



Università degli Studi di Napoli "*Parthenope*"

Dipartimento di Scienze e Tecnologie

Tecnologia delle costruzioni ed allestimento navale
Vincenzo Piscopo

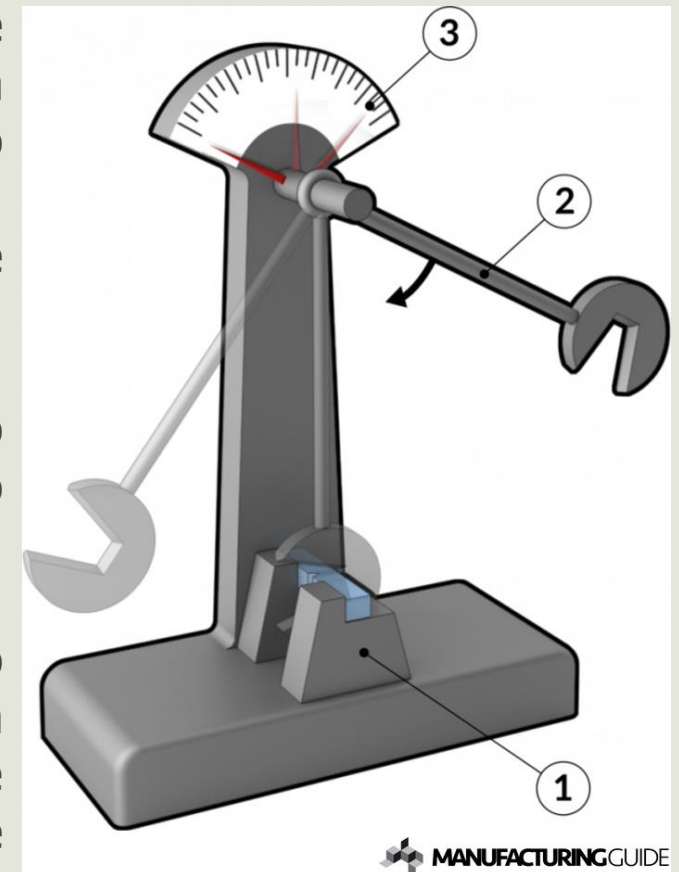
Prove di resilienza con pendolo Charpy e prova di durezza
Lezione 5 (10/48)

1.1 Prova di resilienza: generalità

La **prova di resilienza** viene svolta in accordo alla norma UNI EN ISO 148-1 e ha come scopo quello di studiare la resilienza dei materiali, ovvero la resistenza a rottura fragile per orto-flessione. La prova consiste nel rompere con un solo colpo una provetta intagliata in mezzeria e poggiata su due sostegni. L'energia assorbita, espressa in J, è un indice della resistenza agli urti del materiale ovvero della sua resilienza.

Tale parametro è fortemente dipendente dalla temperatura. In generale, quanto più è bassa la temperatura di prova tanto più il materiale diventa fragile, ovvero tanto minore risulta la quantità di energia necessaria per romperlo.

