - h / 0,001$ per i tipi N, T, dove h è l'altezza dell'impronta in millimetri.

La tabella 4 fornisce invece, per i materiali ferrosi comuni non legati oppure debolmente legati, la conversione approssimata tra le seguenti caratteristiche meccaniche: Carico di rottura; Durezza Vickers; Durezza Brinell; Durezza Rockwell. Quest'ultima nelle sue classificazioni più comuni.

Vantaggi e svantaggi prova veloce, infatti è molto usata in campo industriale tra gli svantaggi va notato che è una misura di durezza puramente convenzionale. L'unità di misura è rappresentata dai punti della scala utilizzata (HRC per la scala Rockwell, HV per la Vickers, HB per la Brinell, ecc.) I valori di durezza ottenuti con le diverse scale non si

Tabella 4. Conversione approssimata tra le principali caratteristiche meccaniche dei materiali ferrosi comuni: carico di rottura (N/mm²), durezza Vickers (HV 10), durezza Brinell (HB) e durezza Rockwell (HR) nelle sue varie classificazioni (norma ISO 18265)

Forza di carico N/mm ²	Durezza Vickers HV10	Durezza Brinell		Durezza Rockwell					
		HB	HRB	HRF	HRC	HRA	HRD	HR15N	HR30N
255	80	76,0							
270	85	80,7	41,0						
285	90	85,5	48,0	82,6					
305	95	90,2	52,0						
320	100	95,0	56,2	87,0					
335	105	99,8							
350	110	105	62,3	90,5					
370	115	109							
385	120	114	66,7	93,6					
400	125	119							
415	130	124	71,2	96,4					
430	135	128							
450	140	133	75,0	99,0					
465	145	138							
480	150	143	78,7	101,4					
495	155	147							
510	160	152	81,7	103,6					
530	165	156							
545	170	162	81,5	105,5					
560	175	166							
575	180	171	87,1	107,2					
595	185	176							
610	190	181	89,5	108,7					
625	195	185							
640	200	190	91,5	110,1					
660	205	195	92,5						
675	210	199	93,5	111,3					
690	215	204	94,0						
705	220	209	95,0	102,4					
720	225	214	96,0						
740	230	219	96,7	113,4					
755	235	223							
770	240	228	98,1	114,3	20,3	60,7	40,3	69,6	41,7
785	245	233			21,3	61,2	41,1	70,1	42,5
800	250	238	99,5	115,1	22,2	61,6	41,7	70,6	43,4
820	255	242			23,1	61,0	42,2	71,1	44,2
835	260	247	(101)		24,0	62,4	43,1	71,6	45,0
850	265	252			24,8	62,7	43,7	72,1	45,7
865	270	257	(102)		25,6	63,1	44,3	72,6	46,4
880	275	261			26,4	63,5	44,9	73,0	47,2
900	280	266	(104)		27,1	63,8	45,3	73,4	47,8
915	285	271			27,8	64,2	46,0	73,8	48,4
930	290	276	(105)		28,5	64,5	46,5	74,2	49,0
950	295	280			29,2	64,8	47,1	74,6	49,7
965	300	285			29,8	65,2	47,5	74,9	50,2
995	310	295			31,0	65,8	48,4	75,6	51,3
1030	320	304			32,2	66,4	49,4	76,2	52,3
1060	330	314			33,3	67,0	50,2	76,8	53,6
1095	340	323			34,4	67,6	51,1	77,4	54,4
1125	350	333			35,5	68,1	51,9	78,0	55,4
									37,8

Tabella 4 segue. Conversione approssimata tra le principali caratteristiche meccaniche dei materiali ferrosi comuni

Forza di carico N/mm ²	Durezza Vickers	Durezza Brinell		Durezza Rockwell							
		HV10	HB	HRB	HRF	HRC	HRA	HRD	HR15N	HR30N	HR45N
1155	360	342				36,6	68,7	52,8	78,6	56,4	39,1
1190	370	352				37,7	69,2	53,6	79,2	57,4	44,1
1220	380	361				38,8	69,8	54,4	79,8	58,4	41,7
1255	390	371				39,8	70,3	55,3	80,3	59,3	42,9
1290	400	380				40,8	70,8	56,0	80,8	60,2	44,1
1320	410	390				41,8	71,4	56,8	81,4	61,1	45,3
1350	420	399				42,7	71,8	57,5	81,8	61,9	46,4
1385	430	409				43,6	72,3	58,2	82,3	62,7	47,4
1420	440	418				44,5	72,8	58,8	82,8	63,5	48,4
1455	450	428				45,3	73,3	59,4	83,2	64,3	49,4
1485	460	437				46,1	73,6	60,1	83,6	64,9	50,4
1520	470	447				46,9	74,1	60,7	83,9	65,7	51,3
1555	480	456				47,7	74,5	61,3	84,3	66,4	52,2
1595	490	466				48,4	74,9	61,6	84,7	67,1	53,1
1630	500	475				49,1	75,3	62,2	85,0	67,7	53,9
1665	510	485				49,8	75,7	62,9	85,4	68,3	54,7
1700	520	494				50,5	76,1	63,5	85,7	69,0	55,6
1740	530	504				51,1	76,4	63,9	86,0	69,5	56,2
1775	540	513				51,7	76,7	64,4	86,3	70,0	57,0
1810	550	523				52,3	77,0	64,8	86,6	70,5	57,8
1845	560	532				53,0	77,4	65,4	86,9	71,2	58,6
1880	570	542				53,6	77,8	65,8	87,2	71,7	59,3
1920	580	551				54,1	78,0	66,2	87,5	72,1	59,9
1955	590	561				54,7	78,4	66,7	87,8	72,7	60,5
1995	600	570				55,2	78,6	67,0	88,0	73,2	61,2
2030	610	580				55,7	78,9	67,5	88,2	73,7	61,7
2070	620	589				56,3	79,2	67,9	88,5	74,2	62,4
2105	630	599				56,8	79,5	68,3	88,8	74,6	63,0
2145	640	608				57,3	79,8	68,7	89,0	75,1	63,5
2180	650	618				57,8	80,0	69,0	89,2	75,5	64,1
	660					58,3	80,3	69,4	89,5	75,9	64,7
	670					58,8	80,6	69,8	89,7	76,4	65,3
	680					59,2	80,8	70,1	89,8	76,8	65,7
	690					59,7	81,1	70,5	90,1	77,2	66,2
	700					60,1	81,3	70,8	90,3	77,6	66,7
	720					61,0	81,8	71,5	90,7	78,4	67,7
	740					61,8	82,2	72,1	91,0	79,1	68,6
	760					62,5	82,6	72,6	91,2	79,7	69,4
	780					63,3	83,0	73,3	91,5	80,4	70,2
	800					64,0	83,4	73,8	91,8	81,1	71,0
	820					64,7	83,6	74,3	92,1	81,7	71,8
	840					65,3	84,1	74,8	92,3	82,2	72,2
	860					65,9	84,4	75,3	92,5	82,7	73,1
	880					66,4	84,7	75,7	92,7	83,1	73,6
	900					67,0	85,0	76,1	92,9	83,6	74,2
	920					67,5	85,3	76,5	93,0	84,0	74,8
	940					68,0	85,6	76,9	93,2	84,4	75,4

I valori di durezza Brinell fino a 450 HB sono stati determinati usando come penetratore una sfera di acciaio, i valori al di sopra sono stati determinati con una sfera di metallo duro.

Nota: i valori in parentesi sono quelli che stanno al di fuori dell'intervallo definito con il metodo standard ma che possono essere usati come stime

possono confrontare perché utilizzano unità di misura diverse. Confronti empirici possono essere effettuati ma con molta attenzione (ad es. materiali simili, dimensione di impronte simili, ecc.) (vedi norma ISO 18265)

2.5 Scala Knoop

Questa scala utilizzano un penetratore ideato nel 1939 da Knoop (ovvero di F. Knoop, C. G. Peters, W. B. Emerson) che è particolarmente adatto per prove superficiali sia su materiali duri, sia su materiali fragili come vetro, ceramiche, carburi, cristalli, ecc.

