

19/03/2021

## PROVA DI DUREZZA

La durezza è l'abilità di un materiale di resistere all'usura.

Durante la prova di durezza, un "penetratore" preme con una forza nota sul materiale di interesse e poi l'operatore o la macchina misura l'indentazione, che può avere forma quadrata o circolare.

Principalmemente si hanno 4 prove di durezza, che si differenziano per carichi applicati, forma dell'indentatore e misura sull'impronta.

## BRINELL

La forma del penetratore è sferica e la prova si svolge nel seguente modo:

Si sceglie un carico  $F$  da applicare con la sfera a seconda del valore di durezza atteso del materiale che si vuole misurare, poi si procede alla creazione dell'impronta ed infine si misurano i due diametri (maggiore e minore) dei quali ci si aspetta che rientrino in un range relativo al diametro  $D$  della sfera,  $(0,24 \cdot D \leq d \leq 0,6 \cdot D)$ .

Le prove VICKERS e KNOOP sono simili come procedimento ma si distinguono per le forme degli indentatori a piramide di cui viene misurato l'angolo di penetrazione. La KNOOP valuta SOLO la superficie.

La prova Brinell dà la durezza media degli strati interni del materiale e non della superficie come per le altre prove.

Per garantire errori di misura, il materiale deve avere uno spessore 8 volte più grande della profondità con cui il materiale si è deformato plasticamente, ~~avendo~~ ~~della~~ ~~il~~ suo interno.

$$(s \geq 8 \cdot h)$$



Definiamo "stato tensionale" nel punto P l'insieme di tutti i vettori forza che agiscono nel punto P per una qualunque generatrice del piano di sezione con cui si immagina di dividere in due parti il volume V.

TENSORE DELLE TENSIONI

~~matrice in un punto (p)~~

$$[\sigma] = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{bmatrix}$$

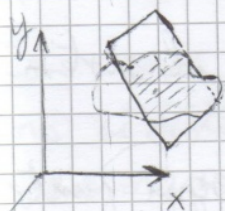
una matrice per ogni singolo punto  
 $\sigma$  normali ai 3 piani di separazione paralleli a x, y, z

Analogamente si ha la matrice del TENSORE DEGLI SPOSTAMENTI

$$[\epsilon] = \begin{bmatrix} \epsilon_{11} & \epsilon_{12} & \epsilon_{13} \\ \epsilon_{21} & \epsilon_{22} & \epsilon_{23} \\ \epsilon_{31} & \epsilon_{32} & \epsilon_{33} \end{bmatrix}$$

$$\sigma_{eq} = K \cdot \epsilon_{eq}^n$$

Nel caso in cui uno dei 3 piani di separazione non sia parallelo ad uno dei 3 assi x, y, z basta moltiplicare ~~la matrice~~ la matrice  $[\sigma]$  per il vettore di normale al piano  $x_0, y_0, z_0$  (es.  $n_x \perp yz$ )



$$\{S\}_p = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_x \\ n_y \\ n_z \end{bmatrix}$$

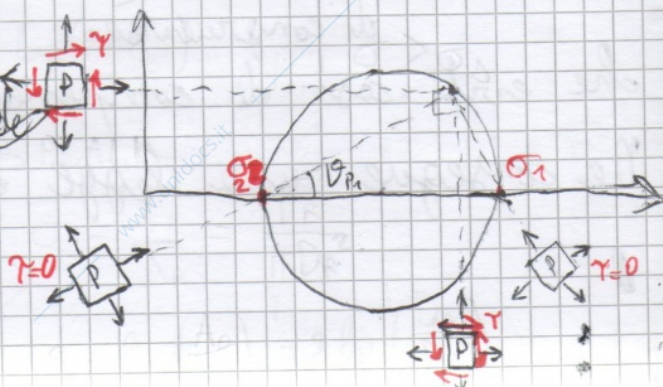
$$\sigma_n = \{S\} \cdot \{n\} = [\sigma] \cdot \{n\} \cdot \{n\} \text{ componente normale di } S$$

$$\tau_n = \{S\} \cdot \{t\} = [\sigma] \cdot \{n\} \cdot \{t\} \text{ componente tangenziale di } S$$

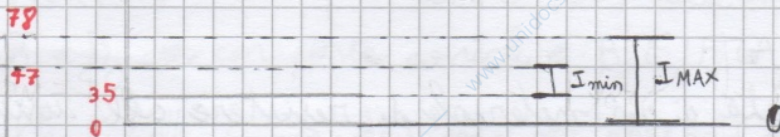
tra le varie orientazioni della terna se ne può trovare una per cui tutte le  $\tau$  valgono zero e la matrice risulta essere:

$$[\sigma] = \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 \end{bmatrix}$$

subd. succede



$$\sigma_1 = \sigma_{MAX} \quad \sigma_2 = \sigma_{min}$$



Cerchiamo la lettera ~~78~~ nella tabella dell'albero che ci dia un IT albero compreso tra 47 e 78.

