

DISPENSA DEL CORSO DI TECNOLOGIA MECCANICA

per la classe I operatori meccanici



Prof. G. ZATTA

INDICE		
METROLOGIA La misura Calibro a nonio ventesimale Calibro a nonio cinquantessimale Calibro digitale Micrometro centesimale Il comparatore La tolleranza METALLURGIA (1°parte) L'atomo La struttura metallica Difetti del reticolo Lega metallica Leghe del ferro Leghe del rame Leghe dell'alluminio SOLLECITAZIONI MECCANICHE Le forze Le sollecitazioni meccaniche LA PROVA DI TRAZIONE Provino Grafico (F-ΔL) Comportamento elasto-plastico Resistenza meccanica Rm Esempi di calcolo DESIGNAZIONE LEGHE DEL Fe (UNI EU 27) Designazione degli acciai Designazione delle ghise grigie	LA DUREZZA Durezza Mohs Durezza brinell HB Durezza Vickers HV Durezza Rockwell tipo C e tipo B PROPRIETA' TECNOLOGICHE Fusibilità, saldabilità, plasticità, tenacità METALLURGIA (2°parte) I trattamenti termici Allotropia del ferro Il carbonio Tempra degli acciai Rinvenimento Bonifica Ricottura completa Altri trattamenti termici LE MACCHINE UTENSILI Utensile Velocità di taglio Vt Il trapano Il tornio La fresatrice MATERIALI ORGANICI Materiali naturali Materie plastiche	MATERIALI CERAMICI Materiali amorfi Materiali cristallini Materiali refrattari MATERIALI COMPOSITI Fibre Matrice Metodi di formatura ELABORAZIONE STATISTICA Media aritmetica di N numeri Distribuzione dei valori LA RESILIENZA I provini Il pendolo di Charpy Aspetto della frattura Influenza della temperatura LA DILATAZIONE TERMICA Aspetti generali Esempi di calcolo SIDERURGIA Produzione della ghisa Fonderia della ghisa Convertitori Produzione dell'acciaio da rottame

FINALITÀ'

Il corso di Tecnologia Meccanica svolto al primo anno ha la funzione di introdurre lo studente alla meccanica ed in particolare è volto a fornire quegli strumenti generali che lo accompagneranno per tutta la sua vita professionale. In particolare si approfondiscono gli aspetti più importanti della metrologia, della conoscenza dei materiali metallici, della loro designazione e dei trattamenti termici. Altri argomenti vengono svolti in modo più descrittivo in quanto oggetto di approfondimento nelle classi successive.

OBIETTIVI MINIMI

Gli obiettivi minimi di una disciplina sono quegli argomenti che se saputi in modo completo consentono di conseguire una valutazione sufficiente. Per il corso di Tecnologia Meccanica gli obiettivi minimi sono:

- (1° quadrimestre) saper eseguire una misurazione con gli usuali strumenti di officina.
- (1° quadrimestre) conoscere la designazione delle leghe ferrose (acciai e ghise grigie).
- (1° quadrimestre) saper determinare le principali proprietà meccaniche di una lega (prove HB, HRc e di trazione).
- (2° quadrimestre) conoscere i trattamenti termici e le trasformazioni strutturali che avvengono negli acciai.
- (2° quadrimestre) conoscere l'architettura delle macchine utensili e le basi del processo di asportazione di truciolo.
- (2° quadrimestre) conoscenza generale dei materiali ceramici, organici, compositi e del fenomeno della dilatazione termica.

“Chi pensa poco sbaglia molto” -Leonardo da Vinci (1452-1512)

METROLOGIA

La prima parte del corso si occupa della misura delle grandezze fisiche. Per questo si fa riferimento alla dispensa del corso di Fisica con particolare attenzione ai seguenti argomenti:

- il concetto di grandezza fisica,
- la misura (valore numerico, unità ed errore),
- cifre significative e arrotondamenti.

Di seguito si riportano alcuni richiami utili per lo studio delle grandezze meccaniche.

LA MISURA

La metrologia si occupa della misura delle grandezze fisiche, degli strumenti impiegati e dei procedimenti.

Tutto ciò che è misurabile è una grandezza fisica: la lunghezza è una grandezza fisica ed anche la temperatura mentre la comodità di una poltrona non è misurabile e quindi non è una grandezza fisica.

Supponiamo di voler misurare il diametro di un pistone di un motore automobilistico e impiegare i due strumenti visibili nell'immagine.



Se utilizziamo il metro avvolgibile, la misurazione consente di dire che il diametro è un "un po' più di 64 millimetri" ma poiché il valore più prossimo è 64 questo è il valore della misura effettuata.

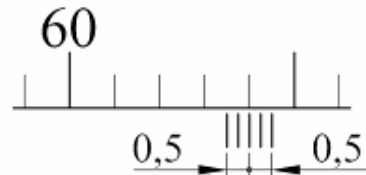


Impiegando invece il calibro centesimale il valore del diametro che si legge sul display è di 64,47 millimetri.



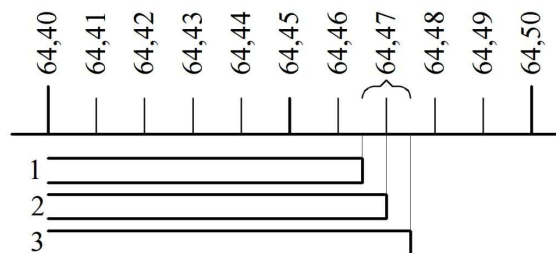
In entrambi i casi l'unità di misura adottata è il millimetro (mm) mentre i valori ottenuti sono: 64 con il metro avvolgibile e 64,47 con il calibro centesimale. Le due misure hanno errori diversi che dipendono dallo strumento.

Nel caso del metro avvolgibile l'errore che l'operatore può commettere è compreso tra -0,5mm e +0,5mm come è indicato nell'immagine seguente (pari a metà del valore della divisione).



Dallo schema precedente si comprende che tutte le lunghezze rappresentate dalle linee in basso vengono approximate allo stesso valore e cioè 64.

Nel caso del calibro centesimale l'errore commesso è compreso tra il valore -0,005mm e +0,005mm.



Infatti il circuito elettronico dello strumento indica sul display il valore 64,47 indistintamente per tutte le grandezze che si discostano fino a mezzo centesimo di millimetro (0,005mm) come appare nell'immagine precedente.

Eeguire una misura significa: associare ad una grandezza fisica una informazione costituita da un numero, un'unità di misura e un errore.

Esempio 1: misura con metro avvolgibile:
 $D = 64 \text{ mm con errore } \pm 0,5 \text{ mm}$

Esempio 2: misura con calibro centesimale:
 $D = 64,47 \text{ mm con errore } \pm 0,005 \text{ mm}$

Dal confronto delle due misure è possibile dire che la seconda ha un errore cento volte inferiore e quindi una maggiore precisione.

UNITA' DI MISURA

Le unità di misura sono estremamente importanti anche da un punto di vista economico e quindi l'uso è regolamentato con leggi. L'Italia, dal 1982 (DPR 12-08-1982 n. 802), adotta le unità di misura del Sistema Internazionale (S.I.) di seguito descritte con riferimento alle norme CNR UNI 10003 e ISO R 1000.

Di seguito vengono richiamate solo quattro delle sette unità fondamentali ed in particolare quelle che maggiormente vengono utilizzate in ambito meccanico.

Lunghezza

nome dell'unità	metro
simbolo	m
Era definito come la lunghezza del campione custodito al Sèvres mentre dal 1983 è definito come la distanza percorsa dalla luce in 1/299792458 s.	

Massa

nome dell'unità	chilogrammo
simbolo	kg
E' definito come la massa del campione primario N°1 realizzato nella lega Platino-Iridio ed è custodito dal 1889 al Sèvres.	

Tempo

nome dell'unità	secondo
simbolo	s
E' definito basandosi sulle proprietà elettroniche del Cesio.	

Temperatura

nome dell'unità	kelvin
simbolo	K
Il kelvin unità di temperatura termodinamica, è la frazione 1/273,16 della temperatura termodinamica del punto triplo dell'acqua.	

È ancora utilizzato il grado Celsius (°C) che è definito come la centesima parte dell'intervallo di temperatura tra il punto di congelamento dell'acqua a pressione atmosferica (0°C) ed il punto di ebollizione (100°C) alla medesima pressione.

Il kelvin (K) ha lo stesso significato ma la scala è tarata con lo zero (0K) in corrispondenza dello zero assoluto (-273,15°C) come di seguito illustrato.



Per le unità di misura sono previsti dei multipli e dei sottomultipli, i cui prefissi, simboli e fattori moltiplicativi sono indicati nella seguente tabella.

Prefisso	Simb.	Fattore moltiplicativo	
tera	T	10^{12}	1'000'000'000'000
giga	G	10^9	1'000'000'000
mega	M	10^6	1'000'000
kilo	k	10^3	1'000
etto	h	10^2	100
deca	da	10^1	10
-		10^0	1
deci	d	10^{-1}	0,1
centi	c	10^{-2}	0,01
milli	m	10^{-3}	0,001
micro	μ	10^{-6}	0,000001
nano	n	10^{-9}	0,000000001
pico	p	10^{-12}	0,000000000001

Esempio:

$$123456\text{mm} = 123,456\text{m} = 0,123456\text{km}$$

Oltre al S.I. sono ancora presenti altri sistemi di misura e quindi se ne dà una breve panoramica.

Il sistema inglese si basa sul pollice (inch) e la libbra (pound). Gli stati che lo adottano stanno progressivamente passando al S.I.

$$1 \text{ in (inch)} = 25,4 \text{ mm}$$

$$1 \text{ ft (foot)} = 12 \text{ in} = 304,8 \text{ mm}$$

$$1 \text{ y (yard)} = 3 \text{ ft} = 0,9144 \text{ m}$$

$$1 \text{ s (second)} = 1 \text{ s}$$

$$1 \text{ p (pound)} = 0,4536 \text{ kg}$$

$$1 \text{ oz (ounce)} = 1/16 \text{ p} = 0,02835 \text{ kg}$$

$$1 \text{ HP (horse power)} = 745,7 \text{ W} = 0,7547 \text{ kW}$$

$$1 \text{ psi (pound per square inch)} = 6894,87 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ mi (mile) miglio terrestre} = 1609,3 \text{ m}$$

$$1 \text{ nmi (nautical mile) miglio marino} = 1852 \text{ m}$$

$$(1 \text{ miglio romano} = 1481,75 \text{ m})$$

Il sistema tecnico era adottato dall'Italia prima del 1982 e non prevedeva tra le unità di misura la massa (kg) ma bensì la forza misurata in chilogrammi peso o chilogrammi forza (kgf). La forza nel S.I. è una grandezza derivata dalle grandezze fisiche fondamentali e si misura in newton (N).

$$1 \text{ kgf (chilogrammo forza)} = 9,80665 \text{ N}$$

$$1 \text{ kcal (chilocaloria)} = 4186,8 \text{ J}$$

$$1 \text{ kWh (chilowattora)} = 3'600'000 \text{ J}$$

$$1 \text{ CV (cavallo vapore)} = 735,5 \text{ W} = 0,7355 \text{ kW}$$

$$1 \text{ kcal/h (chilocaloria all'ora)} = 1163 \text{ W} = 1,163 \text{ kW}$$

$$1 \text{ at (atmosfera tecnica)} = 1 \text{ kgf/cm}^2 \approx 0,98 \text{ bar}$$

Oltre all'atmosfera tecnica (at) si ricorda anche l'atmosfera fisica (atm) utilizzata dai fisici:

$$1 \text{ atm (atmosfera fisica)} = 101325 \text{ Pa} \approx 1,01 \text{ bar}$$

Per quanto riguarda la pressione, l'unità di misura prevista dal S.I. è il Pascal (Pa).

$$1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Pa}$$

$$100'000 \text{ Pa} = 1 \text{ bar}$$

CONDIZIONI AMBIENTALI STANDARD

Nelle misure di precisione, affinché l'ambiente esterno non influenzi il valore rilevato, si sono stabilite delle condizioni ambientali standard obbligatorie che sono:

- la temperatura deve essere uniforme e pari a 20°C.
- la pressione atmosferica deve essere di 1atm=101325Pa

A titolo di esempio, se un perno a 20°C ha un diametro Ø30,00 a 60°C il diametro è diventato Ø30,01.

BLOCCHETTI DI RISCONTRO

Tali strumenti sono detti anche blocchetti pianparalleli o blocchetti Joanson e sono i campioni più precisi disponibili in officina e nei laboratori di misure.

Sono realizzati in quattro classi di precisione a seconda dell'uso:

- 00 laboratori scientifici ad altissima precisione.
- 0 controllo di apparecchi ad alta precisione.
- 1 controllo di calibri e micrometri (sono i più comuni)
- 2 controllo di apparecchi di misura IT6 ed IT7.

Gli errori di costruzione sono i seguenti:

00: ±0,1 µm ; 0: ±0,2 µm ; 1: ±0,4 µm ; 2: ±0,8 µm ;

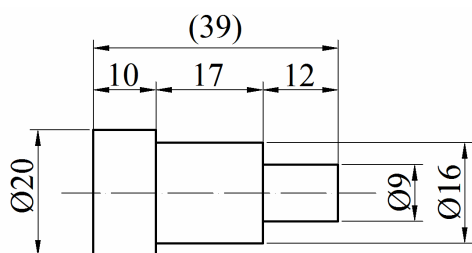
La loro finitura superficiale è ottenuta per lappatura; le superfici risultano speculari e se due blocchetti puliti sono compressi tra loro (70MPa) si incollano (non si saldano).



CONVENZIONI

Ogni settore in genere adotta una unità di misura che per comodità non viene indicata dopo il valore. Ad esempio nei disegni meccanici la distanza 17 significa 17mm; nei disegni edili invece la distanza 17 se riferita al calcestruzzo significa 17cm.

Segue l'esempio di un disegno di un perno.

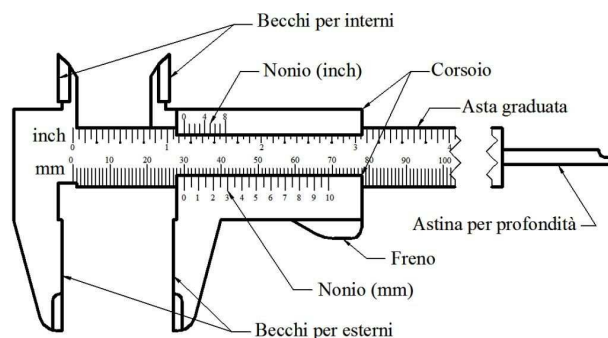
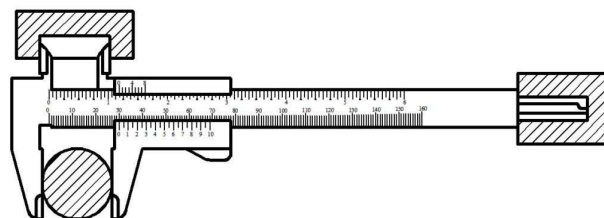


CALIBRO A NONIO VENTESIMALE

Il calibro ventesimale è lo strumento di misura più diffuso in officina e consente di misurare diametri esterni, diametri interni e profondità.