Questo penetratore è costituito da una piramide di diamante avente per base, anziché un quadrato come il penetratore Vickers, un rombo le cui diagonali sono in rapporto 1 a 7 e i cui angoli tra gli spigoli sono i seguenti (vedasi anche Figura 8):

- $\alpha = 172^\circ 30'$
- $\beta = 130^\circ 00'$

La durezza Knoop ha la stessa procedura operativa della durezza Vickers, ma il calcolo del numero di durezza è il seguente:

$$HK = \frac{F}{9,80665 \cdot S} = \frac{P}{c \cdot d^2} = \frac{F}{9,80665} \cdot \frac{1}{c \cdot d^2} = 1,45 \cdot \frac{F}{d^2}$$

F = forza nominale della prova in newton

S = area della superficie dell'impronta in millimetri²

d = diagonale maggiore dell'impronta in millimetri

c = costante numerica dipendente dalle caratteristiche geometriche del penetratore

La costante numerica è determinabile dalla relazione seguente:

$$c = \tan \beta / 2 / 2 \tan \alpha / 2 = 0,0703$$

Per le varie tipologie normalizzate di durezza Knoop vedasi Tabella 5.

**Tabella 5. Scale normalizzate di durezza Knoop
(Norma ISO 4545)**

Simbolo della durezza	Valore nominale della forza F di prova /N
HK 0,01	0,09807
HK 0,02	0,1961
HK 0,025	0,2452
HK 0,05	0,4903
HK 0,1	0,9807
HK 0,2	1,961
HK 0,3	2,942
HK 0,5	4,903
HK 1	9,807

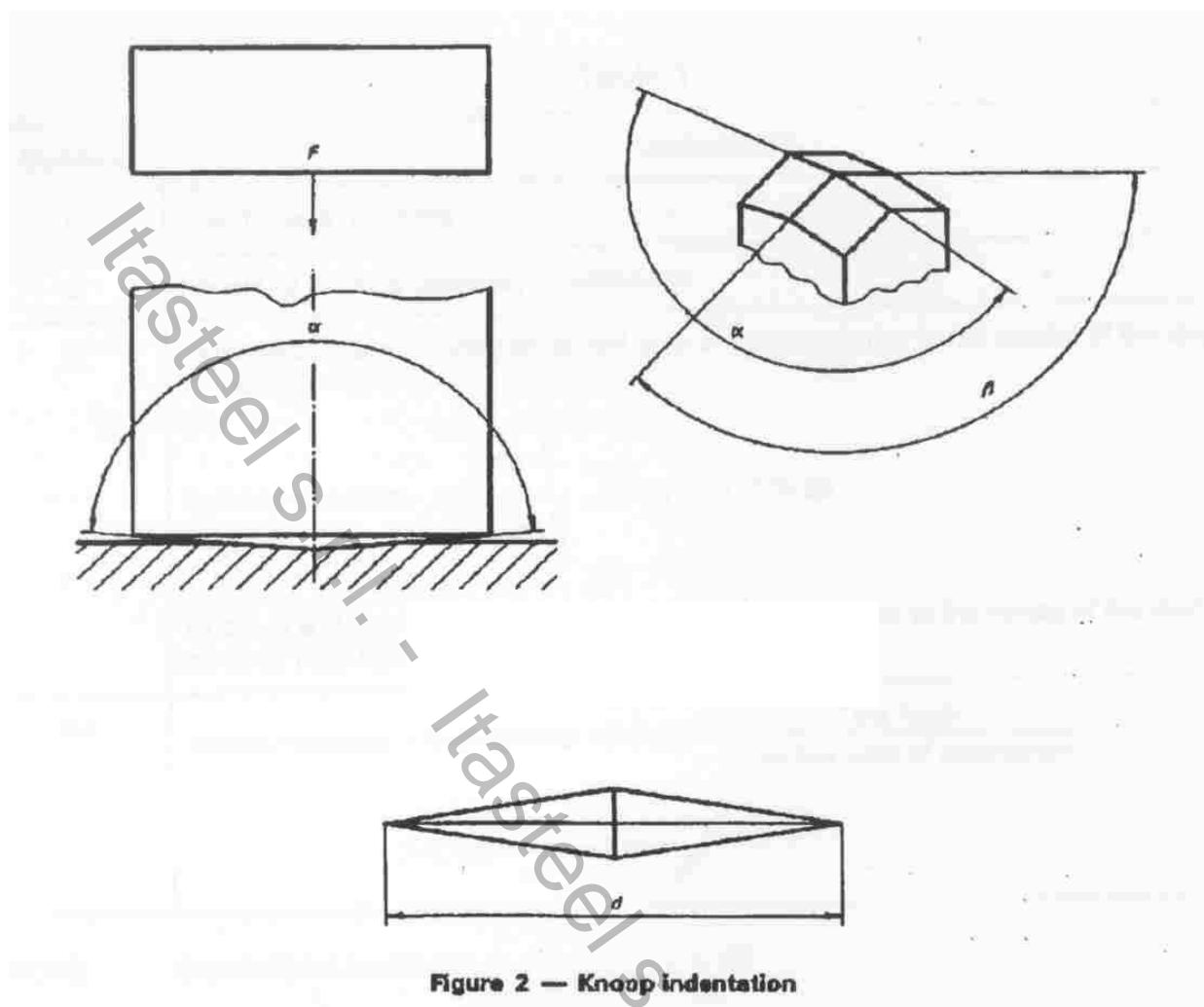


Figura 8 Principio di misura della durezza Knoop (norma ISO 4545)

Vantaggi e svantaggi: la prova Knoop fu studiata nel tentativo di migliorare l'incertezza di misura della diagonale rispetto al metodo Vickers. A parità di area (e quindi approssimativamente di durezza) misurando una diagonale più lunga, a parità di incertezza assoluta, l'incertezza relativa diminuisce. Purtroppo, dato l'angolo tra le due linee di bordo molto più acuto rispetto all'angolo retto osservato nelle impronte Vickers, l'incertezza assoluta di misura aumenta, mentre quella relativa rimane pressoché costante se non peggiore. Altro svantaggio consistono nell'influenza che questa misura risente nell'orientamento della diagonale principale (di misura) rispetto alla disposizione delle fibre nel materiale in prova e nella possibilità di frattura del materiale vicino al vertice più acuto dell'impronta.

2.6 Scala Ludwick

Questa scala, sebbene in disuso, va ricordata perché rappresenta il primo tentativo effettuato nel 1907 di ovviare agli inconvenienti presentati dalla prova Brinell, così come poi realizzato dal metodo proposto da Vickers.

Il numero di durezza Ludwick è il rapporto tra il carico applicato e l'area della superficie conica dell'impronta lasciata sulla superficie di un corpo da un penetratore a forma di cono circolare retto con apertura di 90°, ossia:

$$H = \frac{F}{8,90665 \cdot S} = \frac{4F \sin 45^\circ}{8,90665 \cdot \pi d^2} \approx 0,900 \frac{F}{9,80665 \cdot d^2}$$

dove: F = forza di prova in newton

S = area della superficie dell'impronta in millimetri²

d = diametro dell'impronta conica in millimetri

La durezza Ludwick ha avuto poco successo perché i valori così trovati si scostavano da quelli ottenuti col metodo Brinell a causa dell'errata scelta dell'angolo di apertura del cono (problematiche superate dal penetratore Vickers).

2.7 Scala Shore

Come si è detto è una scala usata per la misura della durezza su elastomeri e gomme. Essa (così come altre scale utilizzate nello stesso settore applicativo, su materiali non metallici) è ancora in fase di definitivo consolidamento e non è attualmente mantenuta in nessun Istituto Metrologico Nazionale.

Pertanto in questo momento la riferibilità è data solo sulla taratura dei durometri di prova eseguita esclusivamente col metodo diretto, ovvero, mediante verifica dei parametri di influenza quali:

- forza di prova;
- scala di penetrazione;
- forma del penetratore.

La norma internazionale ISO 868 può, comunque, rappresentare un valido riferimento per le prove su materie plastiche ed elastomeri; questa norma è stata recepita a livello europeo e tradotta in italiano dall'UNI. Essa prescrive le condizioni di prova e la metodologia di esecuzione per la durezza Shore.

3. I campioni per le misurazioni di durezza

Nel campo delle misure di durezza è utilizzata un'ampia varietà di metodi e di attrezzature che possono differire secondo il materiale in prova. Così come per qualsiasi grandezza

misurata, una misura di durezza è utile soltanto quando i risultati ottenuti in luoghi differenti sono compatibili dentro ad un determinato intervallo d'incertezza di misura.

Un valore di durezza è il risultato una misurazione realizzata su di un pezzo di materiale in prova sotto specifiche condizioni (procedure), normalmente basate su accordi convenzionali (normative). La determinazione della durezza è essenzialmente realizzata in due momenti:

1. esperimento o prova effettuati nelle condizioni prescritte per produrre un'impronta,
2. determinazione della dimensione caratteristica della penetrazione (diametro medio, diagonale media o profondità dell'impronta).