Scorrendo verso il basso, sulla colonna dei 120 mm, ~~troviamo~~ troviamo solo una lettera che soddisfa i nostri requisiti:  $r5 = \begin{matrix} +0,076 \\ +0,054 \end{matrix}$

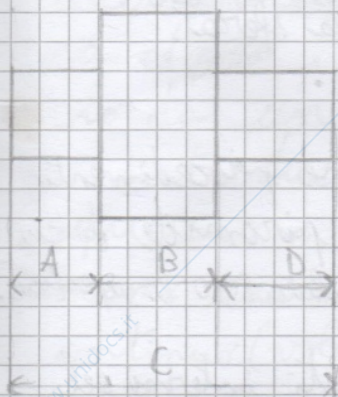
Quindi l'accoppiamento finale sarà: 120 H7/r5

con  $I_{\min_{\text{new}}} = 120,054 - 120,035 = 19 \mu\text{m}$

$I_{\max_{\text{new}}} = 120,076 - 120,000 = 76 \mu\text{m}$

es. 2

Dato il componente indicato in figura caratterizzato da  $A=B=D$



$IT_D = 30 \mu\text{m} \Rightarrow D \times J_7 \bar{F} = D \times \begin{matrix} 150 < D_n < 180 \end{matrix}$

$IT_D = IT_C - IT_A - IT_B = 30 \mu\text{m}$

$C = A + B + D = 3 \cdot D \Rightarrow \begin{matrix} 150 & 270 \\ 150 < C < 270 \end{matrix}$

~~150~~  $IT_D = \frac{IT_C}{3}$

$C_{\max} = 45 \mu\text{m}$

$C_{\min} = -45 \mu\text{m}$

Nel caso di frattura fragile invece l'espansione delle cricche avviene in casi veloci che <sup>si grani</sup> non fanno a tempo ad espandersi ma vengono separati tra di loro in quanto i bordi di grano sono i punti più deboli della struttura cristallina

## Prove di flessione ("bending")

Si effettuano solitamente per materiali fragili in alternativa alle prove di trazione, da cui si rileverebbero troppi pochi dati.

Si considerano due principali parametri:

- forza di flessione (o modulo di rottura) che indica lo sforzo  $\sigma_f$  necessario a rompere il provino in flessione.  $(\sigma_f = \frac{3 F_f \cdot L}{2 W \cdot h^2})$

- modulo di flessione

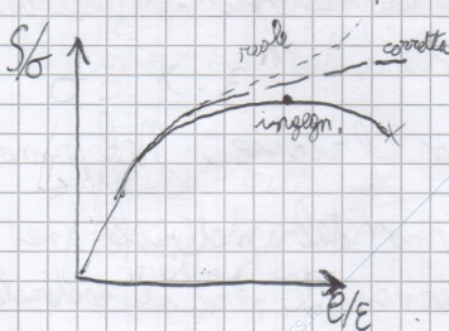
## Differenza tra sforzo/allungamento ingegneristico e reale

$S = \frac{P}{A_0}$  è lo sforzo ingegneristico ~~sforzo~~ ~~reale~~ mentre  $\sigma = \frac{P}{A} = S \cdot (1+e)$

è l'espressione di una forza P rispetto alla sezione istantanea A, quindi  $\sigma$  è lo sforzo REALE.

$e = \frac{l - l_0}{l_0}$  è l'allungamento ingegneristico,  $\epsilon = \ln\left(\frac{l}{l_0}\right) = \ln(1+e)$  è REALE

Come si può vedere dal grafico le curve sforzo-deformazione si discostano l'una dall'altra quando entrano in fase plastica.



Si può correggere la formulazione matematica dello sforzo reale per ottenere dati più precisi ovvero legge per

$\sigma = K \cdot \epsilon^n$   $n$  è detto "esponente di incrudimento"  $\leq 1$

questa formula però vale solo fino all'UTS per

da lì in poi la deformazione plastica non è più uniforme.

~~Alcuni possiamo ricavare la natura~~

## Ciclo di vita del prodotto

La vita del prodotto inizia nel momento in cui un'azienda concepisce mentalmente il prodotto stesso e ne realizza un progetto preliminare.