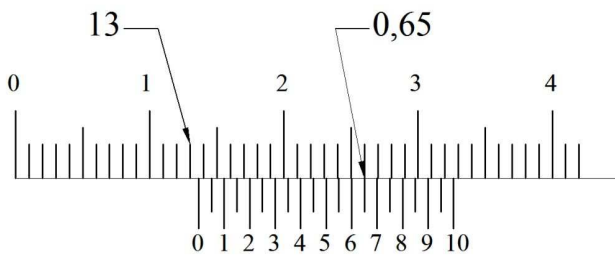
E' costituito da un'asta su cui sono incise la scala millimetrica e quella in pollici. La parte mobile è detta corsoio e riporta due scale graduate dette ciascuna nonio.



I calibri sono realizzati in acciaio inossidabile temprato in modo da preservarne l'efficienza nei confronti della corrosione e dell'usura.

La lettura dello strumento deve essere effettuata assicurandosi che lo sguardo risulti perpendicolare al nonio al fine di ridurre il più possibile gli errori di parallasse assai frequenti con gli strumenti a nonio.

La lettura del calibro ventesimale si esegue sommando i millimetri interi presenti a sinistra dello zero del nonio alla parte decimale del nonio stesso indicata dalla linea coincidente con la scala fissa.

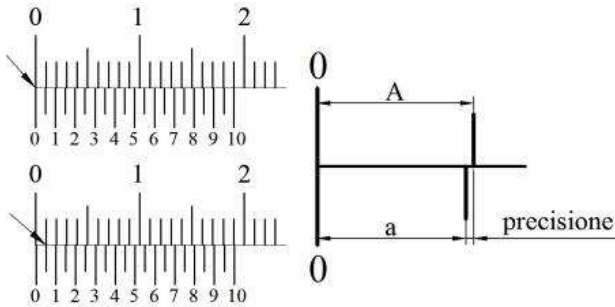


Letture = 13,65

La precisione del calibro ventesimale, che possiamo definire come la più piccola dimensione misurabile, è pari a 0,05mm.

$$Precisione = \frac{1mm}{20} = 0,05mm$$

Per calcolare la precisione dello strumento ci serviamo delle due seguenti immagini.



Nella prima il calibro è chiuso (lettura = 0) mentre nella seconda è aperto in modo che la prima tacca oltre lo zero del nonio coincida con la tacca più vicina della scala fissa. La lettura dello strumento, in questo secondo caso, è uguale alla sua precisione ed è pari alla differenza tra un intervallo della scala fissa ($A=1mm$) ed un intervallo del nonio ($a=19mm/20$).

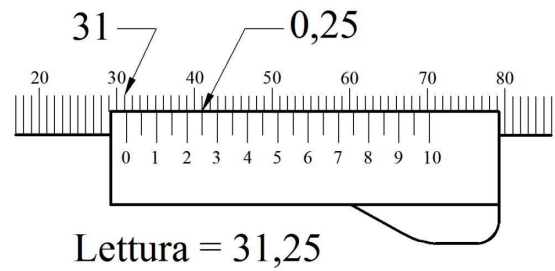
$$Precisione = A - a = 1mm - \frac{19mm}{20} =$$

$$Precisione = \frac{(20-19)mm}{20} = \frac{1mm}{20} = 0,05mm$$

Ogni tacca del nonio rappresenta quindi un incremento di 0,05mm come anticipato nell'esempio di lettura.

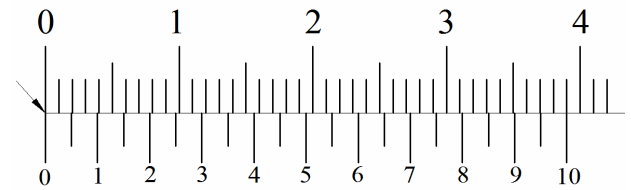
Senza eseguire calcoli, è possibile riconoscere immediatamente la precisione di uno strumento a nonio semplicemente contando le divisioni del nonio stesso. Il numero di divisioni corrisponde al numero di suddivisioni del millimetro.

Spesso si impiegano calibri ventesimali con scala doppia che risultano di più facile lettura come raffigurato nell'immagine seguente.



Letture = 31,25

Calcolando la precisione come nel caso precedente, è pari alla differenza tra due intervalli della scala fissa (2mm) e un intervallo del nonio ($39mm/20$).

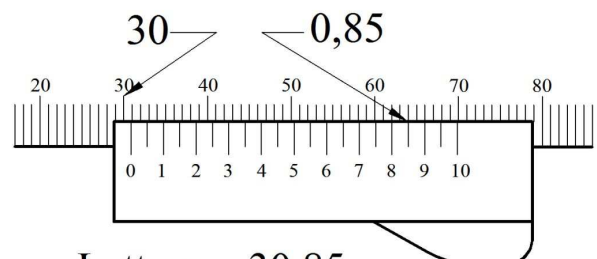


$$Precisione = 2mm - \frac{39mm}{20} =$$

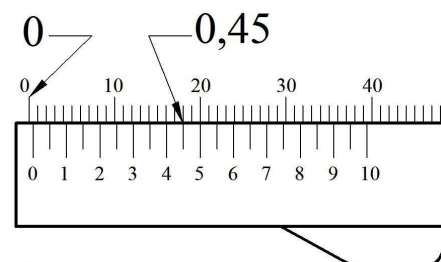
$$Precisione = \frac{(40-39)mm}{20} = \frac{1mm}{20} = 0,05mm$$

Anche in questo caso, ogni tacca del nonio rappresenta 0,05mm.

Di seguito vengono riportati due esempi di misura eseguiti con il calibro ventesimale a nonio con scala doppia.



Letture = 30,85

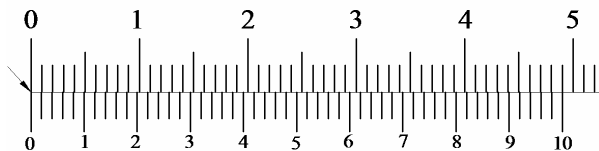


Letture = 0,45

CALIBRO A NONIO CINQUANTESIMALE

Il calibro con nonio cinquantiesimale ha una precisione pari a 1/50 di mm e cioè 0,02 mm. Valori ancora inferiori non sarebbero riconoscibili dall'occhio umano.

Nell'immagine seguente è riportata la scala fissa e il nonio del calibro cinquantiesimale.



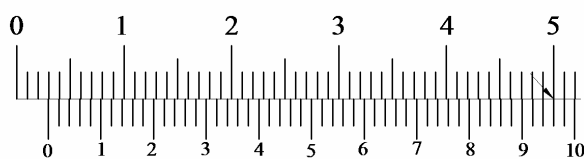
Calcolando la precisione come nel caso del calibro ventesimale, essa è pari alla differenza tra un intervallo della scala fissa (1mm) ed un intervallo del nonio (49/50mm).

$$Precisione = 1mm - \frac{49mm}{50} =$$

$$Precisione = \frac{(50 - 49)mm}{50} = \frac{1mm}{50} = 0,02mm$$

Ogni tacca del nonio rappresenta quindi un incremento di 0,02mm.

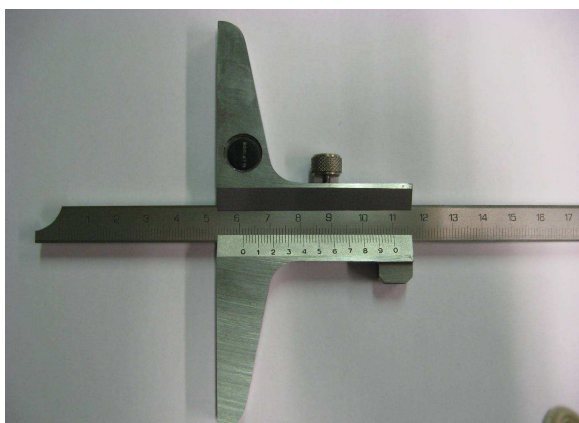
Di seguito viene riportato un esempio di lettura. (2,96)



Segue l'immagine di un calibro cinquantiesimale con portata 250mm per diametri esterni ed interni.



Segue l'immagine di un calibro cinquantiesimale per profondità.



CALIBRO DIGITALE

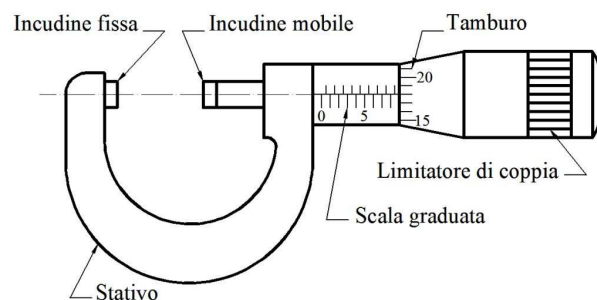
Oggi trovano sempre più spazio i calibri digitali che hanno, in genere, una sensibilità di 1/100 = 0,01 mm.



Tali strumenti risultano assai pratici per l'immediata lettura, tuttavia la pressione del contatto esercitata manualmente e il sistema di guida del corsoio inducono variazioni nella misura anche dell'ordine del centesimo di millimetro (0,01mm).

MICROMETRO CENTESIMALE (Calibro Palmer)

Il micrometro centesimale è costituito da un corpo con forma ad arco, detto anche stativo, ed una parte mobile solidale con il tamburo graduato munita di una vite micrometrica con passo 0,50mm.

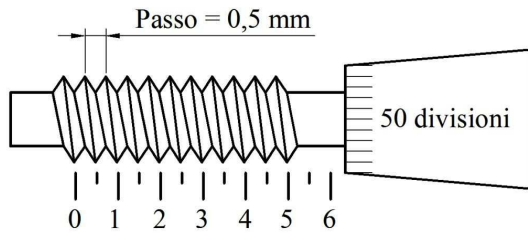


Segue l'immagine di un micrometro centesimale per esterni con campo di misura 25÷50 mm.



Il diametro da misurare viene posto tra l'incudine fissa e l'incudine mobile che viene avvicinata comandando la vite micrometrica attraverso la frizione limitatrice di coppia limitando la pressione massima tra le incudini ad un valore compreso tra 5 e 10N.

Nell'immagine seguente viene rappresentata la vite micrometrica interna del micrometro.



Il tamburo graduato presenta 50 divisioni e quindi ciascuna tacca vale $1/100 = 0,01\text{mm}$ dal momento che la vite micrometrica ha un passo di $0,50\text{mm}$.

$$\text{divisione} = \frac{0,50\text{mm}}{50} = 0,01\text{mm}$$

La lettura del micrometro avviene contando le tacche corrispondenti ai millimetri interi (due giri di tamburo per ogni millimetro), sommando poi $0,50\text{mm}$ se è presente la tacca del mezzo millimetro (un giro di tamburo) e infine aggiungendo i centesimi corrispondenti alle divisioni del tamburo.



Nell'immagine precedente i millimetri interi sono 6, è presente la tacca del mezzo millimetro e il tamburo indica 23 centesimi.

La lettura risulta: $6 + 0,50 + 0,23 = 6,73$

Seguono altri esempi di letture.



La lettura risulta: $6 + 0,50 + 0,21 = 6,71$



La lettura risulta: $31 + 0,28 = 31,28$



La lettura risulta: $31 + 0,50 + 0,27 = 31,77$

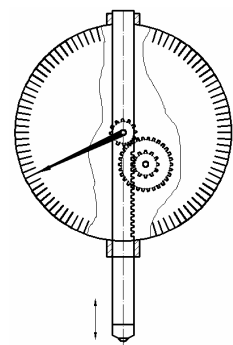
L'elevata precisione dello strumento richiede oltre alla pulizia della superficie da misurare anche un preciso posizionamento.

Segue l'immagine di una misurazione eseguita su un pezzo in lavorazione al tornio.



IL COMPARATORE

Il comparatore centesimale è costituito da un'asta tastatrice che attraverso un sistema di ingranaggi moltiplicatori consente la lettura del proprio spostamento su un quadrante.



Ogni giro della lancetta maggiore attraversa 100 tacche e corrisponde ad uno spostamento dell'asta di un millimetro. Ne deriva che la precisione dello strumento è di $1/100 = 0,01\text{mm}$.

Oltre al quadrante principale è presente un secondo quadrante minore che conteggia i giri della lancetta maggiore.

Per renderne agevole l'uso, il comparatore viene fissato su un sostegno telescopico con base magnetica.

LA TOLLERANZA

Si definisce tolleranza, o più precisamente ampiezza della tolleranza, la differenza tra la dimensione massima e la dimensione minima o d'ora innanzi la differenza tra diametro massimo e diametro minimo.

$$\text{Tolleranza} = \varnothing_{\max} - \varnothing_{\min}$$

LA TOLLERANZA PRESCRITTA (da disegno)

È la tolleranza richiesta da chi commissiona il pezzo ed è attribuita in funzione del funzionamento richiesto al componente. La tolleranza prescritta si può esprimere in tre modi.

Secondo ISO: con una lettera ed un numero pe. $\varnothing 20^{h11}$

Con gli scostamenti: es. $\varnothing 20 (0; -0,130)$

Con il \varnothing_{\min} ed il \varnothing_{\max} : es. $\varnothing_{\min} = 19,870; \varnothing_{\max} = 20,000$

Qualora il pezzo prodotto abbia un diametro effettivo non compreso tra il \varnothing_{\min} ed il \varnothing_{\max} va scartato (il committente non lo paga al costruttore).

ES.

$\varnothing 5 (-0,270; -0,300)$

equivale a $\varnothing_{\max} = 4,730; \varnothing_{\min} = 4,700$

$\varnothing 420 (-0,068; -0,165)$

equivale a $\varnothing_{\max} = 419,932; \varnothing_{\min} = 419,835$

$\varnothing 30 (\pm 0,2)$

equivale a $\varnothing_{\max} = 30,200; \varnothing_{\min} = 29,800$

$\varnothing_{\max} = 79,970; \varnothing_{\min} = 79,951$

equivale a $\varnothing 80 (-0,030; -0,049)$

LA TOLLERANZA DI LAVORAZIONE

È la tolleranza che la MU, o lo strumento di lavoro, in condizioni normali, riescono ad assicurare.

Essa dipende dal tipo di MU, dalle sue condizioni, dall'UT e dal materiale.

ES.