All'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica sono stati progettati e costruiti tutti gli strumenti necessari per la realizzazione delle principali scale di durezza ed i suoi laboratori dispongono attualmente dei seguenti durometri campione:

- un durometro campione universale che realizza le scale seguenti (Figura 9):
 - tutte le scale Rockwell
 - le scale Brinell fino alla HB187,5
 - le scale Vickers (da HV5 a HV100)
- un micro-durometro che realizza le scale seguenti (Figura 10):
 - le micro scale Brinell
 - le micro scale Vickers da HV0,2 a HV3.

Sono stati sviluppati anche strumenti per il controllo dimensionale dei penetratori e per la misura automatica delle impronte Vickers e micro-Vickers. I metodi utilizzati sono principalmente basati sull'analisi di immagini microscopiche e/o interferometriche con algoritmi sviluppati ad-hoc per ottenere la miglior riproducibilità di misura possibile e l'assoluta ininfluenza dall'operatore..

Va notato che vi è un continuo studio dei parametri che influenzano le misure di durezza con il fine di sempre meglio conoscere il processo e meglio adeguare le normative e superare le criticità dovute alle richieste industriali di diminuzione dei tempi di prova, ma, nel frattempo, garantire scale di durezza metrologicamente corrette.

Difatti, nei vari sistemi di qualità aziendali la misurazione della durezza dei materiali è sempre più richiesta come controllo della qualità della produzione ed è, pertanto, richiesto di ridurre il più possibile il tempo di esecuzione della prova.



Figura 9. Durometro campione a pesi diretti sviluppato all'IMGC (ora I.N.R.I.M.)

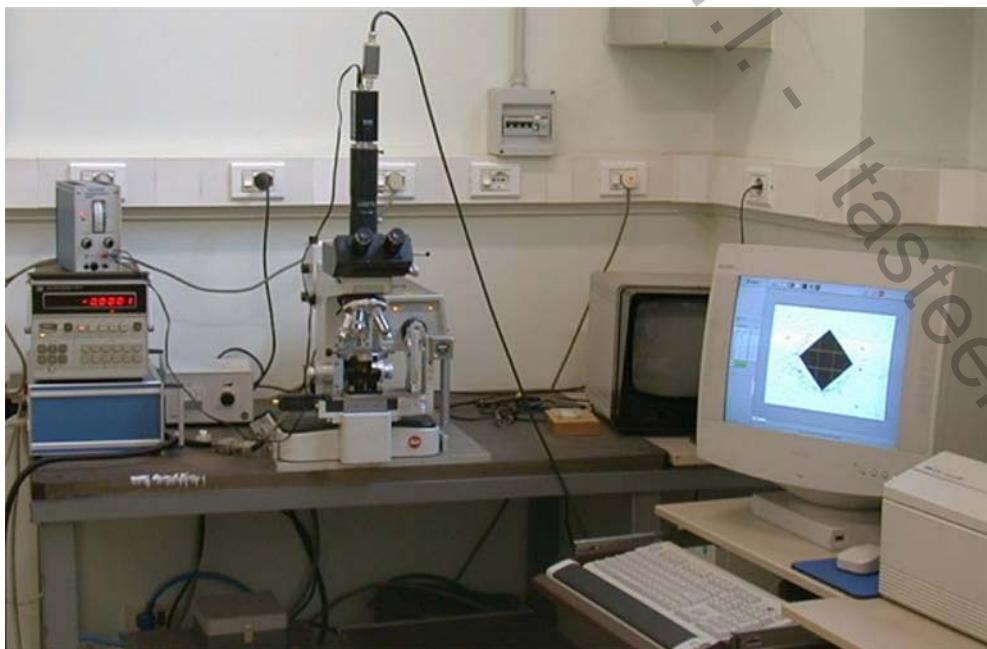


Figura 10. Micro-durometro campione sviluppato all'IMGC (ora I.N.R.I.M.)

Ciò si scontra con le esigenze metrologiche che richiedono di eseguire le misure nelle condizioni più stabili possibili, e quindi con tempi relativamente lunghi: occorre trovare, già a livello di norma, un ragionevole compromesso.

4. Quadro normativo

4.1 Considerazioni generali

La metodologia delle prove di durezza e della taratura delle relative macchine rappresenta un tema incandescente perché si tratta di stabilire le prescrizioni che regolano le prove stesse, il controllo, la taratura e la gestione delle macchine per eseguire le prove di durezza. Da una parte l'industria che lavora la materia prima (produce il pezzo di materiale) ha la necessità di diminuire l'incertezza da associare alle misure di durezza, dall'altra l'industria siderurgica primaria e secondaria tende ad aumentare le tolleranze (limiti di variabilità) dei singoli parametri.

Esempio evidente è la diminuzione dei tempi di permanenza delle forze di carico e precarico con il mantenimento delle medesime tolleranze (il rapporto tra valore nominale e la tolleranza diminuisce), il che comporta una maggiore dispersione dei risultati di prova mentre altri fattori che influiscono sulla prova di durezza, ad esempio la velocità di applicazione del carico, sono quasi completamente trascurati.

Si è detto che la durezza è una grandezza “convenzionale” definita da più grandezze:

- lunghezza
- forza
- tempo ed è nello stesso tempo influenzata da altri parametri (Figura 11).

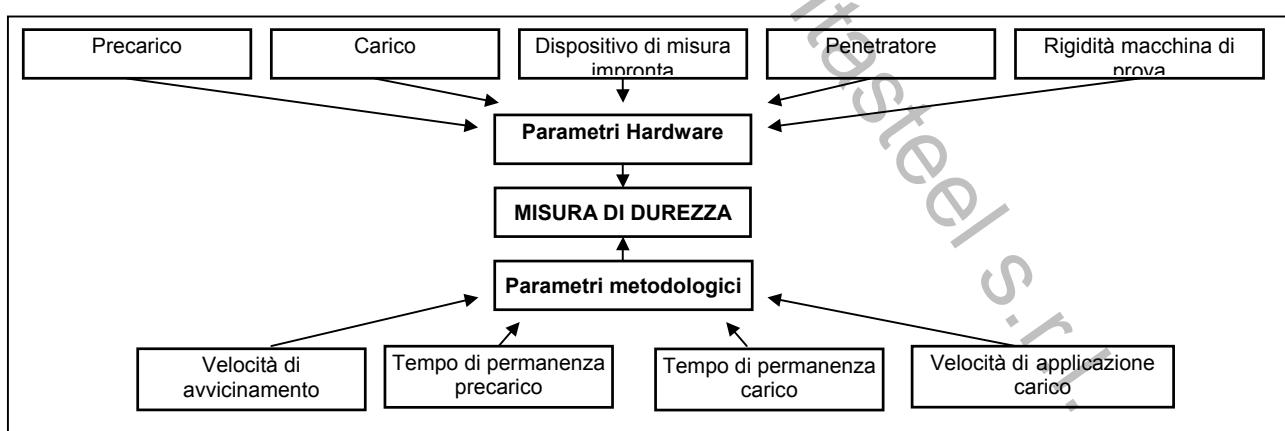


Figura 11. Parametri che influenzano la prova di durezza.

Difatti, se si analizza attentamente una prova di durezza, è evidente quanto questa misura sia influenzabile dai vari fattori e quanto sia difficile considerare tutti i parametri che la possono influenzare e mantenerli sotto controllo.

Per questo gli enti normatori internazionali, europei e nazionali (ISO; EN; UNI) nel settore meccanico stanno compiendo un notevole lavoro per la standardizzazione dei metodi per l'esecuzione delle prove di durezza.

In Tabella 6 è riportata l'attuale situazione normativa ricordando che i documenti di pubblicazione più recente sono le norme ISO, e gli enti normatori europei (CEN) e nazionali (UNI) si stanno limitando semplicemente a recepire le norme ISO così come sono state prodotte.

Tabella 6. Quadro normativo relativo alle principali prove di durezza su materiali metallici

Argomento	Durezze Brinell	Durezze Vickers	Durezze Rockwell
Metodo di prova	ISO 6506-1 UNI EN ISO 6506-1	ISO 6507-1 UNI EN ISO 6507-1	ISO 6508-1 UNI EN ISO 6508-1
Procedura di taratura macchina di prova	ISO 6506-2 UNI EN ISO 6506-2	ISO 6507-2 UNI EN ISO 6507-2	ISO 6508-2 UNI EN ISO 6508-2
Procedura di taratura blocchi di riferimento	ISO 6506-3 UNI EN ISO 6506-3	ISO 6507-3 UNI EN ISO 6507-3	ISO 6508-3 UNI EN ISO 6508-3

4.2 Struttura delle norme di riferimento internazionali

Le norme previste per ogni scala di durezza sono così articolate:

- Parte 1: definizione del metodo di prova;
- Parte 2: metodologia per la taratura delle macchine di prova;
- Parte 3: procedura di taratura dei blocchi di riferimento per la verifica indiretta delle macchine di prova.