Successivamente gli schizzi generali ~~sono~~ ed il progetto preliminare vengono trasformati in progetto esecutivo tenendo conto in ordine di importanza dei parametri di: funzionalità, prestazioni, sicurezza, costo, ergonomia, riciclabilità, semplicità di montaggio, di fabbricazione e di manutenzione, aspetti estetici. Il tutto viene poi ottimizzato dai responsabili del settore di Ricerca e Sviluppo con l'introduzione di materiali più performanti e di qualità.

A questo punto si scompone il progetto in disegni di complessivo, gruppi, sottogruppi e particolari e si decide quali pezzi produrre e quali comprare dai magazzini.

su richiesta

Prima di procedere alla realizzazione vera e propria è necessario organizzare un inventario dei materiali, delle quantità da produrre e della qualità con cui produrre.

L'organizzazione è fondamentale che sia solida ma deve essere anche flessibile per accogliere e prevenire qualsiasi cambiamento di programma, dato solitamente dalle regole del mercato.

Durante ~~tutti~~ ogni step del processo di produzione, gli addetti al controllo qualità hanno il compito di misurare, supervisionare ed, eventualmente, correggere tutte le dimensioni e le geometrie dei pezzi, assicurando una qualità quasi totale del pezzo a fine produzione.

Il prodotto <sup>viene</sup> collaudato, immagazzinato, ed infine immesso sul mercato attraverso una rete di distribuzione che giunge fino al cliente, il quale può contattare il servizio di Assistenza Clienti per apportare migliorie <sup>serie</sup> ~~al~~ <sup>successive</sup> ~~al~~ <sup>tramite</sup> un feedback sul reale funzionamento del prodotto.

## - Quotatura di DEFINIZIONE

- mette in evidenza le quote funzionali
- integra le informazioni totali aggiungendo le quote ausiliarie (sempre tra parentesi)

- Quotatura di misura

## - Quotatura di FABBRICAZIONE

- privilegia le quote che indicano le dimensioni e le caratteristiche superficiali che l'oggetto dovrà avere dopo aver subito la lavorazione.

## Le tolleranze dimensionali

Nella pratica reale, ogni pezzo non assumerà mai precisamente il valore dimensionale quotato nel disegno, quello che corrisponde ~~alla~~ <sup>dimensione</sup> ~~di~~ ~~metà~~ nominale  $D$ , ma si discosterà sempre da esso in un intorno di  $\mu\text{m}$ .

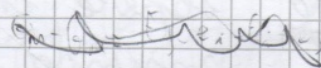
A fine lavorazione, un pezzo per essere accettato deve avere una dimensione effettiva  $D_e$  compresa tra  $D_{\min}$  e  $D_{\max}$ .

Si definisce "tolleranza" la differenza tra la dimensione limite superiore e quella inferiore:  $T = D_M - D_m = e_s - e_i$

La tolleranza può essere unilaterale o bilaterale a seconda che i segni di  $e_s$  ed  $e_i$  siano concordi o discordi rispettivamente.

Gli accoppiamenti fra due elementi, uno esterno e l'altro interno, sono molto frequenti nella voluttazione delle tolleranze. Si possono generare accoppiamenti con gioco, con interferenza oppure incerti.

$$G_{\min} = E_i - e_s \quad G_{\max} = E_s - e_i$$



$$I_{\min} = e_i - E_s \quad I_{\max} = e_s - e_i$$

## Qualità delle tolleranze

IT01 - IT4 : strumenti ed apparecchiature di altissima precisione

IT5 - IT11 : accoppiamenti nei meccanismi comuni

IT12 - IT17 : lavorazioni grossolane, difficilmente accoppiabili

Stati monoassiali.

Per calcolare l'energia di deformazione si fa uso del tensore delle deformazioni  $[\epsilon]$  che ha le stesse proprietà di  $[\sigma]$ .

Quindi con il criterio di von Mises è possibile occostare stati triassiali e monoassiali in termini di plasticizzazione:

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 = 2 \sigma_y^2$$

↳ è una tensione monoassiale equivalente, in termini di plasticizzazione, allo stato tensionale triassiale ~~spesso~~ considerato

Se  $\sigma_y$  è maggiore del carico di snervamento, il materiale entrerà in fase plastica.

Se  $\sigma_y < \sigma_3$  quello stato tensionale, anche se ha  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3 \gg \sigma_y$ , rimarrà in fase elastica.