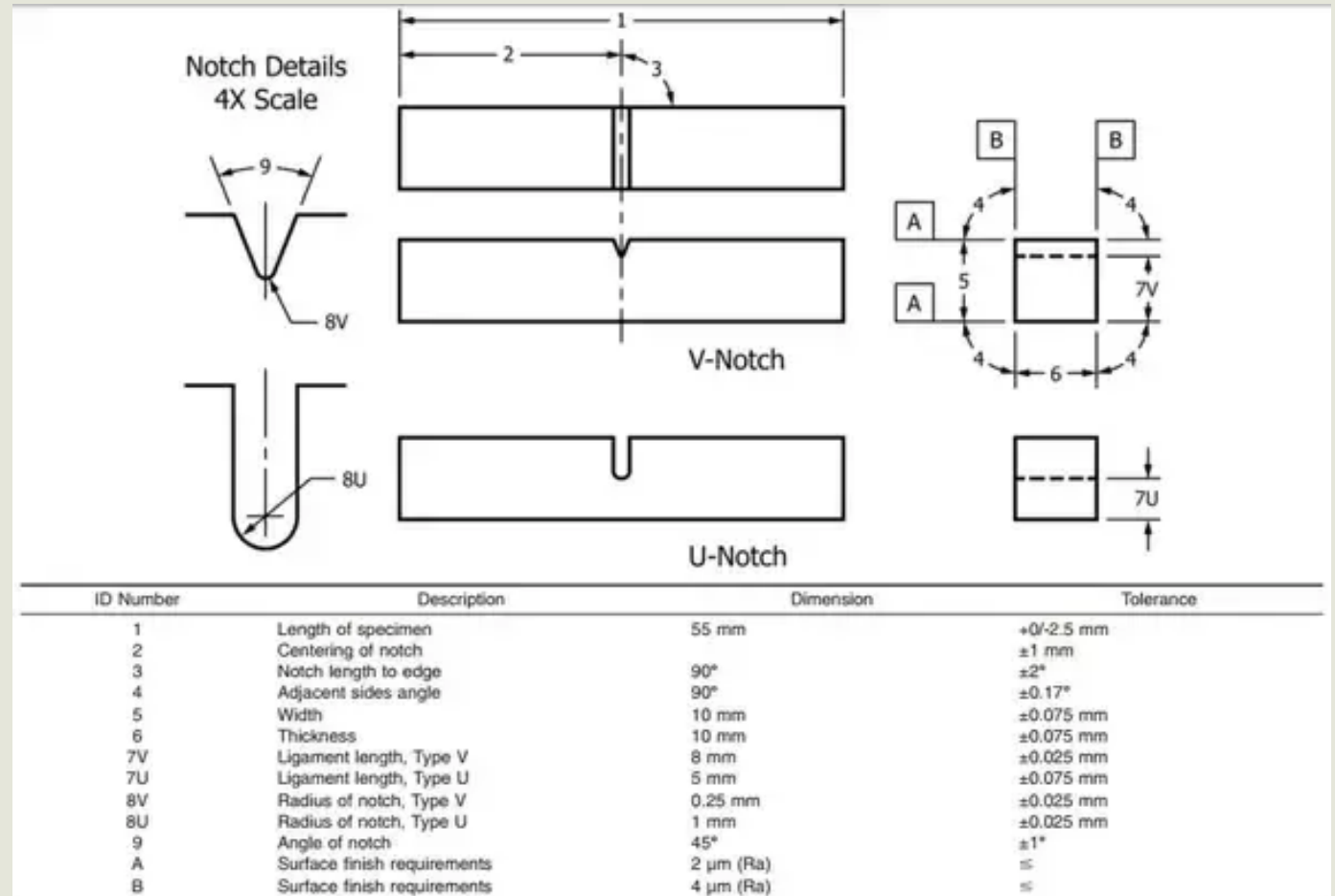
La prova di resilienza viene eseguita con una macchina di prova detta pendolo di Charpy che nella sua configurazione di massima è costituito da: (1) un basamento dotato di un sistema di fermo del provino; (2) un'asta incernierata e dotata di martello alla sua estremità e (3) una scala graduata per misure angolari.



1.2 Prova di resilienza: dimensioni e forme dei provini

I provini hanno una lunghezza standard di 55 mm ed una sezione quadrata di lato pari a 10 mm. Gli stessi presentano un intaglio in corrispondenza della sezione di mezzeria che può essere di due tipi:

- (i) **Intaglio a V:** ha un'apertura di 45° , una profondità di 2 mm ed è raccordato sul fondo con un raggio di 0.25 mm. La sezione utile è pari a 0.8 cm^2 ;
- (ii) **Intaglio a U:** ha una profondità di 5 mm con raggio del fondo dell'intaglio di 1 mm. La sezione utile è pari a 0.5 cm^2 .