La parte 3, inoltre, stabilisce anche le caratteristiche che devono possedere le macchine da utilizzare per la taratura dei blocchi di riferimento.

Come indicato in precedenza, non tutti i parametri che influenzano la prova di durezza sono previsti dalle norme di riferimento e quindi se ne deve tenere conto nel calcolo dell'incertezza. È risultato evidente nella fase di revisione delle norme la tendenza ad eliminare i controlli su alcuni parametri o ad aumentare le tolleranze, a causa della scarsa presenza della componente dell'industria manifatturiera in seno alle commissioni di studio e di revisione delle norme.

Nelle norme riguardanti il metodo di prova sono solitamente descritti:

- il principio su cui si basa la prova di durezza eseguita;
- la metodologia di prova con riferimento ai tempi per l'applicazione e permanenza dei carichi;
- le qualità che deve presentare il provino sia come dimensioni, sia come stato superficiale ed i vari accorgimenti da seguire al fine di non inficiare le misure;
- le modalità di valutazione dell'impronta e le caratteristiche delle macchine di prova, mediante richiami alle norme relative alla taratura delle macchine.

Nelle norme che riguardano la taratura delle macchine di prova sono presi in esame due metodi:

- diretto
- indiretto

e sono definite le relative procedure da applicare per i due diversi metodi.

Infine, viene descritta la procedura di taratura dei blocchi di riferimento per la verifica indiretta delle macchine per prove di durezza, che deve essere eseguita con macchine aventi caratteristiche metrologiche migliori dei durometri per uso industriale.

Le norme relative alla taratura dei blocchi di riferimento definiscono anche la metodologia di esecuzione delle misure e le caratteristiche dimensionali che devono avere i blocchi di riferimento.

5. Incertezza di misura delle macchine campione nazionali

Le scale di durezza nazionali che descrivono la misura della durezza nel modo seguente: "la misura di durezza è ottenuta misurando la dimensione dell'impronta lasciata dal penetratore applicato alla superficie del materiale, con forza, durata e velocità dell'applicazione fissate dalla normativa internazionale" secondo il Decreto Ministeriale 591 del 30.11.93, sono realizzate, come si è accennato nel paragrafo 3, tramite opportuni durometri campioni primari nazionali aventi le caratteristiche seguenti:

- la forza è generata mediante masse tarate soggette all'accelerazione di gravità locale.
- la misurazione della dimensione dell'impronta è effettuata tramite interferometro laser.
- il tempo di prova è riferibile ai campioni nazionali e internazionali del SI.

Pertanto, le incertezze raggiungibili a livello nazionale dall'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica, sono le seguenti:

SCALA	INCERTEZZA
• Scale Brinell (penetratore a sfera)	$5 \cdot 10^{-3}$
• Scale Rockwell (penetratore a sfera)	0,3 punti durezza
• Scale Rockwell (penetratore a cono di diamante)	0,2 punti durezza
• Scale Vickers (penetratore a piramide di diamante)	$5 \cdot 10^{-3}$
• Scale micro Vickers (penetratore a piramide di diamante)	$0,2/d + 5 \cdot 10^{-3}$ (d è la diagonale dell'impronta in micrometri)

5.1 Parametri che influenzano l'incertezza delle misure di durezza

La misura della durezza può spesso, giustamente, essere considerata non distruttiva poiché la parte esaminata è ancora in seguito utilizzabile. Tuttavia, la distruzione nel punto reale della prova rende impossibile verificare il contributo all'incertezza dovuto alla ripetibilità delle misure mediante la ripetizione della misurazione proprio in quel punto. E', quindi, importante che ogni singola misura sia realizzata con un alto grado di attenzione .

La tabella 7 elenca i più significativi parametri che influenzano l'incertezza delle misure di durezza. Essi sono divisi in quattro gruppi principali:

1. Campione in prova
2. Durometro
3. Condizioni ambientali

4. Operatore

Naturalmente questi contributi non influiscono necessariamente tutti nello stesso tempo o ad ogni livello della catena metrologica sintetizzata nella figura 12.

5.1.1. Materiale del pezzo in prova

Dalla tabella 7 si può vedere che il pezzo del materiale in prova genera un importante insieme di fonti d'incertezza e quindi di contributi possibili alla valutazione globale dell'incertezza.

Per esempio, lo *spessore del campione* può essere un fattore critico per la selezione del metodo di prova; risultati significativamente errati si possono avere se si adotta un metodo non adeguato allo spessore del provino disponibile.

Materiale troppo sottile può essere più duro nel tempo a causa dell'effetto di deformazione e conseguente indurimento della superficie.

Se il materiale è troppo sottile per sostenere la forza di prova durante la misura, il penetratore stesso può essere danneggiato riducendo così l'affidabilità di una nuova misura realizzata con quel penetratore .

La *qualità della superficie del pezzo in prova* può anche influenzare considerevolmente i risultati della misura di durezza. Una superficie più ruvida richiederebbe una maggiore e/o un penetratore di dimensioni maggiori per ottenere una profondità di penetrazione maggiore; il metodo Brinell può quindi essere il più vantaggioso poiché è meno influenzato da una superficie ruvida, rispetto a metodo Rockwell o Vickers e Micro-Vickers. Sebbene le misure Brinell siano più tolleranti sulla finitura della superficie, ci sono limiti alla rugosità di superficie ammissibile anche per questo metodo. In generale, l'uniformità della finitura superficiale è importante per ottenere risultati corretti e riproducibili.

Oltre alla finitura superficiale, la pulizia della superficie è egualmente critica per una misura corretta e riproducibile della durezza. Una superficie sporca di grasso, o con presenza di ossidi o di polvere, può dare luogo a variazioni considerevoli dei risultati delle misurazioni. Inoltre, il materiale del pezzo in prova o del blocchetto di riferimento può persino essere irreversibilmente danneggiato dalla prova stessa.

Tabella 7. Parametri che influenzano le misure di durezza.

Fattori d'influenza	Fonte d'incertezza	Commenti	Parametri considerati per il calcolo
1. Pezzo di materiale in prova	- Spessore del pezzo in prova troppo piccolo - Supporto del pezzo in prova instabile - Struttura del grano troppo grande - Scarsa rifinitura della superficie di prova - Disomogeneità della superficie - Superficie sporca	Rilevante solo se non si è scelto in modo opportuno il metodo di prova.	
2. Durometri a) Telaio	Attrito Deformazione elastica Disallineamento del supporto del penetratore	Rilevante solo per Rockwell	Profondità di penetrazione h
b1) Sistema di misura della penetrazione	Errore d'indicazione Risoluzione insufficiente Non linearità Isteresi	Rilevante solo per Brinell, Vickers, Knoop	
b2) Sistemi ottici di misura	Apertura numerica degli obiettivi Illuminazione non omogenea dell'impronta		Scarto di valore di forza nominale F_0, F
c) meccanismo di applicazione della forza	Scarto dal valore di forza nominale Scostamento dagli intervalli di tempo del ciclo di prova Sistema di applicazione della forza Sovraccarichi		Tempo di permanenza a forza iniziale e addizionale t_0, t
d) penetratori	Danneggiamenti Deformazioni sotto carico	Rilevante solo per penetratori di acciaio	Velocità di penetrazione v Raggio e angolo del penetratore r, α
3. Condizioni ambientali	Variazioni di temperatura Vibrazioni e urti		
4. Operatore	Errore nella selezione del metodo di prova Errori di valutazione, di lettura e di vaneggiamento		

5.1.2. Durometri

La progettazione, il montaggio e lo stato del durometro sono critici per un buon risultato della misurazione. L'*attrito* eccessivo può causare errori sistematici e non-ripetibilità delle misure. Anche gli strumenti che operano correttamente possono dare risultati da scarsa significatività a causa dell'eccessivo attrito nel sistema che applica la forza, che si manifesta con un valore dell'incertezza più elevato di quello "reale" (in tal caso si dice che si ha un "indurimento" della scala). Piccoli attriti del sistema di misura della profondità, si possono pure verificare ed essi determinano un valore dell'incertezza minore (in tal caso si dice che si manifesta un "ammorbidimento" della scala).