Tornio parallelo di grosse dimensioni obsoleto: $\pm 0,05$ e quindi la tolleranza risulta di 0,1

Tornio parallelo di medie dimensioni, buona costruzione e buono stato d'uso: $\pm 0,0025$; Toll=0,005

Tornio CNC di buona costruzione e medie dimensioni: $\pm 0,001$; Toll= 0,002

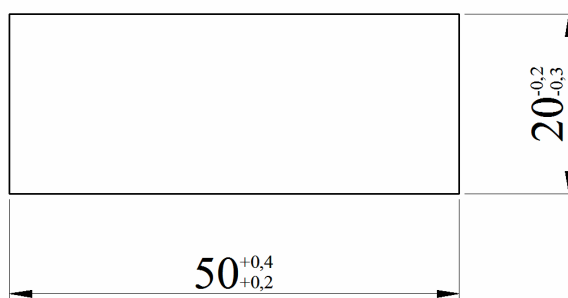
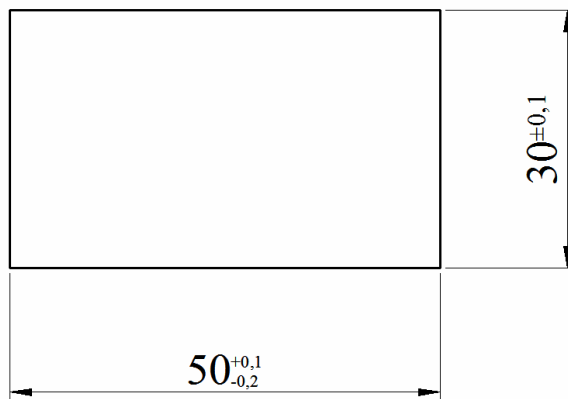
Foratura $\varnothing 20 \div 30$ fori poco profondi: $\pm 0,05 \div \pm 0,1$

Taglio con seghetto alternativo su diametri medi: $\pm 0,5$

Taglio con segatrice a nastro su $\varnothing 30$: $\pm 0,05$

La tolleranza prescritta deve essere sempre maggiore della tolleranza di lavorazione affinché il pezzo possa essere realizzato.

Esercizio:
determinare le dimensioni massime e minime delle seguenti piastre rettangolari.



Esercizio:
determinare l'ampiezza del campo di tolleranza delle seguenti quote tollerate.

$$\varnothing 32^{h8} \left(\begin{matrix} 0 \\ -0,039 \end{matrix} \right)$$

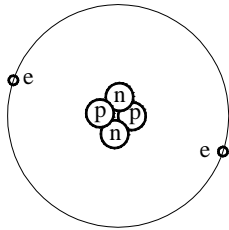
$$\varnothing 56^{m7} \left(\begin{matrix} +0,041 \\ +0,011 \end{matrix} \right)$$

$$\varnothing 180^{H11} \left(\begin{matrix} +0,250 \\ 0 \end{matrix} \right)$$

L'ATOMO

L'atomo è costituito da un nucleo centrale contenente protoni p^+ carichi positivamente e neutroni n elettricamente neutri, all'esterno c'è la nube elettronica costituita da elettroni e^- carichi negativamente che si muovono su orbite prestabilite.

La dimensione (diametro) dell'atomo è indicativamente compresa tra 0,074nm (H) e 0,540nm (Fr), mentre il rapporto tra il diametro dell'atomo ed il diametro del nucleo vale $10000 \div 100000$.



Il numero di elettroni in condizioni normali è pari al numero di protoni e quindi l'atomo risulta neutro.

Qualora l'atomo perda uno o più elettroni diventa uno ione positivo, viceversa quando acquista elettroni diventa uno ione negativo.

Quando due o più atomi si uniscono stabilmente ha luogo il legame chimico.

Nel legame chimico sono coinvolti solo gli elettroni ed in particolare solo quelli più esterni.

ES: $NaCl$ CO_2 H_2O Al_2O_3

Durante il legame chimico ciascun atomo della molecola mette in compartecipazione un certo numero di atomi che vengono complessivamente attratti dai singoli atomi in modo più o meno forte.

Legame ionico: si ha un legame chimico di tipo ionico quando un atomo attrae gli elettroni in comune in modo assai più forte dell'altro. ES. $NaCl \rightarrow Na^+Cl^-$

Legame covalente: si ha un legame chimico covalente quando la forza di attrazione verso gli elettroni in comune è circa uguale per tutti gli atomi della molecola. ES. H_2O CO_2 O_2 N_2

Legame metallico: alcuni atomi, detti appunto metalli, quando sono uniti insieme (atomi tutti uguali) formano il legame chimico metallico. Tutti gli atomi presenti mettono in comune uno o più elettroni esterni che sono liberi di muoversi in tutto il blocco. La struttura che ne risulta può essere vista come una rete di ioni positivi attraversati da una nube di elettroni che occupa tutto il blocco metallico. All'esterno il blocco appare neutro.

I metalli sono tutti dei buoni conduttori di corrente elettrica poiché la corrente elettrica altro non è che un movimento di elettroni e la nube elettronica dei metalli, non essendo vincolata agli ioni, può facilmente muoversi. ES. Al Cu Ni Mo Au Ag Fe

LA STRUTTURA METALLICA

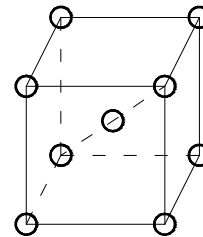
Un metallo allo stato gassoso si comporta come un gas, è cioè composto da atomi che si muovono ciascuno per proprio conto rimbalzando sulle pareti del recipiente che lo contiene.

Allo stato liquido gli atomi metallici risultano ancora liberi gli uni dagli altri ma rimangono addossati in modo disordinato e si muovono scivolando tra loro come tutti i liquidi.

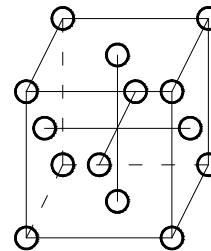
Quando avviene la solidificazione gli atomi assumono una struttura ordinata e fissa composta da "mattoni" disposti regolarmente. Queste unità base si chiamano celle elementari.

Gli elementi di maggior interesse industriale adottano le seguenti celle elementari:

CCC: Fe a temperatura ambiente, Cr, Mo, W, V, (tali metalli sono mediamente deformabili).



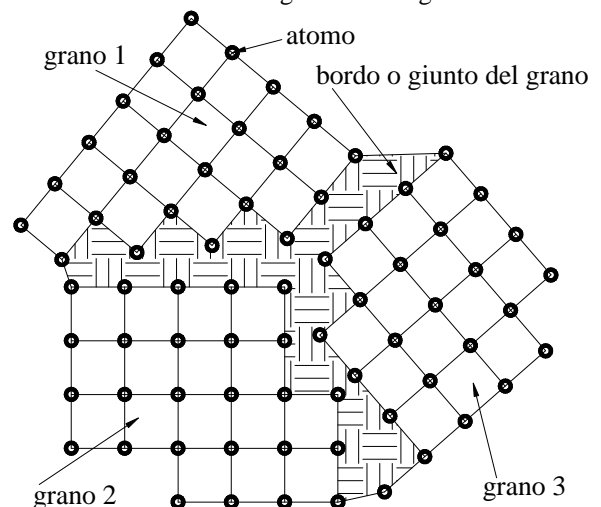
CFC: Fe a temperatura elevata, Cu, Al, Ag, Au (facilmente deformabili)



La solidificazione inizia generalmente in più punti del liquido (nuclei di solidificazione) dove i primi atomi si dispongono regolarmente secondo CCC o CFC.

La solidificazione prosegue se a fianco della prima cella se ne accostano altre.

La struttura finale prende il nome di reticolo cristallino ed è schematizzata nella seguente immagine:



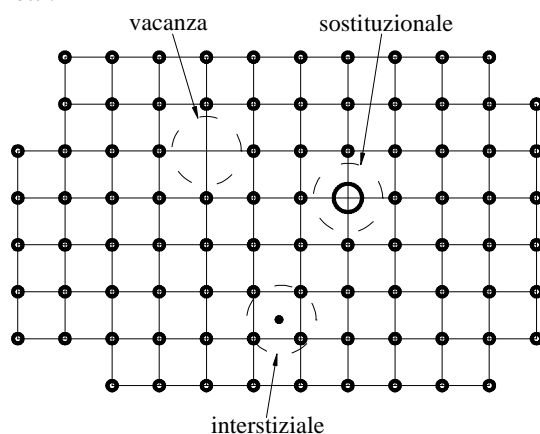
Le dimensioni dei grani possono variare da un minimo di qualche μm fino a qualche decimo di millimetro.

DIFETTI DEL RETICOLO

I difetti presenti nel reticolo possono essere puntuali (localizzati in un punto), lineari (lungo una linea), superficiali (su una superficie p.e. il bordo del grano) ed infine di volume.

Per affrontare gli argomenti successivi è sufficiente prendere in considerazione solo i difetti puntuali.

I difetti puntuali possono essere generati dall'assenza di un atomo (vacanza); dalla presenza di un atomo diverso in una posizione prevista (sostituzionale), dalla presenza di un atomo diverso in posizione non prevista (interstiziale). Segue uno schema riassuntivo dei tre difetti:



Quando un elemento estraneo entra nel reticolo ha due possibilità: entrarvi sostituzionalmente oppure interstizialmente. Affinché un elemento entri interstizialmente deve avere dimensioni assai più piccole del metallo base e per il ferro, che ha già dimensioni ridotte, esistono solo tre elementi che possono occuparne gli interstizi: C, B e N (carbonio, boro e azoto).

Ne consegue che tutti gli altri elementi entrano nel reticolo del ferro in modo sostituzionale.

Qualsiasi difetto del reticolo ne provoca una distorsione.

LEGA METALLICA

Quando in un metallo sono presenti anche altri atomi diversi dal costituente base si parla di soluzione solida o lega metallica o semplicemente lega.

L'elemento metallico principale prende il nome di solvente mentre gli altri elementi sono detti soluti.

I soluti si suddividono a loro volta in elementi di alligazione e impurezze.

Gli elementi di alligazione sono elementi aggiunti che apportano caratteristiche positive alla lega (resistenza, durezza, colabilità, inossidabilità).

Le impurezze sono elementi che si trovano già nel materiale base e non è possibile o non è economicamente vantaggioso togliere. Le impurezze apportano caratteristiche negative alla lega (fragilità ecc.).

Seguono alcuni esempi di leghe metalliche molto importanti da un punto di vista industriale.

LEGHE DEL FERRO

L'elemento più importante per il ferro è il carbonio, esso infatti modifica più di ogni altro le caratteristiche meccaniche della lega. Un aumento del tenore (%) di carbonio aumenta la durezza ed anche la fragilità.

Acciaio → lega di Fe + C con $\%C \leq 2\%$

Ghisa → lega di Fe + C con $2 \leq \%C \leq 4\div 5\%$

Gli acciai sono deformabili a caldo ed anche a freddo ma sono difficilmente colabili a causa dell'elevata viscosità allo stato liquido.

Le ghise sono leghe facilmente colabili ma non sono mai deformabili né a caldo né a freddo.

Tra tutti gli acciai, specie per quelli di produzione italiana, acquistano sempre maggior importanza gli acciai inossidabili (stainless o rostfrei). Essi sono acciai contenenti cromo in percentuale superiore al 12÷13% e tale elemento di alligazione li rende inattaccabili dalla ruggine se esposti all'aria aperta.

LEGHE DEL RAME

Ottoni: sono leghe da deformazione plastica (barre, tubi, lamiere) e sono composte da rame e zinco:

$Cu + Zn \rightarrow$ Ottone

Bronzi: sono leghe prevalentemente da fonderia (campane, statue) e sono costituite da rame e stagno:

$Cu + Sn \rightarrow$ Bronzo

LEGHE DELL'ALLUMINIO

L'alluminio puro ha una densità di circa 2700 kg/m^3 e quindi viene sfruttato soprattutto per la sua leggerezza, considerando che l'acciaio ha una densità circa tripla (7800 kg/m^3 circa).

Le leghe dell'alluminio sono le più varie e vengono scelte in funzione dell'utilizzo. In generale si chiamano leghe leggere tutte le leghe dell'alluminio con densità inferiore a 3000 kg/m^3 .



SOLLECITAZIONI MECCANICHE

LE FORZE

Le proprietà meccaniche di un materiale riguardano il suo comportamento quando viene sollecitato da forze esterne.

Le forze che sollecitano i componenti meccanici possono suddividersi: statiche, dinamiche e periodiche.

Una forza si definisce statica quando viene applicata con gradualità e perdura per un certo periodo; per esempio:

- peso di un ponte sulle fondazioni,
- tiro di una fune metallica.

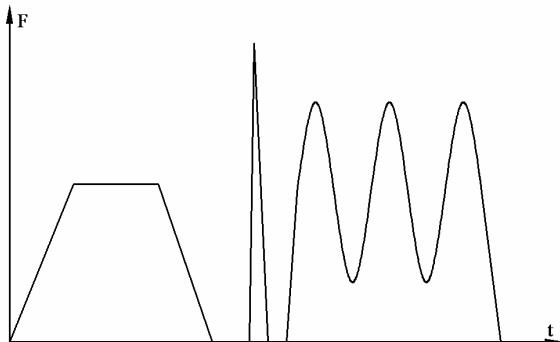
Una forza si definisce dinamica o impulsiva quando viene applicata sotto forma di urto (durata inferiore a 1/10 di secondo); per esempio:

- una martellata,
- il rimbalzo del pallone sulla traversa.

Una forza si definisce periodica o ciclica quando varia in continuazione tra un valore massimo ed uno minimo; per esempio:

- peso sopportato da un piede nella camminata,
- sospensione di un'auto.

Nel grafico seguente è indicato il valore della forza F in funzione del tempo. Si riconosce la forza statica, quella dinamica ed infine quella periodica.



LE SOLLECITAZIONI MECCANICHE

Una forza (statica, dinamica o periodica) produce una sollecitazione interna del materiale, genera cioè uno stato di tensione nel materiale.

Le sollecitazioni possibili sono 5:

- trazione (fune, catena)
- compressione (mattoni, colonne)
- flessione (trave di un ponte)
- torsione (asta di un a chiave a T)
- taglio (lamiera durante la tranciatura)

Per determinare le proprietà meccaniche dei materiali si eseguono le prove meccaniche. Le prove meccaniche consistono nel sottoporre il materiale ad una forza che lo solleciti secondo uno dei 5 casi precedenti.

Nel corso di tecnologia studieremo la prova di trazione che è la prova più importante tra le prove meccaniche sui materiali.

Esercizio

Il seguente ponte sospeso in costruzione ha elementi soggetti a: trazione, compressione, flessione. Indicarli nell'immagine.



Esercizio

La seguente trasmissione ha elementi soggetti a: trazione, compressione, flessione, taglio e torsione. Indicarli nell'immagine-

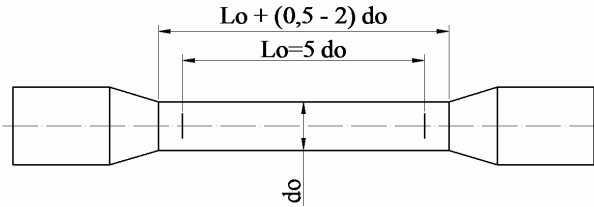


PROVA DI TRAZIONE

PROVINO

La prova di trazione consiste nel sottoporre una provetta di forma unificata ad una forza di trazione via via crescente fino a provocarne la rottura.