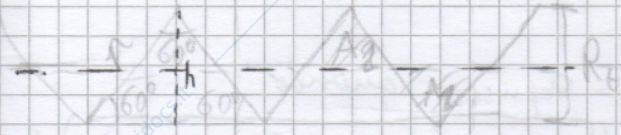
Per materiali più fragili si preferisce usare il criterio di Tresca:

$$\sigma_{eq} = \sigma_{max} - \sigma_{min}$$

23/03/2021 e 26/03/2021 ESERCITAZIONI (sono riportate nell'esercizio)

$R_t = ?$      $R_a = ?$      $r = 1 \text{ mm} = 1000 \mu\text{m} = 10^3 \mu\text{m}$

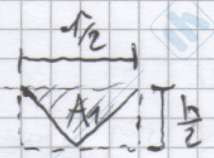
$$h = r \cdot \sin(60^\circ) = 10^3 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = 500\sqrt{3} \mu\text{m} = R_t$$



Scelgo una linea media "y<sub>m</sub>" che mi divida ~~il~~ il profilo geometrico lungo la linea di esplorazione "r" in due aree perfettamente uguali

$$y_m = \left\{ r \cdot [r \cdot \sin(60^\circ)] \right\} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{r} = \frac{r \cdot h}{2r} = \frac{h}{2}$$

$$R_a = \frac{1}{r} \int_0^r y(x) - y_m dx = \frac{1}{r} (A_2 + A_1) = \frac{A_{TOT}}{r}$$



$$A_1 = \frac{h}{2} \cdot \frac{r}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{h \cdot r}{8}$$

$$A_2 = \frac{r}{2} \cdot \frac{h}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{h \cdot r}{8}$$

$$R_a = \frac{1}{r} \cdot \frac{h \cdot r}{4} = \frac{h}{4} = \frac{R_t}{4} \Rightarrow R_a = \frac{R_t}{4}$$

Questa relazione vale solo per solchi puramente triangolari!

09/03/2021

## Gli strumenti di misura

Che differenza c'è tra accuratezza e precisione? La prima caratterizza il grado di scostamento da una certa misura: più uno strumento è accurato, minore sarà il grado di tolleranza registrato.

La precisione, invece, è una proprietà degli strumenti che consiste nella ripetibilità della misura, ovvero uno strumento preciso misurerà sempre la stessa dimensione, seppur con dei campi di tolleranza di ampiezza variabile.

Tra gli strumenti di misura si ha il doppio decimetro, il calibro, il micrometro e la CMM, elencati in ordine di precisione.

La CMM, o macchina a coordinate, è composta da una struttura ad arco che viaggia su due cuscini d'aria e da un piano su cui viene poggiato l'oggetto da misurare. La misurazione è effettuata da una sonda, detta rubino, che registra le posizioni dell'elemento punto per punto toccandone gli estremi.

12/03/2021

$$S = E \cdot e$$

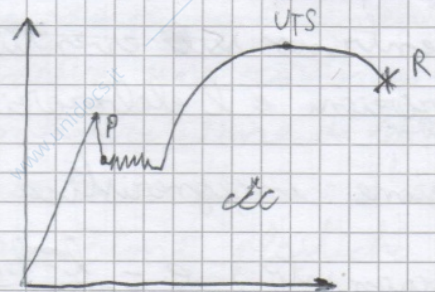
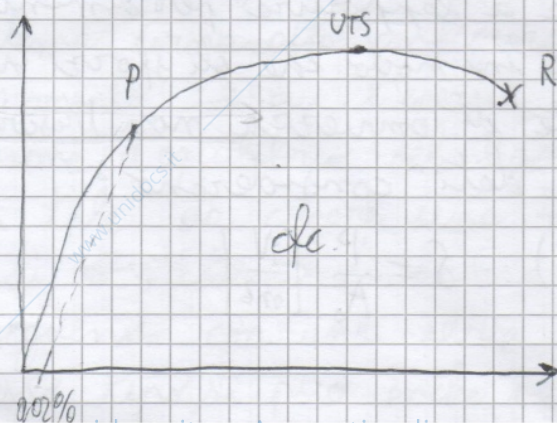
$\downarrow$   
 modulo di Young

$\rightarrow$  allungamento  $\frac{l-l_0}{l_0}$

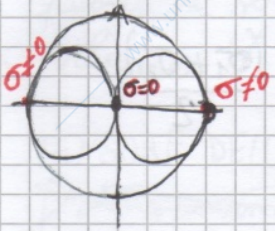
Nello studio dei grafici sforzo-allungamento si possono evidenziare almeno quattro punti che identificano le principali caratteristiche meccaniche dei materiali studiati.