Un'eccessiva *flessione della struttura* del durometro e del supporto del pezzo in prova (incudine) può causare seri problemi. Sovente si possono osservare variazioni da 1 a 3 punti di durezza dovuti ad un appoggio improprio del pezzo in prova e ad una deformazione eccessiva del telaio del durometro.

Dato che si devono svolgere misurazioni di profondità di dimensioni molto piccole, il *sistema di misura* è evidentemente critico. Per esempio, un punto della scala Rockwell è equivalente ad una profondità della penetrazione di soltanto 2 µm, mentre è la metà per la scala superficiale in cui si applicano forze più deboli e quindi si hanno penetrazioni minori; ne consegue che l'incertezza di misura del sistema gioca un ruolo molto importante.

Il *meccanismo di applicazione della forza* deve applicare costantemente valori di forza corretti. Il sistema deve garantire l'applicazione delle forze in conformità ai limiti di $\pm 1,0\%$ per il livello utente e perfino di $\pm 0,1\%$ della forza nominale nei durometri per taratura d3ei blocchetti.

L'applicazione delle forze richiede che sia la *velocità*, sia il *tempo* di applicazione siano ben definiti. Con alcuni durometri gestiti manualmente, le variazioni di velocità di applicazione della forza che si possono ottenere possono produrre variazioni nel risultato fino ad 1 HRC a livello di 60 HRC. I materiali più teneri ed i materiali soggetti all'indurimento da lavoro possono dare anche valori delle incertezze significativamente più elevati.

Naturalmente anche le *caratteristiche del penetratore* influenzano il valore dell'incertezza delle misure di durezza. I penetratori a sfera presentano meno problemi riguardo alla geometria perché è relativamente facile produrre una sfera di metallo entro i limiti di

variabilità (tolleranze) richiesti. Va notato che il supporto della sfera può anch'esso essere una sorgente significativa d'incertezza.

I penetratori di diamante sono molto più difficili da produrre con una geometria ben controllata e ne derivano potenziali, significative sorgenti potenziali di incertezza non sempre facilmente individuabili, ma una loro dettagliata elencazione esula dallo scopo del presente testo. È importante notare che i migliori penetratori di diamante prodotti oggi presentano tra di essi variazioni fino a $\pm 0,5$ HRC se confrontati sullo stesso durometro. E' ovvio che penetratori di qualità peggiore danno variazioni significativamente più grandi.

5.1.3. Condizioni ambientali

La *temperatura ambiente* può influenzare considerevolmente i risultati delle misurazioni di durezza, particolarmente se devono essere misurate impronte di piccole dimensioni: il limite più basso per le impronte Vickers è 20 μm e la profondità minima per le impronte Rockwell scala N e T è soltanto di 6 μm - 7 μm . Secondo le normative di settore, l'intervallo di temperatura ammesso per l'esecuzione delle prove va da 10°C a 35°C; per la taratura dei blocchi di riferimento esso è di (23 ± 5) °C. Questi intervalli sono fin troppo larghi per alcune scale di durezza, ma operare al di fuori di questi intervalli dovrebbe sempre richiedere grande attenzione. Se, comunque, fosse inevitabile operare al di fuori dei limiti di temperatura indicati si dovrebbe almeno eseguire misurazioni comparative per poter valutarne gli effetti a priori.

La *pulizia*, le *vibrazioni* e le *interferenze elettriche* possono causare problemi significativi che sono difficilmente qualificabili e quantificabili. Le misurazioni di micro-durezza a livelli di forza ultra-bassi richiedono, naturalmente, ambienti assolutamente liberi da vibrazioni, mentre per prove con valori di forza superiore a 200 mN i requisiti di vibrazioni non sono così critici.

5.1.4. Operatore

E' essenziale che le misurazioni di durezza o le operazioni di taratura delle macchine con cui si realizzano siano effettuate da operatori adeguatamente addestrati. La mancanza di *qualificazione*, di *esperienza* e di *motivazione* nel personale non può essere compensata dai manuali di funzionamento. Per selezionare il metodo di prova adeguato è necessaria una certa conoscenza del materiale: la struttura del grano, la durezza approssimativa e le proprietà interne. A volte sono importanti anche le considerazioni pratiche, come ad esempio il peso e le dimensioni della parte di cui deve essere misurata la durezza.

In molti casi sono importanti le posizioni in cui si eseguono le misurazioni sulla superficie del provino. I punti di misura vanno individuati correttamente per garantirsi risultati corretti:

sono quindi normalmente da evitare misure, per esempio, vicine al bordo di un pezzo o vicino ad altri punti di misura. Incertezze fino a 2 HRC non sono rare in questi casi.

Il controllo generale del modo di operare è molto importante. Alcuni durometri moderni hanno caratteristiche che minimizzano l'influenza dell'operatore; tuttavia, l'esperienza è ancora decisiva per una corretta misurazione di durezza.

6. La taratura delle macchine per prove di durezza

Come detto in precedenza, la misura di durezza è il risultato di una "prova convenzionale" ed è confrontabile con altre misure di durezza solo se queste sono eseguite con le medesime modalità operative e con apparecchiature aventi le stesse caratteristiche ed è per questo motivo che gli enti normatori hanno emesso dei sistemi completi e coerenti di norme tali da definire e standardizzare al massimo livello possibile tutti i passaggi necessari per l'esecuzione delle prove in modo da rendere le misure riproducibili e confrontabili.

Per soddisfare questo requisito è necessario attenersi completamente alle prescrizioni normative sia relativamente all'esecuzione della prova, sia per quanto attiene la taratura delle macchine di prova.

Le attuali norme prevedono che la taratura delle macchine per le prove di durezza possa essere eseguita mediante i due metodi:

- a) con metodo diretto
- b) con metodo indiretto

6.1. Metodo diretto di taratura delle macchine

Il metodo diretto prevede i controlli singoli di quei parametri, previsti dalle norme di riferimento, che caratterizzano la prova di durezza ed influiscono sui risultati e in particolare sono previsti i controlli seguenti:

- penetratore (è definita la geometria e il materiale con cui deve essere realizzato)
- sistema di applicazione delle forze (sono indicati oltre ai valori nominali i rispettivi limiti di variabilità o tolleranze)
- sistema di misura dell'impronta (sono indicate le caratteristiche del sistema)
- verifica della rigidità della macchina (denominata comunemente cedevolezza)

Il metodo di verifica viene descritto per fasi in cui sono indicati importanti vincoli da rispettare e il numero dei controlli da eseguire.

Questa taratura può essere difficilmente eseguita all'interno di un'azienda in quanto è necessario disporre di dinamometri per la misura delle forze generate dalle macchine e di

particolari dispositivi per il controllo dei sistemi di misura dell'impronta (diametro o diagonale per misuratori Brinell o Vickers, profondità dell'impronta nel caso di durometri Rockwell).

Le norme di riferimento riportano anche le caratteristiche che debbono essere soddisfatte dagli strumenti da utilizzare per la taratura delle macchine che sono sottoposte a verifica.

La frequenza delle tarature dirette dipende dalle condizioni di utilizzo delle macchine e, nelle ultime norme internazionali (ISO) revisionate, è prescritto che dette tarature vengano eseguite almeno:

- all'installazione della macchina;
- dopo ogni intervento manutentivo che ha portato a modifiche o messe a punto della macchina;

oppure

- quando la verifica non fornisce risultati positivi o non è stata effettuata nell'ultimo anno.

Estendendo le indicazioni minime richieste dalla normativa, si può pertanto consigliare, nel caso di apparecchiature installate presso laboratori con un buon grado di pulizia ed un uso saltuario, di eseguire la taratura diretta non oltre due anni dalla precedente; ovviamente nel caso di macchine per prova di durezza installate in officina o in fonderie è necessario ridurre l'intervallo tra due tarature dirette.

6.2. Metodo indiretto di taratura delle macchine

La taratura indiretta si esegue utilizzando blocchi di riferimento di durezza certificati. Per ogni scala di durezza è necessario disporre di almeno due o tre blocchi con differente valore nominale in modo da poter verificare la scala di misura in più posizioni.

Su ogni blocco si eseguono cinque prove e, utilizzando i singoli valori ottenuti, si determina:

- lo scostamento dal valore nominale di lettura: differenza tra il valore medio di lettura ed il valore certificato del blocco di durezza;
- la ripetibilità di lettura: differenza tra il massimo ed il minimo dei cinque valori di durezza ottenuti.