La norma UNI prevede la seguente provetta cilindrica:

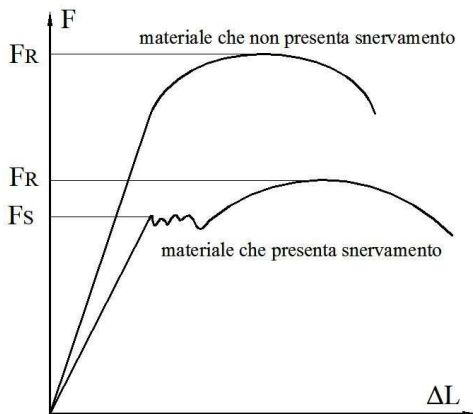


La provetta ha un tratto calibrato centrale con diametro d_0 e lunghezza tra i riferimenti L_0 pari a 5 volte il diametro d_0 . Le estremità ingrossate servono a favorire la presa da parte della macchina.

Fissata la provetta sulle morse inizia l'applicazione del carico in modo molto lento (la prova è di tipo statico) fino a quando si giunge a rottura.

GRAFICO (F- ΔL)

Se durante la prova si rilevano il valore della forza F e dell'allungamento ΔL è possibile tracciare il grafico seguente.



Tutte le macchine per la prova di trazione hanno un dispositivo meccanico o elettronico che consente di tracciare in modo automatico il grafico.

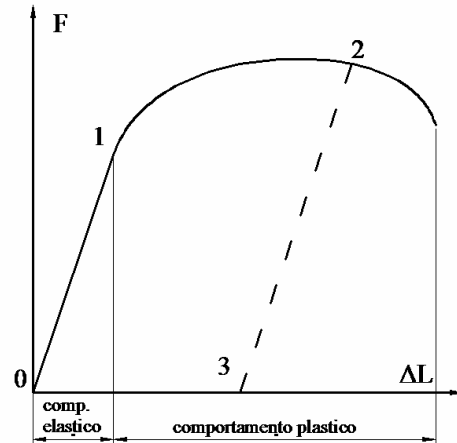
Alcuni materiali, come gli acciai da carpenteria, presentano il fenomeno dello snervamento al termine del primo tratto rettilineo.

Il parametro più importante è il carico o forza di rottura F_R che esprime il valore massimo della forza sopportata dal provino.

COMPORAMENTO ELASTO - PLASTICO

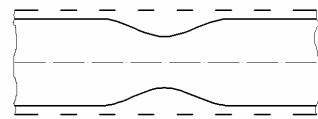
Nel primo tratto rettilineo il materiale ha un comportamento elastico e cioè se la forza F diminuisce la deformazione ΔL si annulla e la curva viene percorsa esattamente al contrario.

Nel tratto curvo successivo invece, il materiale ha un comportamento plastico ovvero al diminuire della forza F non tutta la deformazione ΔL si annulla. Ciò significa che il provino ha subito un allungamento permanente (deformazione plastica).



Nel grafico precedente è indicato con linea tratteggiata il comportamento del provino se viene interrotta la prova al punto 2 azzerando la forza. Si può notare che l'allungamento ΔL nel punto finale (3) non si è annullato.

Un altro fenomeno caratteristico visibile sul provino appena si giunge in corrispondenza della forza massima F_R è la strizione, e cioè il provino inizia a ridurre la sua sezione in una zona limitata del tratto calibrato dove poi si romperà.



Nella figura precedente è evidenziato il fenomeno della strizione. Inizialmente il provino (linea tratteggiata) si contrae uniformemente a causa dell'allungamento ma dopo il raggiungimento del valore massimo della forza inizia la strizione seguita poco dopo dalla rottura.



RESISTENZA MECCANICA R_m

La resistenza meccanica R_m di un materiale è la sua proprietà meccanica più importante.

La resistenza meccanica è la forza necessaria per rompere un millimetro quadrato della sezione a trazione.

$$R_m = \frac{F_R}{A}$$

Dove F_R è la forza di rottura dell'intero provino espressa in N ed A è la sezione resistente del provino espressa in mm^2 .

La resistenza meccanica si misura in N/mm^2 che equivalgono a MPa (mega Pascal).

ESEMPI DI CALCOLO

Prima di affrontare alcuni esempi di calcolo per componenti soggetti a trazione vengono forniti alcuni valori di R_m per alcuni materiali di comune impiego.

Materiale	R_m [N/mm ²]
Legno lungo le fibre	20-40
Nylon	40-50
Acciaio da carpenteria	350-600
Acciaio media resistenza	600-800
Acciaio alta resistenza	800-1300
Acciaio per funi metalliche	1500-1800
Ghisa grigia	200-300
Rame puro	150-200
Rame con elementi di alligazione	300-500
Alluminio puro	75
Alluminio con elementi di alligaz.	150-250

1) Calcolare la resistenza meccanica R_m del materiale di un tirante $\varnothing 10$ se si rompe con una forza di rottura $F_R = 40820N$.

$$A = \pi \cdot R^2 = 3,14 \cdot 5^2 = 78,5 \text{ mm}^2$$

$$R_m = \frac{F_R}{A} = \frac{40820N}{78,5\text{mm}^2} = 520 \frac{N}{\text{mm}^2} = 520\text{MPa}$$

2) Calcolare la forza di rottura F_R necessaria per rompere a trazione un tirante in acciaio con sezione rettangolare 8×30 conoscendo la resistenza meccanica del materiale $R_m = 370 \text{ N/mm}^2$.

Dalla definizione di R_m si ricava F_R e cioè:

$$R_m = \frac{F_R}{A} \rightarrow F_R = R_m \cdot A$$

L'area A vale 240mm^2 e quindi la forza di rottura F_R è:

$$F_R = R_m \cdot A = 370 \cdot 240 = 88800N$$

3) Calcolare la sezione (area A) con la quale realizzare un tirante affinché si rompa a trazione con una forza F_R di circa $10000N$ sapendo che la resistenza meccanica del materiale è $R_m = 640\text{N/mm}^2$.

Dalla definizione di R_m si ricava A e cioè:

$$R_m = \frac{F_R}{A} \rightarrow A = \frac{F_R}{R_m}$$

$$A = \frac{F_R}{R_m} = \frac{10000N}{640 \frac{N}{\text{mm}^2}} = 15,63\text{mm}^2$$

Tale area può essere ottenuta con una sezione quadrata 4×4 oppure con una sezione circolare $\varnothing 4,5$ circa.

DESIGNAZIONE LEGHE FERROSE (UNI EU 27)

RICHIAMI

- Si definisce acciaio una lega tra ferro e carbonio con percentuale di carbonio inferiore al 2%.
- Si definisce ghisa una lega tra ferro e carbonio con percentuale di carbonio compresa tra il 2% ed il 4-5% (max 6,67%).
- Un acciaio si definisce inossidabile quando contiene cromo in percentuale superiori al 11-13%.
- La resistenza meccanica (R_m) di un materiale è la forza necessaria per rompere a trazione una sezione di 1mm^2 . Si misura in N/mm^2 oppure in MPa ($1\text{MPa} = 1 \text{ N/mm}^2$).
- La resistenza allo snervamento (R_s) di un materiale è il rapporto tra la forza di snervamento F_s e l'area A . Si misura in N/mm^2 come R_m .

DESIGNAZIONE DEGLI ACCIAI

La designazione degli acciai secondo le norme UNI EU 27 prevede la suddivisione in due gruppi.

- **Gruppo I:** acciai designati partendo dalle loro caratteristiche meccaniche e acciai partendo dall'impiego. Questi acciai sono generalmente impiegati allo stato grezzo di laminazione o, in casi eccezionali, dopo ricottura di normalizzazione. Vengono indicati spesso con il termine acciai da costruzione.
- **Gruppo II:** acciai designati partendo dalla loro composizione chimica. Essi vengono detti anche acciai speciali perché vengono posti in opera dopo trattamento termico.

Gruppo I

La sigla che denota gli acciai del gruppo I inizia con il simbolo Fe seguito dal valore della resistenza meccanica R_m minima garantita dal produttore espressa in MPa (N/mm^2).

Gli acciai da costruzione più diffusi sono:

Tipo	$R_{m\min}$	$R_{s\min}$	A%
Fe 360	360 MPa	235 MPa	26%
Fe 430	430 MPa	275 MPa	23%
Fe 510	510 MPa	355 MPa	21%

Il tipo Fe 360 si impiega solo per piatti o profilati semplici non strutturali. Qualora l'acciaio da costruzione abbia particolari attitudini viene designato interponendo tra il simbolo Fe e il valore numerico la lettera che ne indica l'impiego: V oppure M per applicazioni magnetiche; P per l'imbutitura; B per la costruzione di barre d'armatura per cls (il valore numerico che segue in questo caso rappresenta R_s); H per la laminazione a freddo; R per tubi saldati; G adatto per getti; E indica semplicemente che il valore numerico indica R_s anziché R_m come nel caso della B. Se l'acciaio contiene qualche elemento chimico che ne conferisce particolari attitudini viene riportato alla fine.

Esempi:

Fe 410; Fe 490

Fe E 355; Fe E 390

Fe B 215; Fe B 325; Fe B 375; Fe B 430

Fe G 430; Fe G 450; Fe 410 Pb; Fe 410 Cu

Descrizione della designazione

- Fe 360: acciaio del primo gruppo, designato in base alle caratteristiche meccaniche. Esso ha una resistenza meccanica minima garantita di 360 N/mm².
- Fe B 325: acciaio del primo gruppo, adatto per realizzare barre d'armatura per il calcestruzzo armato con resistenza allo snervamento minima garantita di 325 N/mm².

Gruppo II

La suddivisione degli acciai del II gruppo prevede tre categorie: gli acciai al solo carbonio, gli acciai debolmente legati, gli acciai legati.

La designazione degli *acciai al solo carbonio* prevede la lettera C seguita dalla percentuale media di carbonio moltiplicata per 100. Precede il simbolo G nel caso si tratti di un acciaio per getti oppure una cifra indicante il grado qualitativo dell'acciaio. Nel caso l'acciaio sia costruito per un impiego specifico viene contrassegnato da una lettera dopo il simbolo C. Eventuali elementi chimici che conferiscono particolari proprietà vengono indicati alla fine. Il suffisso KU significa adatto per utensili.

Esempi:

C10; C15;

C40; C45; C60;

C100 KU; C140 KU;

G C 20; 1 C 35; C 40 S

Descrizione della designazione

- C45: acciaio al solo carbonio con percentuale di carbonio dello 0,45%. È un acciaio da bonifica.
- C140KU: acciaio al solo carbonio, con percentuale di carbonio del 1,40% adatto per utensili. È un acciaio da bonifica con cui si realizzano p.e. lime.

Gli acciai *debolmente legati* sono quegli acciai nei quali ciascun elemento di alligazione è inferiore al 5%. Si designano con una cifra indicante la % di carbonio moltiplicata per cento. Seguono le sigle degli elementi chimici presenti in ordine decrescente e infine uno o più numeri indicanti la percentuale dei principali elementi moltiplicata per un coefficiente che dipende dall'elemento:

- 4 per Co, Cr, Mn, Ni, Si, W.
- 10 per Al, Be, Cu, Mo, Nb, Pb, Ta, Ti, V, Zr.
- 100 per N, P, S.
- 1000 per B.

Esempi:

39 NiCrMo 3; 34NiCrMo16;

50CrV4; 100Cr6;

Descrizione della designazione

- 39NiCrMo3: acciaio debolmente legato con percentuale di carbonio dello 0,39%, contenente anche nichel (0,75%) oltre a cromo e molibdeno in percentuali minori. È un acciaio da bonifica.

Completano il gruppo II gli *acciai legati* (o fortemente legati). In essi almeno un elemento di alligazione supera la percentuale del 5%. Sono in massima parte acciai inossidabili o utensili. La loro designazione inizia con il simbolo X seguito dalla percentuale di carbonio moltiplicata per 100.

A seguire l'elenco degli elementi di alligazione in ordine decrescente ed infine i valori delle % di tali elementi. Il suffisso KU significa adatto per utensili.

Esempi:

X30 Cr 13

X6 Cr 17

X5 Cr Ni 18-10

X80 W Co V 18-5-1 KU

Descrizione della designazione

- X 5 Cr Ni 18-10: acciaio fortemente legato con percentuale di carbonio dello 0,05%, contenente anche cromo (18%) e nichel (10%). È un acciaio inossidabile ed è impiegato per realizzare forchette, cucchiai, recipienti per alimenti, arredamenti ecc.

DESIGNAZIONE DELLE GHISE GRIGIE

Esistono diversi tipi di ghise in funzione dell'impiego a cui sono destinate oppure in base agli elementi di alligazione contenuti. Le ghise più diffuse sono le ghise grigie per getti e la loro designazione secondo la norma UNI 5007 prevede il simbolo G seguito dal valore di Rm minimo garantito in N/mm². Esse sono:

G 00 UNI 5007

G 100 UNI 5007

G 150 UNI 5007

G 200 UNI 5007

G 250 UNI 5007

G 300 UNI 5007

G 350 UNI 5007

Barre d'armatura realizzate in FeB375.



Pignone realizzato in 39NiCrMo3 e cuscinetto con rulli realizzati in 100Cr6.



LA DUREZZA

La durezza di un materiale è definita come la resistenza a lasciarsi penetrare da un penetratore di forma opportuna e con durezza superiore al materiale testato. Esistono diversi metodi per la misurazione della durezza; di seguito vengono riportati il metodo Mohs e alcune tra le più importanti prove meccaniche di durezza.

DUREZZA MOHS

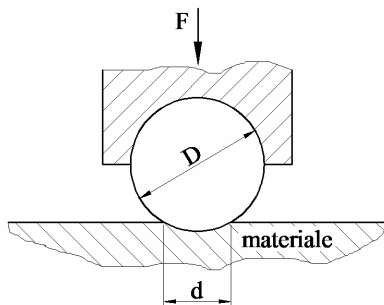
La scala di Mohs prende il nome dal mineralogista austriaco Friedrich Mohs ed è un metodo empirico per la valutazione della durezza dei minerali. Essa assume come riferimento la durezza di dieci minerali numerati progressivamente da 1 a 10 e tali che ciascuno è in grado di scalfire quello che lo precede ed è scalfito da quello che lo segue.

(1 talco; 2 gesso; 3 calcite; 4 fluorite; 5 apatite; 6 ortoclasio; 7 quarzo; 8 topazio; 9 corindone; 10 diamante).