Effettuando la prova di trazione si noterà che, ~~ad un certo momento~~, il provino sottoposto a sforzo si allungherà linearmente ~~ed è un punto in~~ ~~più~~ fino al punto P. Dopo il punto di "snervamento" il materiale terminerà la sua deformazione elastica e inizierà una fase di deformazione plastica uniforme fino al punto UTS (ultimate tensile stress).

Dall'UTS in poi il provino subirà ancora deformazione plastica ma non più uniformemente, evidenziando un restringimento della sezione centrale, causato dalla "strizione". Infine il provino senza ulteriori sforzi giunge al punto di rottura R.



Nel caso biassiale si avrà la matrice con due  $\sigma \neq 0$  ed una  $\sigma = 0$   
 Un esempio biassiale è lo stato di taglio



Y due  $\sigma \neq 0$  saranno opposti ed alla stessa distanza dal centro, quindi  $\sigma_1 = \sigma$ ,  $\sigma_2 = -\sigma$

Il caso triassiale è già stato visto:  $[\sigma] = \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 \end{bmatrix}$

Ora vediamo di individuare la condizione di plasticizzazione, ovvero per quali condizioni degli stati tensionali si ~~si~~ entra nel campo PLASTICO.

Von Mises fu il primo ad analizzare questi stati tensionali e portò da un'evidenza sperimentale: le tensioni idrostatiche molto elevate (ovvero quando un materiale subisce omogeneamente pressione in tutte le direzioni come se fosse su un fondo marino), il materiale sottoposto a queste tensioni rimane in campo ELASTICO anche se ~~le singole pressioni~~ l'insieme delle pressioni superano di gran lunga il carico di snervamento trovato nello stesso materiale con una prova di trazione della stessa intensità.

Quindi stati idrostatici non comportano mai deformazione plastica. Allora possiamo ridefinire il tensore delle tensioni  $[\sigma]$  come la somma di due componenti  $[\sigma]_{hyd}$  e  $[\sigma]_{dev}$  (una idrostatica ed una deviatorica)

$$\rightarrow = \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_1 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_1 \end{bmatrix} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} = \frac{tr[\sigma]}{3}$$

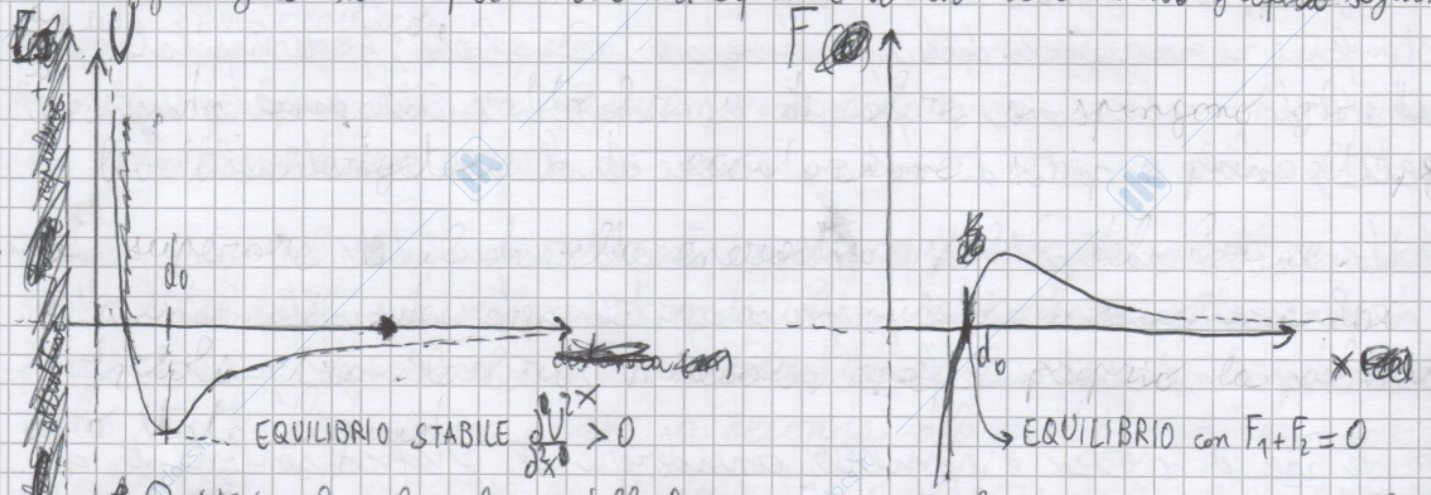
La componente deviatorica, con la formulazione inversa è

$$[\sigma]_{dev} = [\sigma] - \frac{diag(tr[\sigma])}{3}$$

Quindi Von Mises affermò che quello che conta per la plasticizzazione dev'essere qualcosa legato alla componente deviatorica.