La taratura indiretta dei durometri per mezzo dei blocchi di riferimento deve avere una periodicità non superiore all'anno e deve essere collegata ad una iniziale verifica diretta. In caso di verifica è indispensabile eseguire sempre la verifica diretta. Tuttavia la periodicità dei controlli dipende sostanzialmente dalle condizioni di utilizzo e manutenzione della macchina.

7. La disseminazione delle scale di durezza

7.1 La normativa principale di riferimento

La Tabella 8 riporta in sintesi la catena di riferibilità per la disseminazione della scala della durezza dal livello internazionale al livello nazionale, individuando la catena metrologica costituita dalle seguenti strutture consequenziali:

- Enti di Normazione Internazionale, che definiscono la scala della durezza
- Istituto Primario Nazionale (per l'Italia I.N.R.I.M.), che realizza e mantiene la scala della durezza
- Laboratori di Taratura Secondari (per l'Italia il COPA attraverso il SIT), che disseminano la riferibilità agli utenti della scala della durezza
- Industria Nazionale o Internazionale, che utilizza e garantisce la riferibilità alla scala della durezza dei suoi prodotti

Tabella 8 Schema della disseminazione delle scale di durezza in Italia.

Il diagramma mostra le norme di riferimento, i laboratori responsabili per ogni livello: esempio per la scala Rockwell

CIPM	DEFINIZIONE DELLA SCALA DI DUREZZA	
I.N.R.I.M.	DUROMETRO CAMPIONE PRIMARIO	
I.N.R.I.M.	TARATURA BLOCCHI DI RIFERIMENTO PRIMARI	ISO 6508-3
SIT	DUROMETRI CAMPIONE SECONDARI	ISO 6508-3
SIT	TARATURA BLOCCHI DI RIFERIMENTO	ISO 6508-3
SIT	TARATURA DUROMETRI INDUSTRIALI	ISO 6508-2
Industria	MISURE DI DUREZZA	ISO 6508-1

Per quanto riguarda infine le caratteristiche metrologiche da controllare nella verifica periodica diretta ed indiretta dei durometri industriali, secondo la recente normativa internazionale ed europea (e quindi italiana), si ha:

a) Verifica diretta:

- penetratore
- sistema di applicazione dei carichi
- sistema di misura dell'impronta
- verifica della rigidità della macchina

b) Verifica indiretta:

- scostamento (errore)
- ripetibilità (convenzionale)

La Tabella 9 si riferisce alla verifica diretta di durometri per la scala Rockwell tipo HRC; in essa sono indicati, oltre alla norma ISO che deve essere seguita, anche i limiti di accettabilità dei vari parametri.

Tabella 9 Verifica diretta durometri per scala Rockwell tipo HRC

Parametro di riferimento	Limiti di accettabilità
NORMA	ISO 6508-2
Cedevolezza (rigidità)	$\pm 0,5$ HRC
Penetratore:	
- Raggio	$0,20 \pm 0,01$ mm
- Cono	$120 \pm 0,35$ °
- Rettilineità	0,001 mm
Forza di precarico	$98,07$ N ± 2 %
Forza di carico	1471 N $\pm 0,7$ %
Dispositivo misura impronta	± 1 µm (0,5 HRC)

La tabella 10 si riferisce, invece, alla verifica indiretta dei durometri sempre per la scala Rockwell HRC.

Tabella 10 Verifica indiretta durometri per scala Rockwell tipo HRC

Parametro di riferimento	Limiti di accettabilità
NORMA	ISO 6508-2
Scostamento tra valore medio rilevato e valore nominale del blocco (errore)	$\pm 1,5$ HRC
Ripetibilità convenzionale (max-min)	$\pm 0,03$ e

$$e = (h/\mu\text{m})/2$$

7.2 La disseminazione

La disseminazione delle scale di durezza è basata su tre elementi principali:

- a) **la definizione della scala di durezza:** descrizione del metodo di misura, delle tolleranze relative alle grandezze coinvolte e delle condizioni ambientali.
- b) **i durometri:** i *durometri per taratura* per la produzione industriale di *blocchi di riferimento di durezza* sono differenti dalle *durometri primari* che sono la migliore materializzazione della definizione delle scale di durezza.
- c) **i blocchi di riferimento di durezza:** occorre distinguere tra *blocchi di riferimento di durezza primari*, tarati da *durometri primari* e usati quando è necessaria la più alta accuratezza, per esempio per la verifica e la taratura di *durometri per taratura*, e *blocchi di riferimento di durezza*, tarati da queste ultime e utilizzati principalmente per la verifica e la taratura di durometri industriali.

La figura 12 mostra la struttura a quattro-livelli della catena metrologica necessaria per definire e disseminare le scale di durezza. La catena comincia al **livello internazionale** usando *le definizioni internazionali* delle varie scale di durezza per effettuare *i confronti internazionali*.

A livello nazionale, un certo numero di *durometri primari* “producono” *blocchi di riferimento di durezza primari* per la taratura a **livello di laboratorio**. Naturalmente, la taratura diretta e la verifica di questi durometri dovrebbero essere fatte al più basso possibile valore dell'incertezza.

Per il primo punto si è cominciato, a livello internazionale, a definire le scale di durezza in modo tale che loro materializzazione effettuata nei laboratori degli Istituti Metrologici Nazionali possa essere effettuata con la minor incertezza possibile. Questa è poi verificata tramite opportuni *confronti internazionali*, chiamati confronti-chiave.

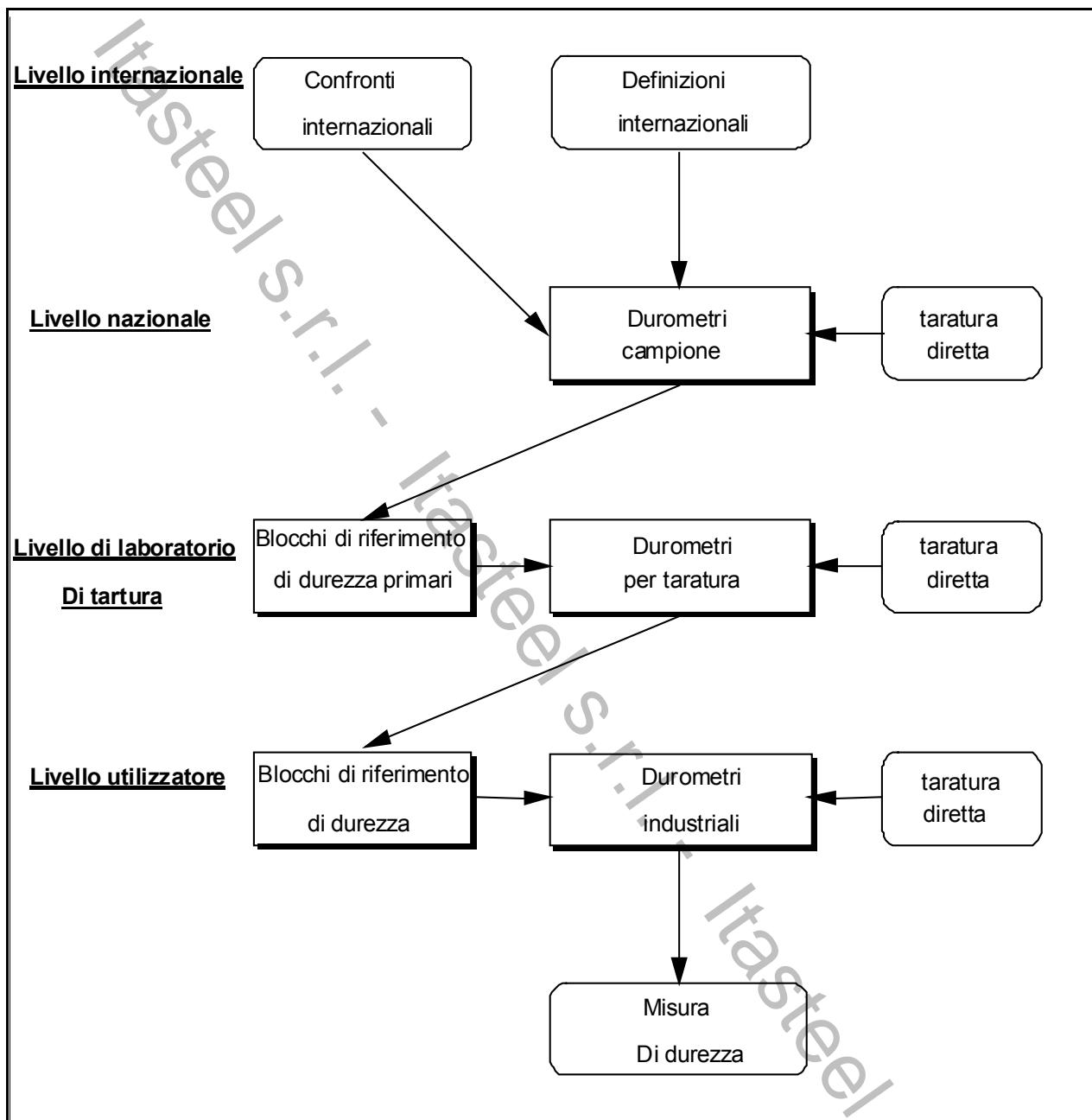


Figura 12 La struttura a quattro livelli della catena metrologica per la definizione e la disseminazione delle scale di durezza

A livello di laboratorio di taratura, i *blocchi di riferimento di durezza primari* sono usati per qualificare i *durometri per taratura* che devono anche essere tarati direttamente ed

indirettamente. Questi durometri sono utilizzati per tarare i *blocchi di riferimento di durezza* per il livello utente.