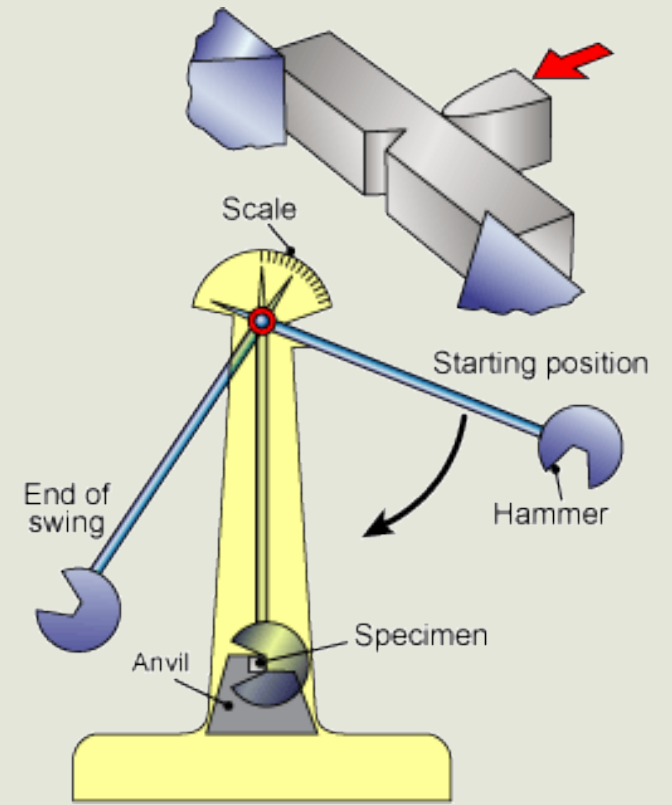


1.3 Prova di resilienza: esecuzione della prova

La prova viene eseguita come dettagliato di seguito:

- L'asta girevole ha in posizione di riposo il baricentro ad una altezza corrispondente alla posizione della provetta;
- Si porta l'asta ad una altezza h' e si fissa ad un fermo (*starting position*);
- Si posiziona la provetta sugli appositi appoggi facendo in modo che la faccia intagliata sia rivolta dalla parte opposta a quella su cui batte il martello;
- Si lascia libero il sistema asta-martello che in caduta libera andrà a rompere la provetta e raggiunta l'altezza massima h (*end of swing*) continuerà ad oscillare;
- Le oscillazioni successive del sistema asta-martello vengono smorzate con un freno elettromagnetico.

Calcolando la differenza tra l'energia iniziale (*starting position*) e quella finale (*end of swing*) è possibile determinare l'energia assorbita dal provino durante l'urto ritenendo trascurabili eventuali perdite dovute a fenomeni di natura dissipativa quali l'attrito.



1.4 Prova di resilienza: esecuzione della prova

Il calcolo dell'energia assorbita durante l'urto può essere facilmente eseguito come segue, indicando con m la massa del sistema asta-martello:

- L'energia del sistema prima dell'urto (*starting position*) è esclusivamente di natura potenziale e vale:

$$U_i = mgh'$$

- Nel punto di escursione massima dopo l'urto (end of swing) l'energia cinetica del sistema è nulla e dunque l'energia è solo potenziale e vale:

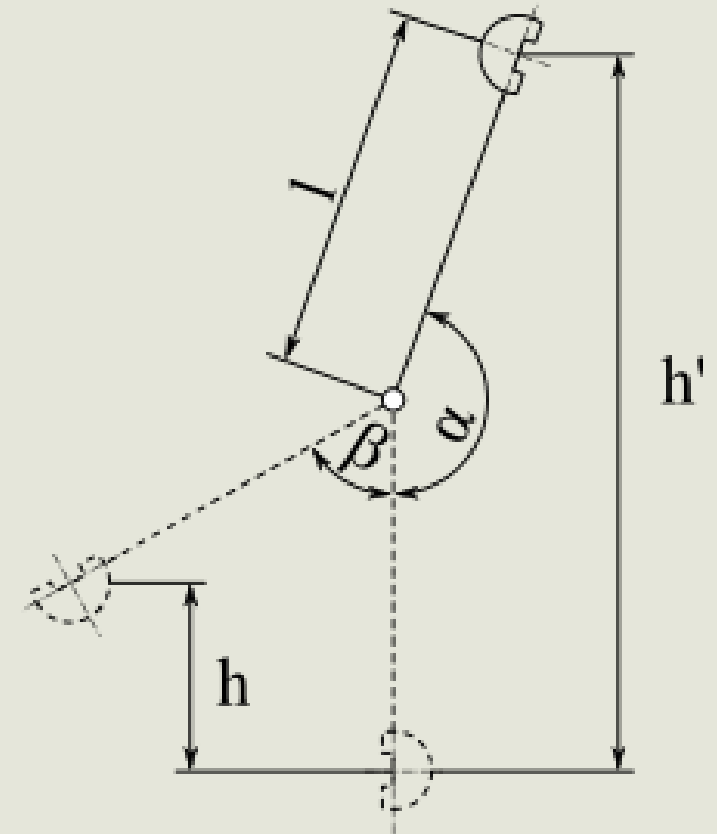
$$U_f = mgh$$

L'energia assorbita dal sistema durante l'urto misura la resilienza del provino:

$$K = U_i - U_f = mg(h' - h)$$

Indicando con β l'angolo che il sistema asta-martello forma con la verticale nel punto di escursione massima dopo l'urto, letto mediante la scala angolare graduata di cui è dotata la macchina, e indicando con l la lunghezza dell'asta, si ricava che:

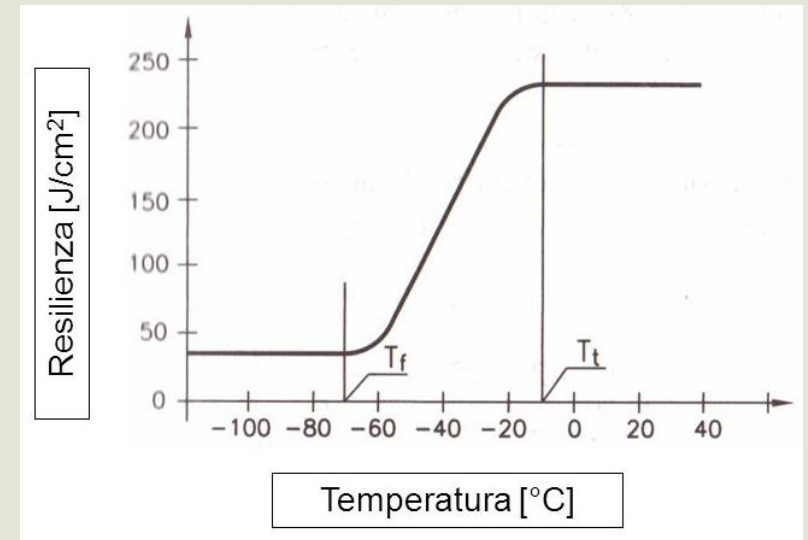
$$K = mg[h' - l(1 - \cos\alpha)]$$



1.5 Prova di resilienza: dipendenza dalla temperatura

La resilienza K , calcolata in accordo alla precedente relazione, viene seguita dalle lettere U o V a seconda che il provino abbia intaglio a U o a V. Normalmente le prove vengono eseguite a temperatura ambiente (23 ± 5)°C. Per prove a temperature differenti da quella ambiente il provino deve essere immerso nel mezzo di raffreddamento/riscaldamento per un tempo sufficiente al raggiungimento della temperatura di prova e non devono trascorrere più di 5 s tra il prelevamento a temperatura controllata e l'esecuzione della prova.