DUREZZA BRINELL (HB)

La durezza Brinell standard utilizza un penetratore sferico $D=10$ realizzato in acciaio temprato. Il carico F applicato è di 3000kg_f (circa 30000N) e permane per un tempo $t=15\text{s}$.

Tale prova viene impiegata su rame (Cu) e sue leghe, alluminio (Al) e sue leghe, acciai ricotti con tenore di carbonio medio-basso. La superficie del provino deve essere rettificata.



Dopo l'applicazione del carico sul provino metallico rimane un'impronta a forma di calotta sferica di diametro d . Tale dimensione d viene misurata con un microscopio misuratore che di solito si trova sul durometro stesso.

Il valore numerico dell'indice di durezza HB si calcola dividendo il valore della forza F (kg_f) per l'area A (mm^2) dell'impronta:

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

La prova di durezza Brinell si esegue su materiali con durezza massima HB450 per non danneggiare il penetratore.

Affinché la prova sia accettabile è necessario che il rapporto d/D sia compreso tra 0,25 e 0,50.

$$0,25 \leq \frac{d}{D} \leq 0,5$$

Oltre al penetratore $\varnothing 10$ impiegato nella Brinell standard vi sono anche i diametri $\varnothing 5$; $\varnothing 2,5$; $\varnothing 1,6$.

L'indice di durezza Brinell ottenuto con la prova standard viene indicato con il simbolo HB seguito dal valore numerico calcolato (segue l'esempio per il C40 ricotto):

HB 220

Qualora la prova non si svolga secondo le condizioni standard si indicano anche i valori del diametro D , del carico F e del tempo t come indicato nell'esempio seguente:

($HB_{D/F/t}$) $HB_{5/750/10}$ 190

Per materiali più duri del limite previsto (HB 450) è possibile impiegare un penetratore realizzato in Hard Metal.

I valori dell'indice di durezza Brinell per gli acciai di impiego comune oscillano tra HB140 e HB250.

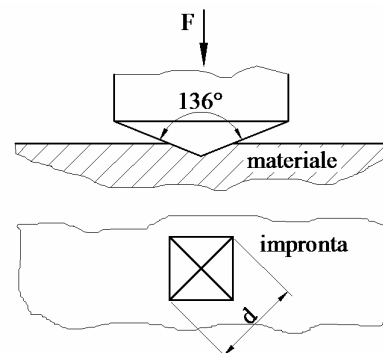
Una relazione empirica molto utile lega il valore della durezza HB al valore della resistenza meccanica R_m :

$$R_m = 3,4 \cdot HB$$

DUREZZA VICKERS (HV)

La prova di durezza Vickers utilizza un penetratore con forma piramidale base quadrata (angolo al vertice di 136°) realizzato in diamante.

La forza applicata F non ha un valore standard ma varia a discrezione dell'operatore (in genere da 100 a 1000N). La superficie del provino deve essere rettificata.



L'indice della durezza Vickers HV si calcola ancora come rapporto tra la forza applicata F (kg_f) e l'area dell'impronta A (mm^2).

$$HV = \frac{F}{A} = \frac{F}{0,539 \cdot d^2}$$

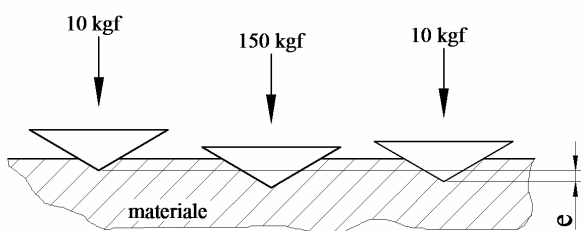
Dove d rappresenta la diagonale dell'impronta misurata con uno strumento ottico. La prova Vickers si può utilizzare su tutti i materiali ad esclusione del diamante.

DUREZZA ROCKWELL tipo C (HRc)

La prova di durezza Rockwell tipo C è la prova di durezza più diffusa nelle officine meccaniche ed è impiegata per misurare la durezza degli acciai temprati. Lo strumento (durometro) è molto semplice e non ha bisogno di uno strumento ottico per misurare l'impronta.

Il penetratore è costituito da un cono in diamante con angolo al vertice di 120°. Le fasi della prova sono le seguenti:

- posizionamento del provino
- applicazione di un precarico di 10kg_f
- azzeramento dello strumento di misura
- applicazione del carico aggiuntivo di 140kg_f
- permanenza del carico totale di 150kg_f
- riduzione del carico a 10kg_f
- lettura del valore di HRc
- eliminazione del precarico



Il valore numerico dell'indice di durezza HRc letto sullo strumento si ottiene togliendo un punto al valore convenzionale di 100 ogni 0,002 mm di e.

Ad esempio se $e=0,080$ i punti da togliere sono 40 ($0,080/0,002$) ed il valore della durezza Rockwell C è HRc60 che corrisponde ad un acciaio temprato di elevata durezza.

La prova HRc viene impiegata su materiali con durezza comprese tra HRc20 e HRc70-80.

DUREZZA ROCKWELL tipo B (HRb)

La prova di durezza Rockwell tipo B impiega un penetratore sferico ($D = 1/16in = 1,5875mm$) in acciaio temprato con un precarico di 10kg_f ed un carico aggiuntivo di 90kg_f in modo da raggiungere un carico complessivo di 100kg_f.

Il durometro impiegato è il medesimo della HRc con l'accorgimento di impostare il carico aggiuntivo diverso e sostituendo la scala dello strumento di misura.

La procedura di prova è la stessa della HRc, mentre il campo di impiego è limitato agli acciai non temprati e comunque per quei materiali con HRc minore di 20.

Oltre alle scale C (conic), B (ball) ne esistono altre 30 circa, ciascuna con il proprio campo di applicazione e le proprie caratteristiche.

PROPRIETA' TECNOLOGICHE

Le proprietà tecnologiche di un materiale ne misurano l'attitudine ad una certa lavorazione. Di seguito vengono elencate le principali.

FUSIBILITÀ

Attitudine di un materiale ad essere fuso per realizzare getti. Sono molto fusibili quei materiali che hanno una bassa temperatura di fusione e una bassa viscosità allo stato liquido.

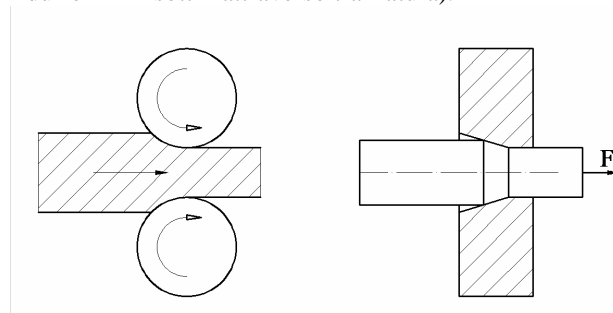
ES. ghisa grigia: buona fusibilità
acciaio: scarsa fusibilità.

SALDABILITÀ

Attitudine di un materiale a lasciarsi saldare.

PLASTICITÀ

Attitudine alla deformazione plastica. Essa si divide a sua volta in *Malleabilità* (lasciarsi ridurre in fogli sottili attraverso laminazione) e in *Duttilità* (lasciarsi ridurre in fili sottili attraverso trafilatura).



TENACITÀ (PROPRIETÀ MECCANICA)

Un materiale presenta una buona tenacità se la rottura richiede un'elevata energia.

ES. il vetro ha tenacità nulla
il C40 bonificato ha un'alta tenacità

Di seguito vengono elencate la densità e la temperatura di fusione di alcuni materiali impiegati nelle costruzioni.

Materiale	Densità [kg/dm ³]	T _{fusione} [°C]
alluminio	2,7	660
argento	10,49	960,8
cromo	7,19	1875
ferro	7,87	1535
acciaio C40	7,81	1500 circa
ghisa grigia	7,25	1150 circa
magnesio	1,74	650
oro	19,32	1064
piombo	11,38	327,4
rame	8,96	1083
stagno	7,29	231,9
zinco	7,14	419

I TRATTAMENTI TERMICI

Il trattamento termico di un materiale è un qualsiasi ciclo termico (riscaldamento, permanenza, raffreddamento) che ne modifichi le caratteristiche meccaniche e/o chimiche.

Un esempio di trattamento termico non meccanico può essere la cottura della pasta, la quale dopo la permanenza ad una certa temperatura cambia le proprie caratteristiche.

La tempra è uno dei trattamenti termici dell'acciaio più importanti per raggiungere la massima durezza e può essere eseguita su acciai con percentuale di carbonio superiore al 0,20-0,25%. La procedura di tempra è abbastanza semplice, essa consiste nel riscaldare il materiale fino ad una certa temperatura e dopo un periodo di permanenza si esegue un brusco raffreddamento al termine del quale il materiale ha aumentato notevolmente la sua durezza. Prima di studiare le modificazioni strutturali apportate dalla tempra è bene proseguire alcuni argomenti accennati nella 1° parte di metallurgia.

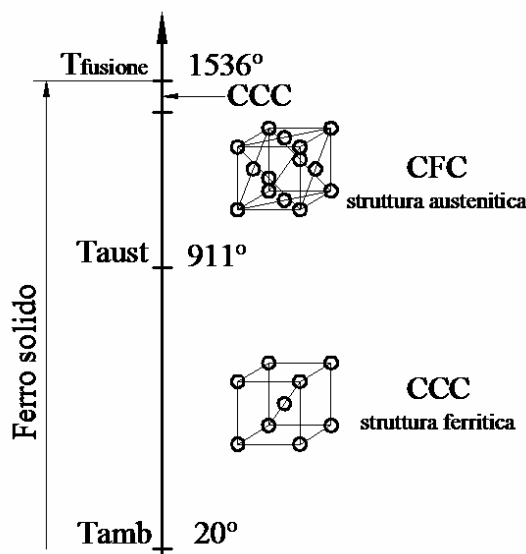
ALLOTROPIA DEL FERRO

Il ferro a temperatura ambiente possiede una cella elementare di tipo CCC mentre al di sopra di una certa temperatura detta temperatura di austenitizzazione (Taust) essa si trasforma istantaneamente in CFC. Quando una lega cambia cella ha luogo una trasformazione allotropica.

La temperatura Taust per il ferro puro è di 911°C mentre per gli acciai essa varia con la percentuale di carbonio e può essere trovata nei manuali (per il C40 Taust=820° circa).

Prima di giungere a fusione il ferro cambia tre volte cella come indicato nello schema seguente.

Altri metalli non presentano trasformazioni allotropiche, altri ancora come l'uranio presentano 5 trasformazioni allotropiche.



La struttura del ferro con cella CCC prende il nome di struttura ferritica o *ferrite*; quando invece la cella è CFC viene detta struttura austenitica o *austenite*.

IL CARBONIO

L'atomo di carbonio, nonostante le sue piccole dimensioni, non riesce ad entrare nel reticolo del ferro CCC e quindi rimane completamente al bordo del grano. La struttura austenitica invece presenta degli interstizi (spazi) più grandi tra gli atomi di ferro e qui il carbonio può diffondersi fino alla percentuale massima del 2%.

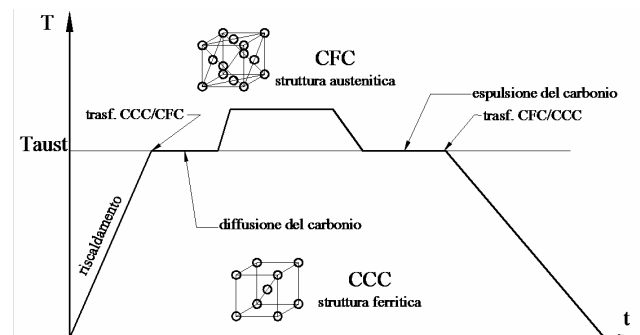
Supponiamo ora di riscaldare un acciaio ed osservare le sue trasformazioni interne:

- a temperatura ambiente la cella è CCC (ferrite) e il carbonio si trova tutto ai bordi dei grani,
- riscaldando la lega non cambia nulla finché si rimane al di sotto di Taust,
- giunti a Taust la struttura cambia istantaneamente da ferritica (CCC) ad austenitica (CFC),
- il carbonio, che si trova ancora ai bordi dei grani, inizia a diffondere verso l'interno del grano,
- dopo un certo tempo (20-30 min) il carbonio è completamente entrato nei grani diffondendosi in modo omogeneo,
- l'ulteriore riscaldamento non modifica la struttura.

Ripercorriamo ora la strada inversa raffreddando l'acciaio da una temperatura superiore a Taust:

- il raffreddamento dell'austenite non genera cambiamenti fino a quando non si giunge a Taust,
- giunti a Taust la cella CFC vuole trasformarsi in CCC ma la presenza del carbonio lo impedisce,
- inizia allora l'espulsione del carbonio al bordo del grano che per completarsi richiede un certo tempo (20-30 min.),
- terminata l'espulsione del carbonio la struttura cambia istantaneamente da CFC a CCC,
- il raffreddamento fino a Tamb non produce trasformazioni.

Il ciclo termico appena concluso può essere rappresentato su un grafico Temperatura-tempo.



TEMPRA DEGLI ACCIAI

Il processo di tempra può essere eseguito su quegli acciai che contengono almeno lo 0,20-0,25% di carbonio onde poter conseguire un aumento significativo della durezza.

Il pezzo da temprare viene posto nel forno già in temperatura e viene portato ad una temperatura di poco superiore a T_{aust} . (10-30°C oltre T_{aust}). Dopo un certo tempo il materiale raggiunge T_{aust} ed avviene in modo istantaneo la trasformazione CCC→CFC e quindi inizia la diffusione del carbonio all'interno dei grani che si completerà in 15-20 min.

Complessivamente sono trascorsi 20-30 min da quando è stato posto il pezzo nel forno e la struttura è completamente austenitica con carbonio diffuso all'interno dei grani.

Rapidamente il pezzo viene estratto dal forno e raffreddato bruscamente (qualche secondo) in olio o acqua.

Durante il raffreddamento la struttura austenitica raggiunta T_{aust} non può trasformarsi in ferrite poiché il carbonio si trova ancora nel grano dal momento che la forte velocità di raffreddamento non ne ha consentito l'espulsione al bordo del grano.

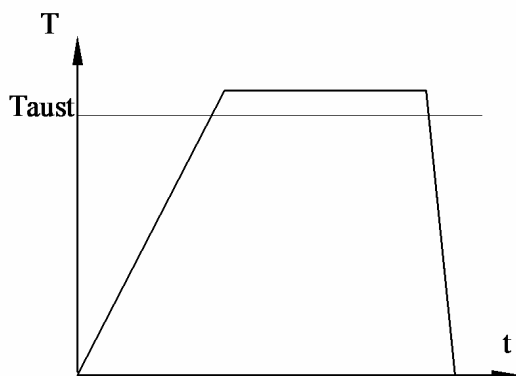
La cella CFC, man mano che la temperatura scende sotto T_{aust} , vuole trasformarsi con maggior forza in CCC.