Infatti scopri che, dati due stati tensionali completamente diversi, se l'energia di  $[\sigma]_{dev}$  è uguale, allora si può trovare un  $[\sigma]_{eq}$  che li accomuna. In questo modo trovò una relazione per rappresentare stati tensionali triassiali come

In chimica esistono vari tipi di legami interatomici ed intermolecolari, ma possiamo semplificarli tutti modellizzando una coppia di atomi, legati per attrazione elettrostatica tra nuclei ed elettroni, che esercita forze di Coulomb reciproche fino a raggiungere una posizione d'equilibrio  $d_0$  secondo il grafico seguente



Piuttosto che col grafico delle forze, è più facile ragionare con quello dell'energia potenziale  $U$ , poiché anche il calore fornito dall'esterno per fondere un metallo è una forma di energia e si esprime in termini energetici.

Praticamente quando il livello d'energia del calore supera la soglia dell'equilibrio in modo permanente, le particelle atomiche si eccitano anzitutto e muovono sempre più velocemente fino a rompere i legami che tenevano fra di loro le molecole.

In tale stato infatti, si trovano i materiali allo stato liquido, ovvero con parziale numero di molecole connesse fra di loro.

08/03/2021 Richiami di "tecnologia dei materiali"

Strutture cristalline C.F.C., C.C.C., E.S.C.

Sempre facendo riferimento al modello energetico che rappresenta il legame tra atomi, si può spiegare il fenomeno della deformazione, che può essere di tipo elastico o plastico.

Quando si applica una forza perpendicolare alla superficie di un oggetto, si fornisce una certa quantità di energia che, se supera il livello energetico dei primi legami atomici che si incontrano, induce uno scorrimento degli atomi lungo un piano del reticolo cristallino. Finché questo spostamento non rompe i legami iniziali, al termine dell'applicazione della forza, il sistema torna alla configurazione iniziale.

Nel momento in cui l'energia fornita supera permanentemente la posizione d'equilibrio del legame, si induce uno scorrimento degli atomi tale da creare una nuova configurazione di legami che quindi ~~è stata~~ diventerà la nuova condizione d'equilibrio.

Proseguendo con una serie di deformazioni plastiche di ~~avanti~~ ~~kind~~ ~~di~~ ~~nuovo~~ ~~anche~~ ~~portare~~ ~~il~~ ~~materiale~~ ~~a~~ ~~rottura~~

La rappresentazione grafica del prodotto è rappresentata sotto varie forme, più o meno approfondite, di disegni:

- DISEGNO DI CONCEPIMENTO: sono anche detti schizzi o schemi e raffigurano gruppi, sottogruppi o complessivo del pezzo da fabbricare senza essere quotati.

- DISEGNO DI DEFINIZIONE: Si riportano le principali quote di <sup>ingombi</sup> e funzionali, cioè quelle che garantiscono un primo anche grossolano funzionamento dei meccanismi fondamentali del prodotto. Nel disegno si riportano anche indicazioni superficiali come trattamenti o grado di rugosità.

- DISEGNO DI CATALOGO: ha il solo scopo di presentare le caratteristiche più importanti e originali del pezzo che rappresenta, oltre ai suoi punti di forza.

- DISEGNO DI FABBRICAZIONE: Aggiungono ulteriori dettagli ~~a~~ su quote e tolleranze ai precedenti disegni di definizione, e disegni di fabbricazione contengono tutte le informazioni necessarie alla comprensione da parte del costruttore del pezzo affinché si crei un pezzo nei limiti delle quote, tolleranze e <sup>condizioni</sup> richieste. perfettamente

~~La quotatura~~

La quotatura

È importante sapere che bisogna quotare con un criterio ragionevole, pensando che le misure quotate saranno importanti per garantire il funzionamento o pensando all'importanza di come quotare affinché si facilitino le operazioni di lavorazione del materiale (es. tornitura)

Appunti dal libro

01/03/2021

La Tecnologia Meccanica descrive i principi e le applicazioni dei processi di trasformazione della materia prima dallo stato grezzo, a semilavorato, fino allo stato finale: il prodotto. sostanzialmente la Tecnologia Meccanica studia i processi di fabbricazione interposti tra il disegno del progetto e l'oggetto sul mercato.