La resilienza di un materiale è fortemente dipendente dalla temperatura. In particolare, l'andamento della resilienza è rappresentato in figura. In particolare a destra della temperatura T_t il materiale si caratterizza per un tipo di rottura di natura duttile, ovvero in presenza di deformazioni plastiche del materiale. Al contrario, a sinistra della temperatura T_f la rottura è di tipo fragile e avviene per decoesione del materiale in assenza di deformazioni plastiche permanenti. L'intervallo compreso tra T_f e T_t determina la zona di transizione in cui si ha una variazione pressoché lineare della resilienza con la temperatura.



2.1 Prova di durezza: generalità

La **prova di durezza** ha come scopo la determinazione della resistenza che un materiale oppone ad essere penetrato da un altro materiale, detto penetratore. Le prove di durezza maggiormente diffuse sono le seguenti:

- *Durezza Brinell;*
- *Durezza Vickers;*
- *Durezza Rockwell.*

Le prime due si differenziano solo per i valori del carico applicato sul provino e per la geometria del penetratore, mentre la terza è completamente differente. In tutti e tre i casi la prova viene eseguita mediante una macchina detta **durometro** che sostanzialmente consiste di un basamento a cui è solidalmente connesso un sistema di scontro per bloccare il provino del materiale da esaminare e da una parte mobile a cui è connesso il penetratore che viene spinto con una forza nota sulla superficie del provino. La durezza del materiale si ricava misurando la profondità di penetrazione o la dimensione dell'impronta.



2.2 Prova di durezza Brinell: generalità

La **prova di durezza Brinell**, definita dalla norma UNI EN ISO 6506-1, si esegue misurando la superficie S dell'impronta del penetratore in mm^2 sotto l'azione di un carico F misura in N. In particolare, si misura mediante la relazione:

$$HBW = 0.102 \frac{F}{S}$$

Il penetratore è costituito da una sfera di metallo duro e ha un diametro normalmente pari a 1, 2.5, 5 o 10 mm. Se possibile si usa il penetratore di diametro 10 mm in modo da ottenere un'impronta sufficientemente ampia. Dal momento che le dimensioni dell'impronta dipendono dal carico applicato, la forza F viene fissata sulla base della seguente relazione:

$$F = \frac{kD^2}{0.102}$$

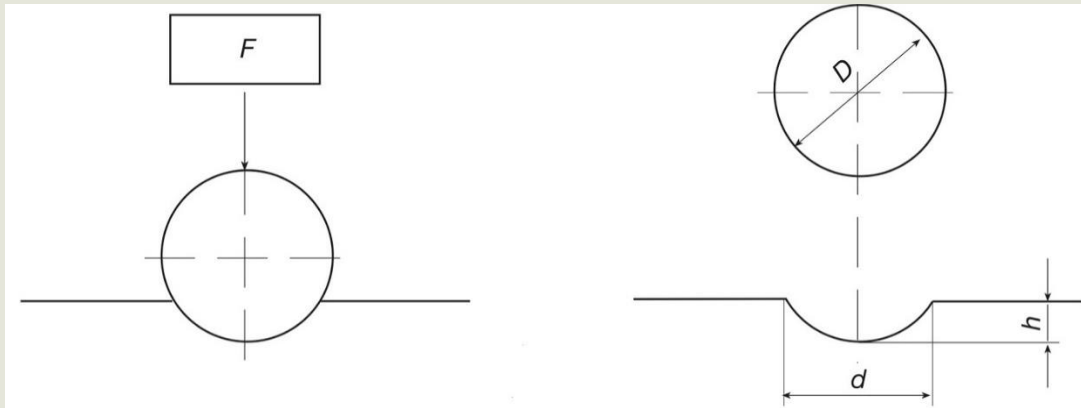
dove la costante k dipende dal tipo di materiale.

Materiale	K [N/mm ²]
Leghe di stagno e piombo	1
Leghe di alluminio	5
Leghe di rame	10
Acciai	30
Leghe di nichel	30
Leghe di titanio	30

2.2 Prova di durezza Brinell: esecuzione della prova

Il carico viene applicato come riportato in figura e in accordo a quanto dettagliato di seguito:

- Il carico viene incrementato fino al raggiungimento del valore prescelto in un tempo variabile tra 2 e 8 s;
- Il carico viene mantenuto al valore nominale per un tempo variabile tra 10 e 15 s;
- Il carico viene eliminato rapidamente per passare alla successiva analisi dell'impronta sul provino.