A **livello di utente**, i *blocchi di riferimento di durezza* sono usati per tarare i durometri industriali in modo indiretto, dopo che siano stati tarati direttamente.

La stabilità delle scale di durezza è essenzialmente garantita da questa procedura di taratura a due-passi per i durometri:

1. La *taratura diretta* assicura che il durometro stia funzionando correttamente in conformità con le definizioni della durezza in considerazione dei parametri controllati;
2. La *taratura indiretta* con i blocchi di riferimento di durezza riguarda le prestazioni del durometro nell'insieme.

I requisiti principali dei blocchi di riferimento di durezza sono la stabilità nel tempo e l'uniformità della superficie del blocco. La tecnologia di produzione dei blocchi di riferimento sta sviluppandosi con il miglioramento dei durometri campione.

In alcuni casi i blocchi di durezza tarati con i durometri campione sono usati direttamente per la verifica e la taratura dei durometri industriali. Ciò non è in conformità con la struttura a quattro livelli della figura 12, ma ci sono buoni motivi per operare in questo modo. Nella metrologia della durezza, la regola classica che stabilisce che lo strumento di riferimento deve essere di un ordine grandezza, o almeno di un fattore tre, migliore del dispositivo controllato, in molti casi non può essere applicata. La differenza di incertezza fra il livello nazionale ed il livello di utente è ragionevolmente piccolo ed ogni passo da un livello al successivo aggiunge un contributo supplementare all'incertezza totale; così la gerarchia del quattro-livelli può condurre ad incertezze troppo grandi per certi valori di durezza a livello utente. La maggior parte dei problemi metrologici dei confronti di durezza, della propagazione dell'errore e della riferibilità ai campioni, hanno le loro origini in questo fatto..

8. Sviluppi futuri: l'unificazione delle scale

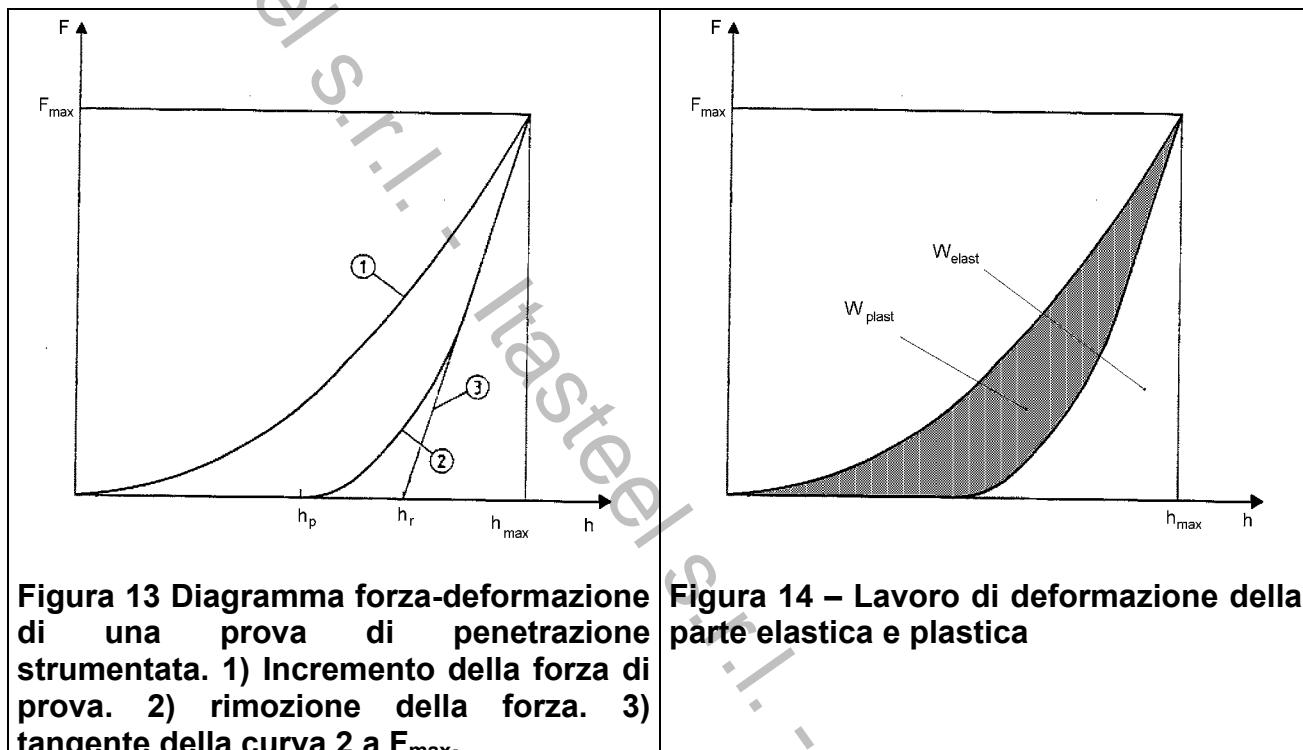
La recente normativa relativa alla prova di penetrazione strumentata ha lo scopo di cercare di ricavare i parametri meccanici caratteristici del materiale dai risultati di misurazione effettuate in una singola prova di penetrazione. Questa misurazione di durezza, chiamata originariamente "durezza universale" ma poi ribattezzata durezza Martens, prevede una prova con l'acquisizione del diagramma forza-deformazione, sia nella fase di carico che di scarico della forza. Nella Figura 13, che rappresenta

l'andamento tipico della prova di penetrazione, si può distinguere la deformazione plastica da quella permanente.

La durezza Martens è misurata durante l'applicazione della forza ed include la parte elastica e plastica della deformazione. La durezza Martens, espressa in N/mm² è definita come:

$$HM = \frac{F}{A(h)}$$

dove F è la forza di prova e A(h) l'area apparente della penetrazione.



La prova di penetrazione strumentata, oltre a risolvere il problema delle prove di durezza su materiali non tradizionali, ossia nei casi in cui è impossibile osservare e misurare le impronte o quando si possono applicare solo forze di valore molto piccolo, dovrebbe permettere di calcolare, oltre al valore di durezza Martens HM, anche la parte di lavoro elastico e plastico (Figura 14), la durezza plastica, il modulo elastico, lo scorrimento ed il rilassamento del materiale.

Alcuni strumenti che realizzano questo tipo di prova sono stati sviluppati da aziende private o da Istituti di ricerca, sia nel campo delle nano-penetrazioni, che nelle micro e nelle macro. Molti strumenti sono oggi presenti nelle università, nei laboratori di ricerca e nelle aziende.

9. Interconfronti

Un'importante attività degli Istituti Metrologici Nazionali è il confronto delle macchine campione per confermare innanzitutto la correttezza dei valori stimati dell'incertezza attribuita alle misure, e conseguentemente il mutuo riconoscimento dei campioni (Mutual Recognition Arrangement-MRA) .

Nell'ambito delle scale storicamente mantenute nei diversi laboratori, molti interconfronti sono stati effettuati in passato; alcuni occasionalmente mentre altri, come ad esempio quelli europei, con scadenze quadriennali.

Da quando opera il Gruppo di Lavoro sulla Durezza (CCM-WGH) del Comitato Internazionale dei pesi e Misure (CIPM), si sono già svolti due confronti chiave (scale Vickers e Brinell) ed un altro è in fase di attuazione (Scala Rockwell C).