Esistono principalmente tre approcci alla produzione, detti flussi produttivi:

- continuo: ~~è~~ seguendo ~~le~~ più affidabili indagini di mercato, le industrie producono incessantemente un unico tipo di prodotto non molto variabile in forme e dimensioni confidando che il numero totale di richiesta del prodotto sia soddisfatto.

- per lotti: a differenza del flusso continuo, con questo processo si producono, alternativamente, molte serie di prodotti differenti, garantendo una flessibilità dell'azienda a ~~rispondere~~ coprire qualsiasi tipo di richieste dai clienti.

- unitario: economicamente può risultare più dispendioso ma il flusso unitario limita al minimo gli sprechi e gli oneri di materiale di lavorazione poiché fabbrica un numero limitato di prodotti altamente specializzati e su richiesta commissionata da clienti specifici.

Dall' UTS alla rottura si può usare le seguenti formule

$$\sigma = \frac{(\sigma_a)_{av}}{\left(1 + \frac{2R}{a}\right) \ln\left(1 + \frac{a}{2R}\right)}$$

$$\epsilon = \ln\left(\frac{A_0}{A_f}\right)$$



### Individuazione dell' UTS in formule

Sapendo che il fenomeno della strizione (necking) inizia in fase plastica, dopo il raggiungimento dell' UTS, possiamo ~~porre che ha formato~~ che rappresenta un massimo nella curva sforzo-deformazione, quindi la derivata in quel punto sarà nulla.

~~$$\delta P = \sigma_T \cdot \delta A + \delta \sigma_T \cdot A = 0$$~~

Siamo in fase plastica, quindi è lecito supporre che il volume resti costante:  $\frac{\delta l}{l} = \frac{\delta A}{A} = \delta \epsilon_T$

$$\delta P = \sigma_T \delta A + \delta \sigma_T \cdot \left(\frac{-\delta A}{\delta \epsilon_T}\right) \Rightarrow \delta P = \sigma_T \delta A - \delta A \cdot \frac{\delta \sigma_T}{\delta \epsilon_T} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{\delta P}{\delta A} = \sigma_T - \sigma_T = 0 \quad \text{Si ha infine } \frac{\delta \sigma_T}{\delta \epsilon_T} = \frac{d(K \epsilon_T^n)}{d \epsilon_T} = \boxed{K \cdot n \cdot \epsilon_T^{n-1}} = \frac{\sigma_T}{\epsilon_T^n} \cdot n \cdot \epsilon_T^{n-1} =$$

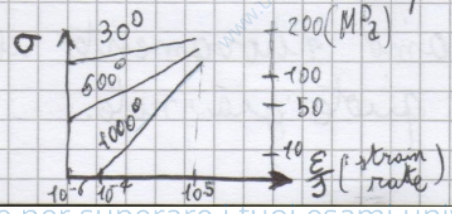
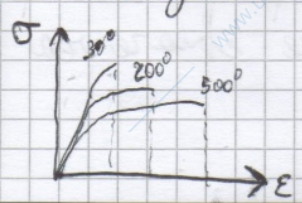
$$= n \cdot \frac{\sigma_T}{\epsilon_T} \cdot \epsilon_T^{n-1} \cdot \epsilon_T^{-n} = \boxed{n \cdot \frac{\sigma_T}{\epsilon_T}}$$

Si ~~ha~~ l' UTS quando ~~si~~  $\epsilon_T = n$

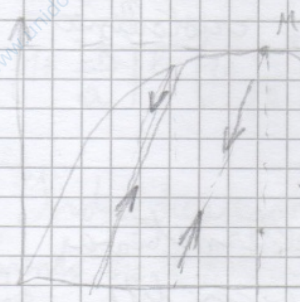
$$\Rightarrow \sigma_{UTS} = K \cdot n^n$$

È possibile notare dai grafici sforzo allungamento che, variando alcuni parametri, come temperatura e/o velocità di deformazione del provino, le sue proprietà meccaniche variano. Ad esempio ~~eseguendo~~ eseguendo due prove di trazione, una a temperatura ambiente ed una a 1500°C, si nota che il provino a 1000°C subisce un allungamento più duttile prima di arrivare a rottura.