Giunti ad una temperatura (200-400°C), che dipende dall'acciaio, tra T_{aust} e T_{amb} la cella CFC si trasforma in una cella intermedia tra CFC e CCC.

La nuova struttura prende il nome di *martensite* ed è molto distorta a causa della presenza degli atomi di carbonio contenuti all'interno.

La distorsione del reticolo genera un forte aumento della durezza.

Il ciclo termico subito dal pezzo può essere raffigurato dal seguente grafico dove il brusco raffreddamento è indicato dal tratto finale molto ripido.



L'operazione di raffreddamento in un liquido prende anche il nome di spegnimento.

I mezzi di spegnimento impiegati possono essere:

- acqua e sale agitata
- acqua
- olio agitato
- olio
- aria agitata
- aria calma

La tempra è sempre seguita dal rinvenimento.

RINVENIMENTO

La struttura martensitica è una struttura molto dura e quindi anche molto fragile, per questo motivo non può essere usata tal quale ma solo dopo aver praticato il rinvenimento.

Il trattamento termico di rinvenimento consiste nel portare la martensite ad una certa temperatura e mantenerla per un certo periodo di tempo.

In questo modo la martensite perde parte della sua durezza ma anche e soprattutto la sua fragilità.

La temperatura di rinvenimento può essere bassa 200-250°C oppure alta 550-600°C a seconda degli scopi (mai nella fascia intermedia).

In ogni caso la temperatura di rinvenimento è inferiore a T_{aust} . Seguono due esempi di rinvenimenti a temperatura diversa.

Un gancio realizzato in C45 viene temprato e poi rinvenuto ad una temperatura di 600°C per un tempo di 25min.

In questo modo riduce parte della sua durezza ed anche resistenza ma perde la fragilità diventando assai tenace. La tenacità è indispensabile per un organo di sicurezza come un gancio e quindi il rinvenimento deve avvenire ad alta temperatura.

Un dente per incidere il terreno in C45 viene temprato e poi rinvenuto ad una temperatura di 200°C per 30min.

In questo modo perde parte della sua fragilità ma conserva la durezza che ne evita il rapido consumo.

BONIFICA

La bonifica è il trattamento termico che comprende la tempra seguita dal rinvenimento.

Gli acciai da bonifica maggiormente impiegati sono:

- C40 per componenti poco sollecitati
- 39NiCrMo3 se maggiormente sollecitati

Il C40 presenta le seguenti durezze:

- allo stato ricotto HRC14-18;
- dopo tempra in acqua agitata HRC56-60;
- dopo rinvenimento 30 min a 250° HRC50;
- dopo rinvenimento 30 min a 600° HRC39.

Oltre al carbonio sono in genere presenti anche altri elementi di alligazione. Essi aumentano la facilità di tempra e consentono di temprare anche in olio o addirittura in aria (acciai autotemperanti).

- Il nichel migliora la temprabilità, aumenta la durezza allo stato ricotto e bonificato oltre che aumentare la resilienza.
- Il cromo aumenta la durezza ma allo stato ricotto rende la lega molto fragile.
- Il molibdeno ha molteplici effetti positivi e riduce la fragilità da rinvenimento generata da cromo e nichel.

RICOTTURA COMPLETA

La ricottura completa o ricottura è un trattamento termico che viene eseguito sugli acciai per tre motivi:

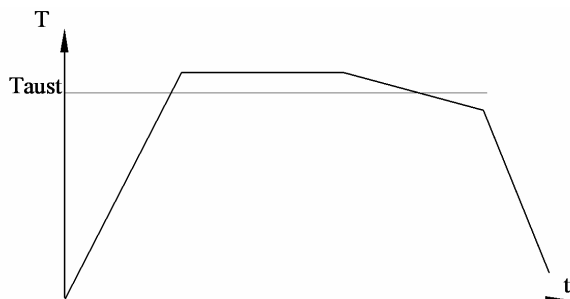
- aumento della lavorabilità alle macchine utensili (l'acciaio ha la durezza minima),
- rendere la struttura omogenea,
- eliminare completamente (o in parte) a trattamenti termici precedenti errati.

La ricottura consiste nelle seguenti fasi:

- riscaldare il materiale ad una temperatura di 30-50°C superiore a T_{aust} ,
- permanenza per un periodo sufficiente a rendere omogenea la struttura (30 min-1h)
- raffreddamento molto lento specie a cavallo di T_{aust} in modo da ottenere ferrite (CCC).

In genere il raffreddamento avviene lasciando il pezzo all'interno del forno dopo averlo spento.

Il ciclo termico della ricottura è indicato di seguito:



ALTRI TRATTAMENTI TERMICI

Cementazione o carbocementazione

La cementazione consiste nell'arricchire la superficie esterna di un pezzo con carbonio e poi bonificarlo. Sono impiegati per questo trattamento gli acciai con percentuale di carbonio inferiore allo 0,20%. In questo modo la parte interna non si temprando rimanendo tenace e solo la parte esterna indurisce.

Gli spessori induriti sono dell'ordine dei decimi. Vengono cementati gli alberi a camme e i fianchi dei denti delle ruote dentate.

Tempra superficiale

La tempra superficiale consiste nel riscaldare solo superficialmente il materiale e raffreddarlo immediatamente dopo. In questo modo la tempra riguarda uno spessore di qualche millimetro.

Il riscaldamento può avvenire con fiamma ossiacetilenica (tempra con fiammatura) oppure elettricamente (tempra ad induzione).

Le guide dei torni sono in genere temprate superficialmente come pure i denti delle grosse ruote dentate.

LE MACCHINE UTENSILI (MU)

Le macchine utensili (MU) vengono impiegate per la realizzazione di componenti meccanici attraverso l'asportazione di truciolo partendo da un grezzo o semilavorato.

L'asportazione di truciolo è compiuta da un utensile (UT) di opportuna durezza in moto relativo con il pezzo.

UTENSILE

I materiali con cui realizzare gli utensili sono molti ed in continua evoluzione per ricercare prestazioni sempre maggiori. I più diffusi sono l'acciaio superrapido (HSS) e il metallo duro (HM).

Gli HSS sono acciai con elevata durezza che contengono cobalto per mantenere la durezza anche a caldo.

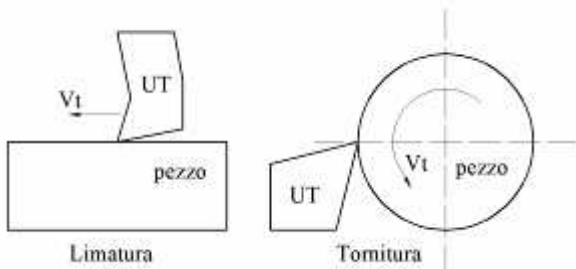
Il metallo duro è ottenuto per sinterizzazione del carburo di wolframio ed ha valori di durezza più elevati del HSS.

VELOCITA' DI TAGLIO V_t

La durata dell'utensile è legata principalmente alla velocità di taglio V_t che è la velocità con cui l'utensile taglia il metallo.

La lima viene mossa dall'operatore ad una velocità di circa 3-4 m/min.

A seconda del materiale in lavorazione e del materiale dell'utensile si adottano i seguenti valori di V_t misurati in m/min.



Materiale utensile HSS	
Materiale lavorato	V_t [m/min]
Fe 360	30-40
C40 ricotto	20-30
C45 ricotto	15-20

Materiale utensile HM	
Materiale lavorato	V_t [m/min]
Fe 360	150
C40 ricotto	80-120
C45 ricotto	60-100

Quando la velocità di taglio V_t è generata da un moto rotatorio si calcola nel seguente modo:

$$V_t = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$$

Con:

- V_t espressa in m/min;
- D (diametro) in mm;
- n (velocità di rotazione) in giri/min.

e la velocità di rotazione n si calcola invece (noti il diametro D e la velocità di taglio consigliata V_t) con:

$$n = \frac{V_t \cdot 1000}{\pi \cdot D}$$

Esempio.

Un pezzo $\varnothing 30$ ($D=30$), ruota ad una velocità di 1500 giri/min ($n=1500$). La velocità di taglio è:

$$V_t = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{\pi \cdot 30 \cdot 1500}{1000} = 141,3 \text{ m/min}$$

Esempio.

Un pezzo $\varnothing 1200$ ($D=1200$), ruota ad una velocità di 37,5 giri/min ($n=37,5$). La velocità di taglio è:

$$V_t = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{\pi \cdot 1200 \cdot 37,5}{1000} = 141,3 \text{ m/min}$$

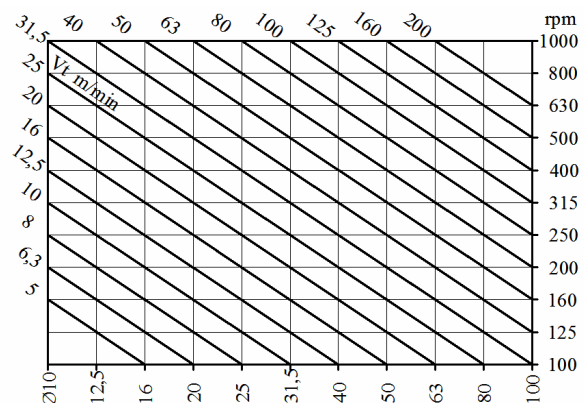
Esempio.

Un pezzo $\varnothing 35$ ($D=35$), deve essere sgrossato con una $V_t=20$ m/min. La velocità di rotazione n sarà:

$$n = \frac{V_t \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{20 \cdot 1000}{\pi \cdot 35} = 182 \text{ giri/min}$$

Il calcolo della velocità di taglio o del numero di giri più opportuno può essere fatto molto agevolmente utilizzando il nomogramma in dotazione sulle MU.

Di seguito ne è riportato un esempio:



Nella parte seguente vengono presentate brevemente le macchine utensili più comuni quali il trapano, il tornio e la fresatrice.

IL TRAPANO

Il trapano è forse la MU più semplice e consente di eseguire fori e alesature. Le tipologie più diffuse sono il trapano a colonna ed il trapano radiale.



Trapano a colonna da banco

Il trapano radiale è impiegato su pezzi di grandi dimensioni. In questo caso è la punta che si sposta e non il pezzo.



Trapano a colonna e radiale

Gli utensili impiegati nella foratura sono le punte elicoidali realizzate in HSS.



Punta elicoidale

Nei trapani a colonna la selezione della velocità di rotazione avviene attraverso due pulegge a gradini che si trovano nella testa e l'avanzamento viene impresso a mano (in modo sensitivo).



Testa di un trapano a colonna

Nel trapano radiale il cambio della velocità di rotazione è ad ingranaggi e l'avanzamento è automatico.

Il collegamento dell'utensile al mandrino della MU avviene attraverso un accoppiamento conico di varie dimensioni:

- cono *morse-1*: piccoli diametri ($\text{Ø}5$ - $\text{Ø}10$);
- cono *morse-2*: diametri medi;
- cono *morse-3*: trapani a colonna;
- cono *morse-4*: trapani radiali;
- cono *morse-5*: trapani radiali di grosse dim.

Per il montaggio di coni piccoli su macchine di dimensioni maggiori si impiegano delle riduzioni.



Riduzione morse-3-4

IL TORNIO

Il tornio consente di realizzare solidi di rivoluzione (cilindri, conicità) e filettature.

Oggi giorno i torni manuali hanno un ruolo secondario nelle officine poiché sono stati sostituiti dai torni a controllo numerico (CN).

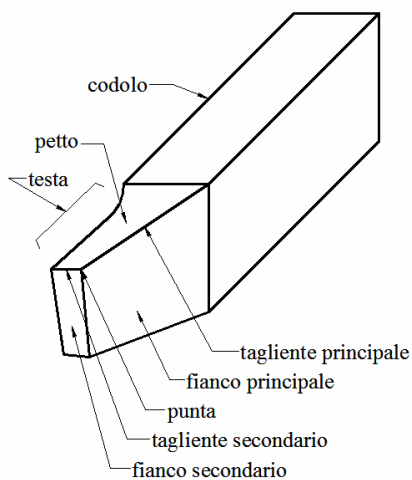


Tornio parallelo tradizionale

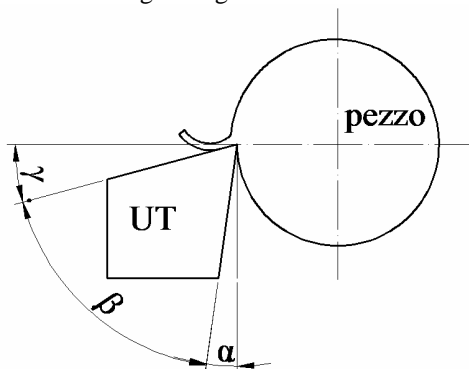


Tornio CNC con due torrette

L'utensile impiegato nella tornitura prende il nome di "utensile elementare". Di seguito ne vengono indicate le parti caratteristiche.



Gli angoli caratteristici di affilatura dell'utensile sono indicati nell'immagine seguente:



L'angolo γ (angolo di spoglia superiore) ha la funzione di favorire lo scorrimento del truciolo sul petto dell'utensile ($10-15^\circ$).

L'angolo α (angolo di spoglia inferiore) ha la funzione di evitare lo strisciamento del fianco contro il pezzo lavorato ($6-8^\circ$).

L'angolo β (angolo di taglio) rappresenta la resistenza dell'utensile (materiali duri in lavoro richiedono β maggiori).

Oggi nella tornitura si impiegano quasi esclusivamente utensili con inserti in metallo duro fissati meccanicamente (con vite).



Testa di utensile da tornio con inserto

Il moto di taglio è posseduto dal pezzo che viene fatto ruotare dal mandrino. Nella testa del tornio, oltre al mandrino, si trova il cambio delle velocità e generalmente anche le frizioni (rotazione oraria e rotazione antioraria).



Testa di piccolo tornio parallelo

Il moto di avanzamento è posseduto dall'utensile che è solidale con il carro che può scorrere sulle guide.



Veduta dall'alto delle guide e del carro

LA FRESATRICE

La fresatrice è una macchina molto versatile che consente di realizzare spianature, cave, intagli, ruote dentate, sagome ecc.

Le macchine manuali più diffuse sono le fresatrici universali che possono essere trasformate in fresatrici verticali oppure orizzontali in poco tempo.



Fresatrice universale (verticale)



Fresatrice universale (orizzontale)

Gli utensili per la fresatura prendono il nome di frese ed hanno forme molto varie a seconda del profilo che si intende realizzare.

Per le spianature si impiegano le frese frontali con inserti in HM.



Fresa frontale con inserti

Per la realizzazione di cave e contornature di profili si impiegano frese a dito in HSS o con inserti in HM.



Frese a dito

Il moto di taglio è posseduto dalla fresa mentre il moto di avanzamento viene fornito dalla tavola al pezzo. Le possibilità di movimento sono 3, in genere indicate con X, Y e Z.