Considerando l'impronta sul provino come una calotta sferica di diametro D uguale a quello del penetratore, indicando con h la profondità dell'impronta e con d il suo diametro, si ha:

$$S = \pi D h$$

con l'altezza h funzione dei due diametri:

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

Da tali relazioni si ricava l'espressione classica della durezza Brinell:

$$HBW = 0.102 \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

2.3 Prova di durezza Vickers: generalità

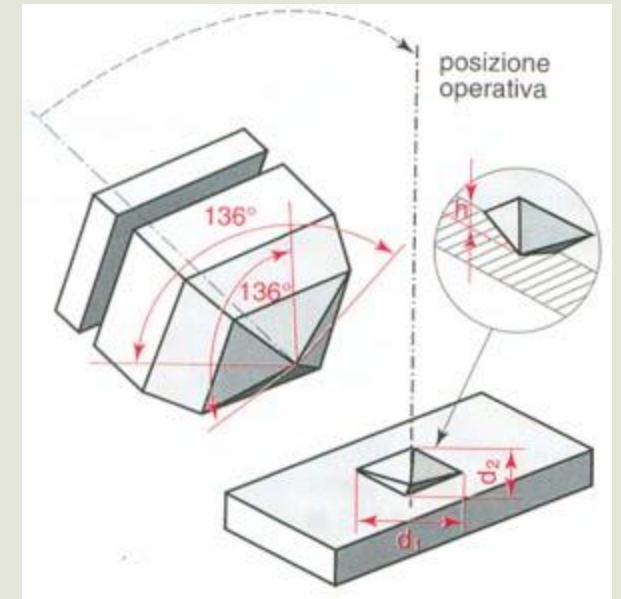
La **prova di durezza Vickers**, definita dalla norma UNI EN ISO 6507-1, si esegue in maniera simile alla precedente e la durezza del materiale si misura mediante la relazione:

$$HV = 0.102 \frac{F}{S}$$

A differenza della precedente prova, il penetratore è costituito da un diamante avente la forma di una piramide retta a base quadrata con angolo diedro* di 136° . La prova viene eseguita in maniera analoga alla precedente ma in tal caso non esiste una relazione diretta per la stima del carico F che deve solo variare nell'intervallo compreso tra 1.961 e 980.7 N. Per quanto attiene la superficie dell'impronta si misurano le due diagonali d_1 e d_2 sulla superficie del provino e se ne calcola la media geometrica, dalla quale dipendono la lunghezza a del lato di base dell'impronta, l'altezza h della faccia triangolare e la superficie dell'impronta:

$$a = \frac{\sqrt{2}d}{2} ; h = \frac{d}{4} \frac{\sqrt{2}}{\sin 68^\circ} ; S = 4 \frac{ah}{2}$$

*L'angolo diedro è la porzione di spazio compresa tra due semipiani aventi come origine la stessa retta.