L'I.N.R.I.M. ha effettuato numerosi confronti con Istituti Metrologici Nazionali di Paesi europei, tra i quali Regno Unito, Germania, Francia, Ungheria, Austria e di diverse nazioni extra-europee, come USA, Brasile, Cina, Giappone, Corea, Singapore e Australia.

BIBLIOGRAFIA GENERALE

Barbato, G. "Le misure di durezza nel loro iter storico"
Qualificazione Industriale (2001)

Barbato G. - Desogus S. - Grattoni P. "Automatic Vickers indentation measurement and testing of metals for structures", Edited by F. M. Mazzolani (1992)

Bertozzi R. - Germak A."La misura di durezza sui materiali metallici "
Convegno Annuale SIT (1995)

Bertozzi R. - Germak A." Le macchine per prove di durezza sui materiali metallici "
Qualificazione Industriale (2001)

Brinell J.A. "Ein Verfahren zur Härtebestimmung, nebst einigen Anwendungen desselben"
Baumaterialienkunde - Stuttgart - V. Jahrgang - S. 276, 294, 317, 392, 412 (1900)

Prever V. "La prova di Brinell quale metodo ausiliario nel collaudo dei materiali di costruzione", Associazione Italiana per gli Studi sui Materiali da Costruzione - F.Ili Peretto (1919)

D. Smith, *Instrumented Indentation Testing – The future of hardness testing?*, Hardness Standardization Workshop: Speaker's Presentation Materials, NIST Gaithersburg, June 29th and 30th, 1998

S. Desogus, A. Germak, F. Mazzoleni, *scale di durezza mantenute all'IMGC: confronto con altri istituti metrologici*, Convegno annuale SIT, Torino 24-25 Settembre 1996, pp. 73-78

RIFERIMENTI NORMATIVI

UNI 4655:1987

Prove meccaniche dei materiali metallici non ferrosi. Prova di durezza Brinell a caldo

UNI 7319:1974

Elastomeri: prove su vulcanizzati. Determinazione della durezza in gradi internazionali su provette di spessore diverso dal normale e su prodotti finiti.

UNI ISO 3350:1985

Legno. Determinazione della durezza statica.

UNI ISO 3387:2009

Gomma - Determinazione degli effetti di cristallizzazione mediante misurazioni di durezza

UNI ISO 4384-2:1987

Cuscinetti radenti. Prova di durezza sui materiali antifrizione. Materiali massicci (monostrato).

UNI ISO 48:2008

Gomma vulcanizzata o termoplastica - Determinazione della durezza (durezza compresa tra 10 IRHD e 100 IRHD)

UNI ISO 7619-1:2009

Gomma vulcanizzata o termoplastica - Determinazione della durezza di penetrazione - Parte 1: Metodo mediante durometro (durezza Shore)

UNI ISO 7619-2:2005

Gomma vulcanizzata o termoplastica - Determinazione della durezza di penetrazione - Parte 2: Metodo con misuratore tascabile IRHD

UNI EN 1043-1:1997

Prove distruttive di saldature su materiali metallici. Prova di durezza. Prova di durezza su giunti saldati ad arco.

UNI EN 1043-2:1997

Prove distruttive sulle saldature di materiali metallici. Prova di durezza. Prove di microdurezza su giunti saldati.

UNI CEN/TS 1071-7:2003

Ceramiche tecniche avanzate - Metodi di prova per i rivestimenti ceramici - Determinazione della durezza e del modulo di Young mediante prova di penetrazione strumentata

UNI EN 13523-4:2001

Nastri metallici rivestiti - Metodi di prova - Durezza alla matita

UNI EN 13892-6:2004

Metodi di prova dei materiali per massetti - Parte 6: Determinazione della durezza superficiale

UNI EN 14205:2004

Metodi di prova per pietre naturali - Determinazione della durezza Knoop

UNI EN 23878:2003

Metalli duri - Prova di durezza Vickers

UNI EN 59:1977

Materie plastiche rinforzate con fibre di vetro. Determinazione della durezza mediante durometro barcol.

UNI EN 843-4:2005

Ceramiche tecniche avanzate - Proprietà meccaniche delle ceramiche monolitiche a temperatura ambiente - Parte 4: Prove di durezza superficiale Vickers, Knoop e Rockwell

UNI EN ISO 14271:2002

Prove di durezza Vickers su saldature a resistenza a punti, a rulli e a rilievi (prova a carico ridotto e microdurezza)

UNI EN ISO 14577-1:2004

Materiali metallici - Prova di penetrazione strumentata per la determinazione della durezza ed altri parametri dei materiali - Parte 1: Metodo di prova

UNI EN ISO 14577-2:2004

Materiali metallici - Prova di penetrazione strumentata per la determinazione della durezza ed altri parametri dei materiali - Parte 2: Verifica e taratura delle macchine di prova

UNI EN ISO 14577-3:2004

Materiali metallici - Prova di penetrazione strumentata per la determinazione della durezza ed altri parametri dei materiali - Parte 3: Taratura dei blocchetti di riferimento

UNI EN ISO 14577-4:2007

Materiali metallici - Prova di penetrazione strumentata per la determinazione della durezza e dei parametri dei materiali - Parte 4: Metodo di prova per rivestimenti metallici e non metallici

UNI EN ISO 18265:2005

Materiali metallici - Conversione dei valori di durezza

UNI EN ISO 2039-1:2006

Materie plastiche - Determinazione della durezza - Parte 1: Metodo di penetrazione con sfera

UNI EN ISO 2039-2:2001

Materie plastiche - Determinazione della durezza - Durezza Rockwell

UNI EN ISO 2439:2009

Materiali polimerici cellulari flessibili - Determinazione della durezza (tecnica dell'impronta)

UNI EN ISO 2815:2005

Pitture e vernici - Determinazione della durezza con il metodo di penetrazione Buchholz

UNI EN ISO 3738-2:2006

Metalli duri - Prova di durezza Rockwell (scala A) - Parte 2: Preparazione e taratura dei blocchetti di riferimento

UNI EN ISO 4498:2007

Materiali metallici sinterizzati, con esclusione dei metalli duri - Determinazione della durezza apparente e della microdurezza

UNI EN ISO 4507:2007

Materiali ferrosi sinterizzati, cementati o carbonitrurati - Determinazione e verifica della profondità della cementazione mediante misurazione della microdurezza

UNI EN ISO 4545-1:2006

Materiali metallici - Prova di durezza Knoop - Parte 1: Metodo di prova

UNI EN ISO 4545-2:2006

Materiali metallici - Prova di durezza Knoop - Parte 2: Verifica e taratura delle macchine di prova

UNI EN ISO 4545-3:2006

Materiali metallici - Prova di durezza Knoop - Parte 3: Taratura dei blocchetti di riferimento

UNI EN ISO 4545-4:2006

Materiali metallici - Prova di durezza Knoop - Parte 4: Prospetto dei valori di durezza

UNI EN ISO 6506-1:2006

Materiali metallici - Prova di durezza Brinell - Parte 1: Metodo di prova

UNI EN ISO 6506-2:2006

Materiali metallici - Prova di durezza Brinell - Parte 2: Verifica e taratura delle macchine di prova

UNI EN ISO 6506-3:2006

Materiali metallici - Prova di durezza Brinell - Parte 3: Taratura dei blocchetti di riferimento

UNI EN ISO 6506-4:2006

Materiali metallici - Prova di durezza Brinell - Parte 4: Prospetto dei valori di durezza

UNI EN ISO 6507-1:2006

Materiali metallici - Prova di durezza Vickers - Parte 1: Metodo di prova

UNI EN ISO 6507-2:2006

Materiali metallici - Prova di durezza Vickers - Parte 2: Verifica e taratura delle macchine di prova

UNI EN ISO 6507-3:2006

Materiali metallici - Prova di durezza Vickers - Parte 3: Taratura dei blocchetti di riferimento

UNI EN ISO 6507-4:2006

Materiali metallici - Prova di durezza Vickers - Parte 4: Prospetto dei valori di durezza

UNI EN ISO 6508-1:2006

Materiali metallici - Prova di durezza Rockwell - Parte 1: Metodo di prova (scale A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T)

UNI EN ISO 6508-2:2006

Materiali metallici - Prova di durezza Rockwell - Parte 2: Verifica e taratura delle macchine di prova (scale A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T)

UNI EN ISO 6508-3:2006

Materiali metallici - Prova di durezza Rockwell - Parte 3: Taratura dei blocchetti di riferimento (scale A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T)

UNI EN ISO 868:2005

Materie plastiche ed ebanite - Determinazione della durezza per penetrazione di un durometro (durezza Shore)