Oggi le fresatrici CNC, dette anche centri di lavoro, hanno soppiantato le fresatrici tradizionali.



Centro di lavoro CNC

Nelle fresatrici CNC, il percorso dell'utensile per la realizzazione di sagome particolari può essere determinato con computer attraverso programmi CAM (computer aided design).



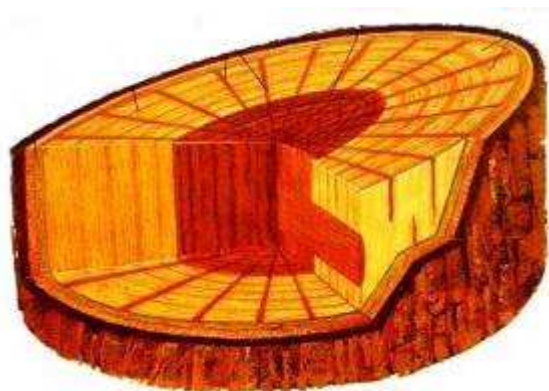
Lavorazione di modelli di pala Pelton

MATERIALI ORGANICI

MATERIALI NATURALI

Il materiale naturale maggiormente utilizzato da un punto di vista industriale è il legno. La sezione di un tronco, partendo dall'esterno, presenta le seguenti parti:

- un rivestimento esterno impermeabile, più o meno spesso, costituente la *corteccia*;
- uno strato sottile detto *libro*, formato da fibre e vasi che trasportano le sostanze nutritive elaborate dalle foglie;
- un ampio strato che giunge fin quasi al centro, costituente la parte legnosa composto da una parte esterna (*alburno*) non ancora completamente lignificata e una parte interna più scura e compatta (*durame*);
- un cilindro centrale detto midollo, formato da un ammasso di cellule di natura molle e spugnosa che si diramano verso l'esterno con i raggi midollari i quali conducono acqua e sostanze nutritive all'alburno e dall'alburno.



Il legno trova applicazione sottoforma di travi, tavole, compensati (tre o più fogli sottili di legno incollati tra loro e disposti in modo alternativamente perpendicolari tra loro), paniforti (pannelli con le due facce esterne formate da fogli e la parte interna da listelli), pannelli in fibra di legno (pannelli formati da scaglie di legno pressate e incollate tra loro), pannelli truciolati (pannelli di trucioli incollati con resine e pressati).

In meccanica il legno viene usato per realizzare stampi, forme, sagome e prototipi.

MATERIE PLASTICHE

La norma UNI definisce "materia plastica o resina sintetica" un prodotto artificiale a struttura macromolecolare (composto da molecole di grandi dimensioni) che in determinate condizioni di temperatura e pressione può essere formato p.e. attraverso stampaggio, estrusione o altro.

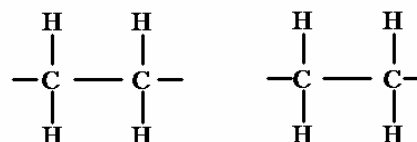
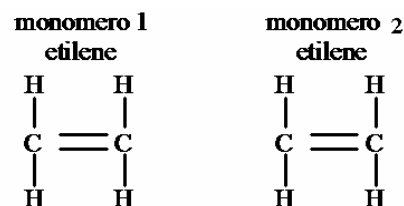
Le macromolecole che costituiscono le materie plastiche sono costituite dall'unione di gruppi elementari o basi che prendono anche il nome di *monomeri*.

La reazione chimica che trasforma i monomeri in macromolecola (polimero) prende il nome di polimerizzazione.

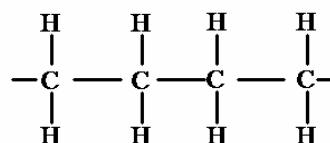
Le reazioni di polimerizzazione possono essere di due tipi: poliaddizione o policondensazione.

Di seguito viene riportato lo schema della reazione di poliaddizione dell'etilene per formare il polietilene, materia plastica molto diffusa.

I tratti tra gli atomi rappresentano i legami chimici che sono tutti di natura covalente. Da prima il doppio legame centrale tra gli atomi di carbonio si divide parzialmente rendendo possibile l'aggancio di altri monomeri simili ai lati. La macromolecola (polietilene) che si forma ha uno sviluppo lineare simile ad una catena.



catena del polietilene



Le materie plastiche si dividono in termoplastiche e termoindurenti.

Le termoplastiche, all'aumentare della temperatura rammolliscono e possono essere riformate più volte.

Le termoindurenti, dopo la prima formatura, all'aumentare della temperatura non riprendono più lo stato plastico e non possono essere riformate.

Un ruolo importante, anche in meccanica, è rappresentato dagli elastomeri. Essi sono delle materie plastiche che subiscono elevatissime deformazioni in campo plastico.

Gli elastomeri possono essere di origine naturale (ottenuti dal lattice del caucciù) oppure artificiale (dal petrolio).

MATERIALI CERAMICI

I materiali ceramici derivano dall'argilla e si basano sul legame ionico delle molecole che li compongono. Tale tipo di legame rende molto stabile la molecola garantendo l'inattaccabilità chimica da parte di altre sostanze ed anche un'elevata temperatura di fusione (p.e. vetro e ceramiche).

I materiali ceramici che qui verranno brevemente presentati sono gli amorfi, i cristallini e i materiali refrattari.

MATERIALI AMORFI

All'interno dei materiali amorfi le molecole sono disposte in modo rigido ma prive di ordine (contrariamente ai metalli). I materiali amorfi non possiedono una temperatura di fusione ma rammoliscono progressivamente all'aumentare della temperatura. Il vetro è un materiale amorfo con innumerevoli applicazioni ed è composto principalmente da: SiO_2 (75%), CaO (12%), NaO (11%).

Il vetro comune rammollisce intorno agli 800°C .

MATERIALI CRISTALLINI

Nei materiali ceramici cristallini le molecole sono disposte con un buon ordine ma non ancora comparabile con i metalli. Questi materiali costituiscono solo una piccola parte dei materiali ceramici.

MATERIALI REFRATTARI

La refrattarietà è la capacità di resistere alle alte temperature senza fondersi e senza deformarsi. Storicamente si classificano alte temperature quelle superiori a 1550°C (temperatura di fusione del ferro 1536°C).

Tali materiali refrattari più comuni sono composti a base di silice (SiO_2) e allumina (Al_2O_3).

MATERIALI COMPOSITI

I materiali compositi stanno assumendo un'importanza sempre maggiore basti pensare all'utilizzo crescente della vetroresina, del carbonio, del kevlar ecc.

La struttura di questi materiali è costituita da una matrice che funge da legante con all'interno il rinforzo (fibre o carica). La forma è data dalla matrice mentre gli sforzi sono sopportati unicamente dalle fibre.

Tali materiali uniscono un peso molto contenuto ad una resistenza eccezionale.

FIBRE

Le fibre danno il nome al materiale composito e vengono qui di seguito riassunte.

Fibra	Rm (N/mm ²)
Vetro	3800
Carbonio	2500
Kevlar	2200

Le fibre si trovano in commercio sottoforma di filo o tessuto.

MATRICE

La matrice è in genere costituita da un polimero almeno per quegli impieghi fino a temperature di 200°C . Per temperature superiori si impiega una matrice metallica costituita da alluminio, magnesio o titanio. Per le applicazioni su aerei, dove le temperature possono raggiungere i 2000°C , si impiegano matrici ceramiche.

La matrice ha la funzione di dare la forma all'oggetto e proteggere le fibre dal contatto con l'aria o gli agenti esterni.

METODI DI FORMATURA

Si descrive brevemente la formatura manuale di un oggetto esteso in vetroresina (cofano, portello, presa d'aria).

Prima di tutto bisogna predisporre la sagoma, generalmente in legno, dell'oggetto da riprodurre. Su di essa si cosparge del grasso o olio denso per favorire poi il distacco del manufatto.

La formatura consiste nel deporre alternativamente strati di resina (a spruzzo o pennello) e strati di fibra (in tessuto) con l'accortezza che il primo e l'ultimo devono essere di resina.

Ad essiccazione avvenuta si stacca il tutto e dopo la rifilatura e la finitura superficiale si può passare alla verniciatura e lucidatura.



Formatura manuale di una pala per aeromotore

Oltre al metodo manuale esistono altri metodi automatici che variano a seconda della forma del manufatto (centrifugazione per i tubi, a spruzzo per le superfici ecc.).

Le fibre possono essere disposte nella matrice in modo ordinato oppure casuale.

ELABORAZIONE STATISTICA DATI

La statistica è quella parte della matematica che da un insieme di misure ripetute (almeno 50) consente di trarre alcune informazioni significative sul fenomeno studiato.

Per esempio si sente dire che l'altezza media degli italiani ventenni (maschi) è di 1,76m oppure che il peso medio del cervello negli adulti è di circa 1,3kg.

LA MEDIA ARITMETICA DI N NUMERI

La media di N misure si calcola sommando tutti i valori e dividendo la somma per N. Essa rappresenta il valore più probabile. Vediamo tale concetto di probabilità applicato concretamente.

Supponiamo di avere un cassone pieno di chiodi e ne vengono estratti una manciata (p.e. N=78). A seguito della misurazione della loro lunghezza risulta che la media delle 78 misure è di 63,45mm.

Se ora mi accingo a prelevare un ulteriore chiodo (il 79°) mi aspetto con molta probabilità che abbia una lunghezza di 63,45 o non molto diversa.

Se un pescatore, in riva ad un lago, ha pescato 10 trote la cui massa media è di 1,450 kg ed ora rilancia la lenza, è probabile che abbocchi un'altra trota di circa 1,450kg, cioè è molto improbabile che la massa si discosti notevolmente dalla media precedente.

Esempio

Calcolare la media dei passeggeri che il lunedì salgono sul primo treno Feltre-Belluno nel corso del 2008.

Nella tabella seguente sono riportati i passeggeri dell'anno 2008 (valori non reali).

gennaio	febbraio	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	novembre	dicembre
2	5	4	5	6	5	7	3	6	4	4	4
5	3	4	4	3	4	5	1	3	6	3	5
3	4	3	5	5	2	3	2	4	5	4	3
4	6	0	3	4	3	4	2	7	8	5	5
		3			4			5			1

La media m dei valori risulta:

$$m = \frac{\text{somma.dei.valori}}{N} = \frac{208}{52} = 4$$

L'insieme delle misure è sufficientemente numeroso (N=52) e quindi la media rappresenta effettivamente il numero più probabile di passeggeri presenti in stazione all'arrivo del treno. Se per semplicità avessimo calcolato la media m solo sui 4 valori dei lunedì di agosto il risultato sarebbe privo di significato (m=2) se riferito all'intero anno 2008.

Esempio

Calcolare lo spessore medio di un foglio di carta per fotocopiatrice.

Prima di procedere si suddivide il foglio in almeno 50 settori e poi si procede alla misurazione dello spessore in ogni settore, in modo da testare l'intero foglio. Le misure così ottenute sono riportate nella tabella seguente [mm].

0,095	0,100	0,100	0,100	0,100
0,100	0,100	0,105	0,100	0,100
0,105	0,105	0,095	0,100	0,100
0,095	0,090	0,100	0,105	0,095
0,100	0,110	0,100	0,095	0,100
0,100	0,095	0,090	0,100	0,105
0,105	0,105	0,105	0,100	0,100
0,100	0,100	0,095	0,095	0,090
0,100	0,100	0,100	0,105	0,095
0,110	0,095	0,100	0,110	0,105

La media m dei valori risulta:

$$m = \frac{\text{somma.dei.valori}}{N} = \frac{5}{50} = 0,100\text{mm}$$

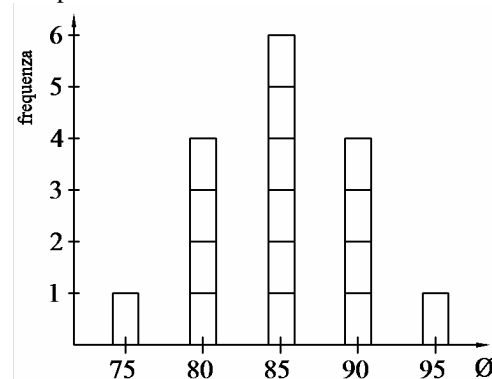
LA DISTRIBUZIONE DEI VALORI

La distribuzione dei valori delle misure è rappresentata graficamente da un grafico a barre (istogramma) che raffigura per ciascun valore la frequenza con cui è comparso nelle misure. Supponiamo per fissare le idee di avere prelevato da un cassone di mele appena raccolte un campione di 16 frutti e misurarne il diametro con un calibro P/NP ottenendo i seguenti valori in mm.

80	85	85	90
75	80	85	85
90	85	90	90
95	80	85	80

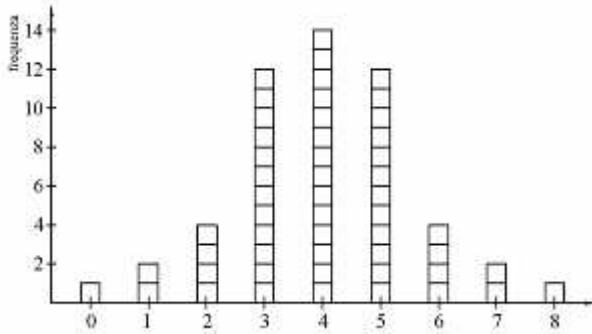
I numeri così esposti difficilmente forniscono indicazioni utili a chi commercializzerà le mele o dovrà dividerle in base alla pezzatura.

Riportiamo ora le stesse misure su un grafico a barre verticali avendo in ascissa il valore del diametro ed in ordinata il numero di volte che compare tale valore nel campione di 16 mele



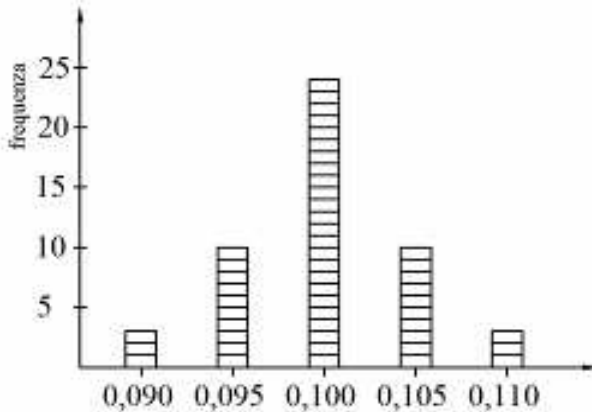
In questo modo è subito chiaro che le dimensioni prossime ad 85 sono molto frequenti e costituiranno la quasi totalità delle mele contenute nella cassa, mentre le mele molto piccole $\varnothing \leq 75$ e quelle molto grandi $\varnothing \geq 95$ sono molto scarse.

Il grafico seguente rappresenta la distribuzione dei valori per l'esempio dei passeggeri del lunedì.