$$HV = 0.1891 \frac{F}{d^2}$$

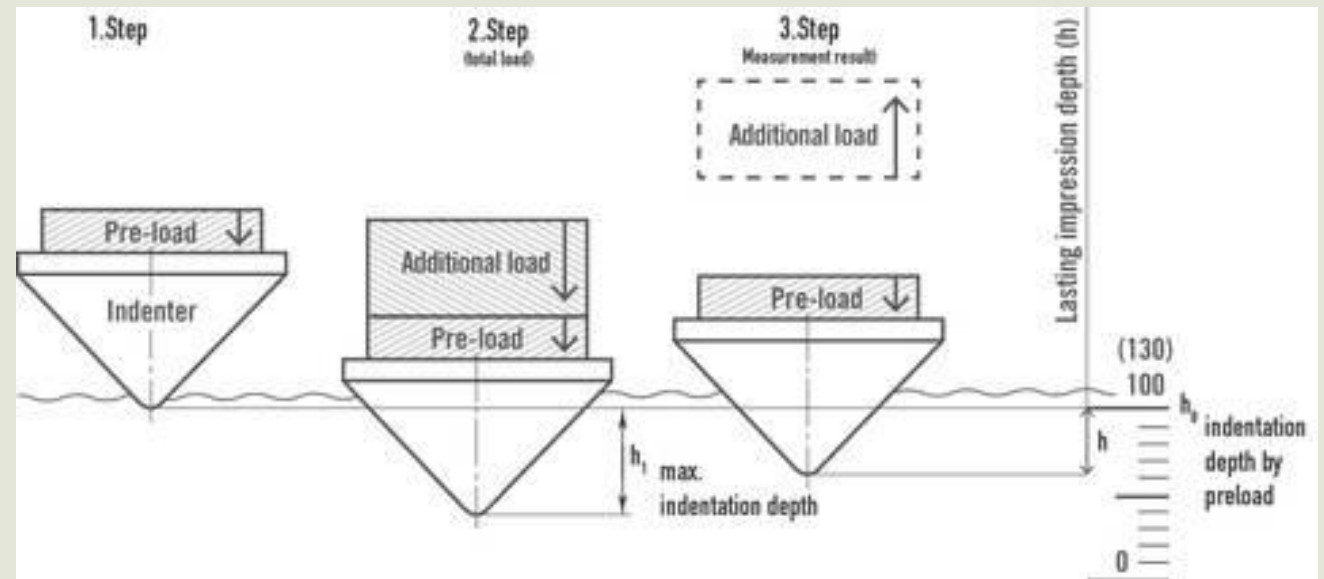
2.4 Prova di durezza Rockwell: generalità

La **prova di durezza Rockwell**, definita dalla norma UNI EN ISO 6508-1, è completamente diversa dalle precedenti dal momento che il provino è sottoposto ad un carico in due tempi mediante un penetratore, ovvero:

- Si sottopone il provino ad un precarico F_0 e si misura la profondità dell'impronta
- Si sottopone il provino ad un carico aggiuntivo F_1 ;
- Si elimina il carico aggiuntivo e si misura la profondità dell'impronta in presenza del solo precarico F_0 .

Indicando con: N un parametro fisso che dipende dal tipo di prova Rockwell effettuata, h l'aumento residuo della profondità di penetrazione sotto il precarico F_0 dopo l'eliminazione del carico aggiuntivo, S un parametro di riferimento dipendente dal tipo di prova effettuata, la durezza Rockwell si misura mediante la relazione:

$$HR = N - \frac{h}{S}$$



2.4 Prova di durezza Rockwell: generalità

Esistono varie scale di durezza Rockwell che dipendono sostanzialmente dal tipo di penetratore adoperato, nonché dal carico addizionale in aggiunta al precarico. Le scale maggiormente adoperate sono la B e la C i cui valori di riferimento sono indicati in tabella.

In funzione del tipo di scala di misura adoperata, si aggiunga la relativa lettera al simbolo *HR*.

Si rammenta che i valori di durezza calcolati mediante le diverse prove precedentemente descritte sono in generale diversi tra loro. Normalmente i valori ottenuti con le prime due prove di durezza sono molto prossimi dal momento che le prove hanno la stessa modalità di svolgimento e le relazioni costitutive sono simili. Al contrario, i valori ottenuti mediante la prova di durezza Rockwell non sono in linea di principio confrontabili con i precedenti. In aggiunta, non è possibile confrontare tra loro neanche i valori di durezza Rockwell ottenuti con diverse scale.

Scala Rockwell	Penetratore	F_0 (N)	F_1 (N)	S (mm)	N
B	Sfera in acciaio di diametro 1.587 mm, ovvero 1/16 di pollice.	98.07	882.6	0.002	130
C	Cono di diamante con angolo diedro 120°	98.07	1373.0	0.002	100