Appare ora molto chiaro che la media rappresenta il valore più probabile, infatti ben 14 lunedì su 52 ci sono in attesa 4 passeggeri mentre è assai improbabile che la stazione sia vuota oppure con un solo passeggero (come anche con 7 o 8 passeggeri).

Il successivo grafico rappresenta la distribuzione dei valori per l'esempio dello spessore del foglio di carta.

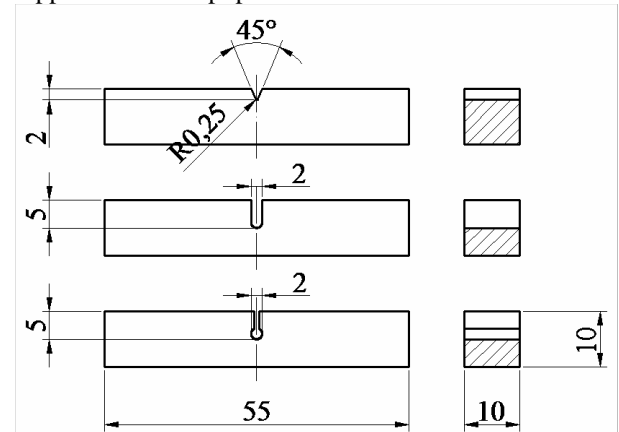


RESILIENZA

La resilienza misura la resistenza agli urti dei materiali. Un materiale si dice resiliente se resiste bene agli urti e cioè se richiede un'elevata energia per rompersi nell'impatto. I materiali fragili hanno una bassa resilienza e viceversa materiali resilienti hanno una bassa fragilità. La prova di resilienza consiste nel sottoporre un provino di forma opportuna ad urto provocato da una mazza battente (pendolo di Charpy) e misurare l'energia assorbita dall'urto. Maggiore è tale energia e maggiore è la resilienza del materiale testato.

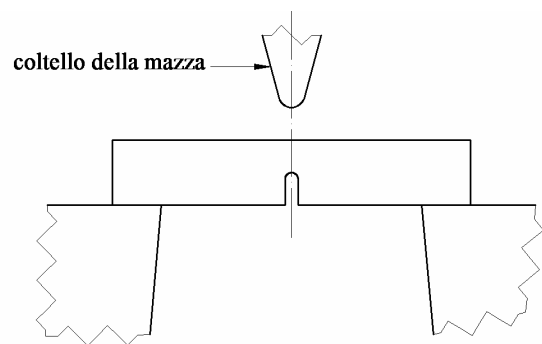
I PROVINI

I provini impiegati nella prova hanno un intaglio che favorisce la rottura durante l'urto e le dimensioni unificate sono indicate nel disegno seguente dove sono rappresentati i 3 tipi previsti.



Il primo ha un intaglio a V, il secondo ad U ed il terzo a buco di chiave.

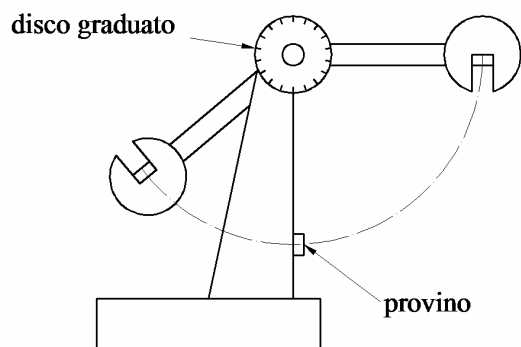
Nel posizionamento sulla macchina la mazza colpisce il provino dalla parte opposta all'intaglio.



IL PENDOLO DI CHARPY

Il pendolo di Charpy è la macchina utilizzata per rompere ad urto il provino. Essa è costituita da una struttura molto rigida su cui è fissata la morsa per il posizionamento del provino. La mazza battente, di dimensioni unificate, è libera di oscillare partendo da una posizione ben definita.

L'energia assorbita nell'urto (in J) è fornita da un quadrante a lancetta che si basa sulla diminuita altezza raggiunta dalla mazza dopo l'urto.



Il valore della resilienza si indica con KV seguito dal valore in J dell'energia per la provetta con intaglio a V, mentre per le altre due provette il simbolo è KCU ed il valore dell'energia in J va diviso per l'area in cm² della sezione rotta (0,5 cm²).



ASPETTO DELLA FRATTURA

La frattura di un acciaio fragile si presenta granulare, piana ed assorbe poca energia.

La frattura di un acciaio resiliente si presenta scura, fibrosa, irregolare ed assorbe molta energia.



INFLUENZA DELLA TEMPERATURA

La temperatura influenza notevolmente la resilienza degli acciai. In generale si può dire che tutti i materiali resilienti al diminuire della temperatura assumono un comportamento fragile.

LA DILATAZIONE TERMICA

La dilatazione termica di un materiale per effetto dell'innalzamento della temperatura è un fenomeno naturale che coinvolge tutti i materiali seppur in misura diversa.

ASPETTI GENERALI

Lo studio della dilatazione ha condotto ad una formula semplice che vale per intervalli di temperatura sufficientemente ampi. Essa lega l'allungamento ΔL alla lunghezza iniziale L e alla variazione di temperatura ΔT attraverso un coefficiente di dilatazione α .

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T$$

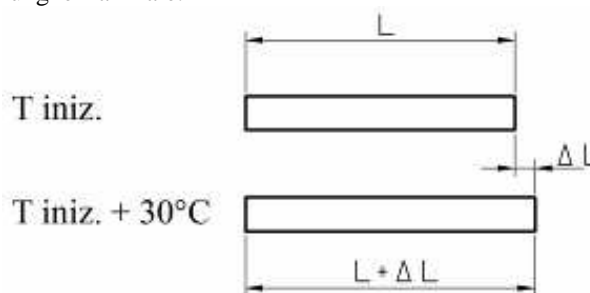
Seguono i coefficienti di dilatazione di alcuni metalli:

Metallo	α
Vetro	0,0000080
Acciaio	0,0000115
Ferro	0,0000121
Rame	0,0000168
Alluminio	0,0000238

L'unità di misura dell'allungamento ΔL è la medesima della lunghezza iniziale L .

ESEMPI DI CALCOLO

Una barra lunga $L=1\text{m}$ in C40 viene riscaldata di 30°C ($\Delta T=30^\circ\text{C}$). Determinare l'allungamento subito ΔL e la lunghezza finale.



$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T = 0,0000115 \cdot 1000 \cdot 30 = 0,345\text{mm}$$

La lunghezza finale sarà di 1000,345mm.

Una lamiera in rame ha una lunghezza di 12m ed esposta al sole si riscalda di 50°C . Determinare l'allungamento ΔL .

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T = 0,0000168 \cdot 12000 \cdot 50 = 10,08\text{mm}$$

Un perno $\varnothing 30$ in C40 al termine della tornitura raggiunge la temperatura di 50°C e successivamente si raffredda fino a 20°C . Durante il raffreddamento il diametro subisce una contrazione di:

$$\Delta \varnothing = \alpha \cdot \varnothing \cdot \Delta T = 0,0000115 \cdot 30 \cdot 30 = 0,01\text{mm}$$

SIDERURGIA

La siderurgia si occupa della produzione delle leghe metalliche e della loro fusione.

Le leghe metalliche (acciaio, ghisa, leghe leggere ecc.) possono essere prodotte in modo industriale attraverso due cicli: il ciclo integrale partendo dai minerali che contengono i metalli oppure attraverso il ciclo da rottame.

Il secondo metodo sta assumendo sempre più peso grazie alla maggior disponibilità di rottami metallici rispetto ad un tempo.

In questa sede si considereranno solo le leghe del ferro ed in particolare l'acciaio e la ghisa.

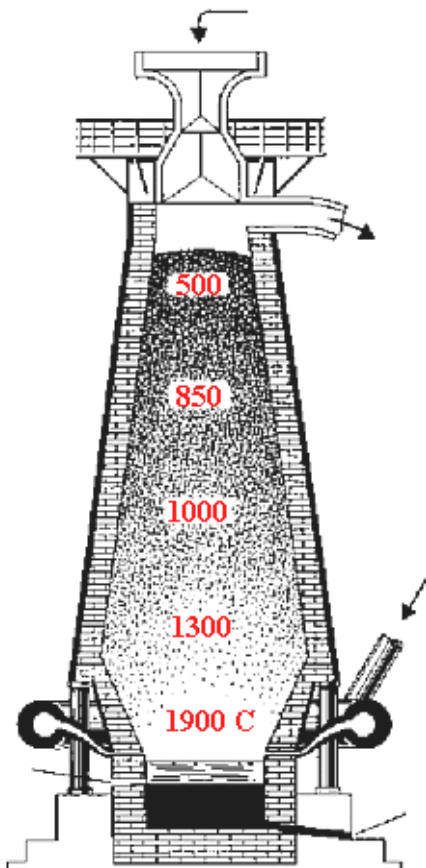
PRODUZIONE DELLA GHISA

Il ferro è un metallo abbastanza diffuso sulla crosta terrestre di cui rappresenta il 5%. I minerali principali sono:

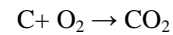
$2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	(limonte)
Fe_2O_3	(ematite)
Fe_3O_4	(magnetite)
FeS_2	(pirite)
FeCO_3	(siderite)

La trasformazione degli ossidi (p.e. ematite) in metallo avviene nell'altoforno schematizzato nella figura seguente.

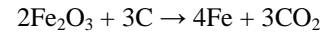
La carica avviene dall'alto e vengono introdotti alternativamente strati di minerale e strati di coke metallurgico.



Il carbonio introdotto funge da combustibile per innalzare la temperatura attraverso la reazione di combustione con l'aria insufflata



ed ha anche la funzione di disossidante per trasformare gli ossidi in metallo



Dal crogiolo dell'altoforno (parte bassa) si estraggono la ghisa fusa e la scoria (che galleggia sulla prima) attraverso l'operazione di spillamento.

La ghisa così ottenuta è detta ghisa greggia e non ha impieghi diretti, essa è destinata alla conversione in acciaio oppure alla fonderia della ghisa.

La struttura dell'altoforno ha un'altezza complessiva che supera i 30m ed un diametro del crogiolo di 10-14m. la produzione giornaliera si aggira sulle 2500t.

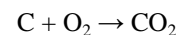
LA FONDERIA DELLA GHISA

La ghisa greggia destinata alla fonderia, dopo solidificazione, viene caricata in un forno (cubilotto) simile all'altoforno ma di dimensioni molto più contenute insieme al coke.

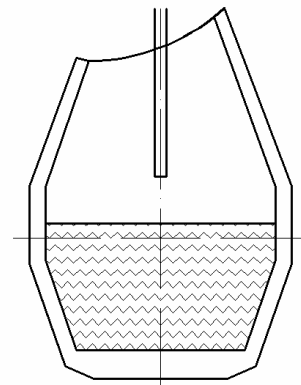
Dopo aver raggiunto la fusione della ghisa si esegue la correzione della composizione chimica e poi avviene lo spillamento e la colata nelle forme per la realizzazione dei getti.

CONVERTITORI

La ghisa greggia destinata alla conversione in acciaio viene trasportata ancora fusa ai convertitori. Qui la percentuale di carbonio viene ridotta per mezzo di ossigeno soffiato dall'alto attraverso una lancia.



Nell'immagine seguente è raffigurata la sezione di un convertitore LD assai diffuso.



Il convertitore LD ha una capacità di circa 300t ed può ruotare su un asse orizzontale per lo svuotamento.

PRODUZIONE DELL'ACCIAIO DA ROTTAME

Tutti gli acciai speciali (destinati ai trattamenti termici) e parte degli acciai di massa vengono prodotti con il ciclo da rottame.

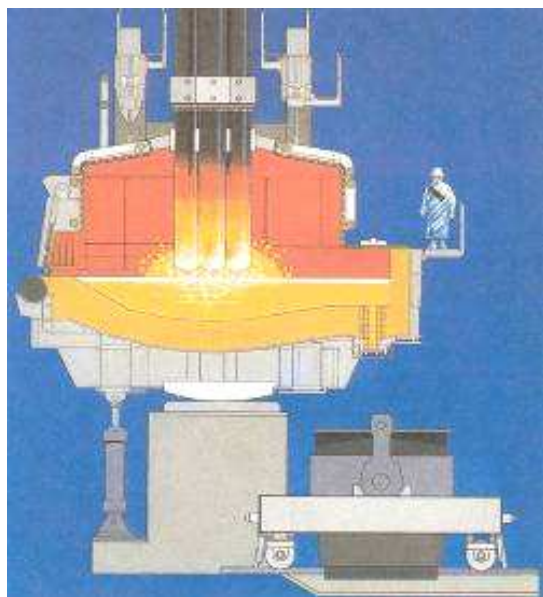
La fusione avviene nel forno elettrico ad arco (FEA) grazie alle scariche elettriche che si sprigionano tra tre elettrodi verticali.

Il crogiolo è oscillante per consentire lo scarico del materiale fuso ed il successivo trasporto nel luogo di colata.

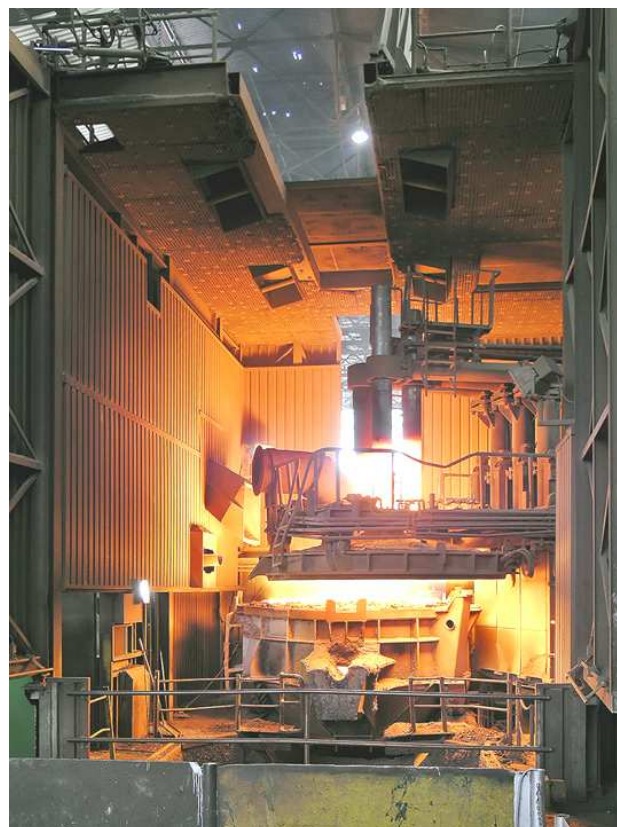
Segue uno schema complessivo del FEA con siviera per la raccolta dell'acciaio fuso.



Trasporto di una siviera all'interno dell'acciaiera



Svuotamento di una siviera



Apertura di un FEA