Se invece si aumenta la velocità di deformazione del provino a 30°C non si nota differenze sostanziali con una deformazione a velocità costante, ma se la velocità è alta ed anche la temperatura supera i 500°C, risulta evidente che al variare della velocità di allungamento varia anche la duttilità del provino e la sua <sup>resist.</sup> <sub>meccanica</sub>

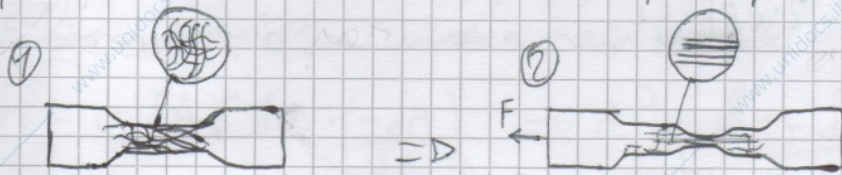


Ogni volta che si sottopone un provino ad un carico e poi questo si rilascia, si effettua un'operazione di "incrudimento". Il massimo incrudimento si ottiene rilasciando il carico all'UTS.



Con un ulteriore processo di ricristallizzazione si alimenta la crescita di nuovi grani, così facendo si va ad eliminare la "memoria" delle deformazioni subite dal materiale mantenendone integra la sua lunghezza.

Nel caso di provini di materiale polimerico, a livello microscopico essi sono composti da lunghe catene aggrovigliate. Queste, quando il provino è in trazione, si allungano e si dispongono ~~in serie~~ parallelamente fra di loro. A livello macroscopico questo si manifesta con una diminuzione della sezione ~~del~~ trasversale.



Duttilità: si può misurare ~~rispetto~~ per l'allungamento del provino oppure per la ~~o~~ diminuzione della sua sezione trasversale. La seconda misura è da preferire in quanto è meno suscettibile agli errori.

$$EL\% = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100$$

$$AR\% = \frac{A_0 - A}{A} \cdot 100$$

Se EL% misurato è minore del 5%, il materiale si definisce fragile. In caso contrario esso avrà un comportamento duttile.

15/03/2021

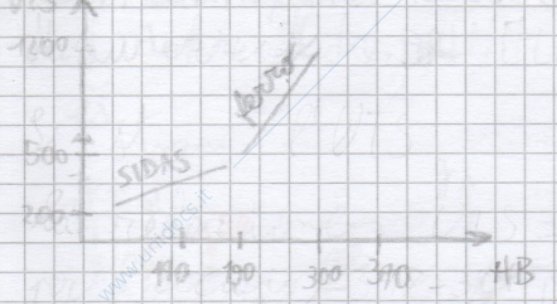
Prova Charpy e tenacità, ovvero la capacità di un materiale di assorbire energia in ~~due~~ fase di deformazione plastica.

La frattura può essere di due tipi: duttile o fragile. Nel primo caso si ha una formazione di piccole cricche all'interno del materiale nei punti più deboli come delle vacanze o bolle d'aria. Esternamente però il materiale duttile rimane integro mentre continua a deformarsi plasticamente finché le cricche non si espandono ~~o~~ a tal punto da separare anche le superfici più esterne del provino portando così alla formazione della tipica rottura "a coppa e cono".

La prova ROCKWELL può essere eseguita in varie modalità tra cui A, E e D con punta conica e B, E, F, G con punta sferica.

Esistono delle tabelle di conversione per passare tra le varie durezze, ma non sono molto precise.

Grazie alla particolarità della Brinell è possibile anche stimare il punto dell'UTS secondo la relazione  $UTS = K \cdot HB$  con K che si aggira intorno al valore di 3 ma varia a seconda del materiale.



es. 5 compito (14) ed es. 5 compito (13) riportati nell'esercizio

22/03/2021

Il concetto di deformabilità in fisico non è stato considerato fin'ora ed i corpi rigidi possono essere descritti nello spazio da un sistema di 6 equazioni.

Oggi introduciamo la deformabilità e quindi il sistema di equazioni diventa più complicato.

Definiamo una metrica che ci permetta di individuare in ogni punto del continuo (volume occupato dal corpo) lo stato tensionale e deformativo.

Sulla base di questa metrica, aggiungiamo due equazioni di equilibrio:

$$\begin{cases} \sigma_{ij} + p_{ij} = 0 & \text{con } x_j \in V \\ \sigma_{ij} \cdot n_j = \vec{p}_k & \text{con } \vec{x}_k \in \partial V \end{cases}$$

ed un'equazione (per deformazioni infinitesime) di congruenza  $\epsilon_{ij} = \frac{1}{2} (u_{i,j} + u_{j,i})$

che eviti casi di compenetrazione o frattura.

Ne consegue una legge costitutiva  $\epsilon_{ij} = f_{ij}(\sigma_{ij})$

fora

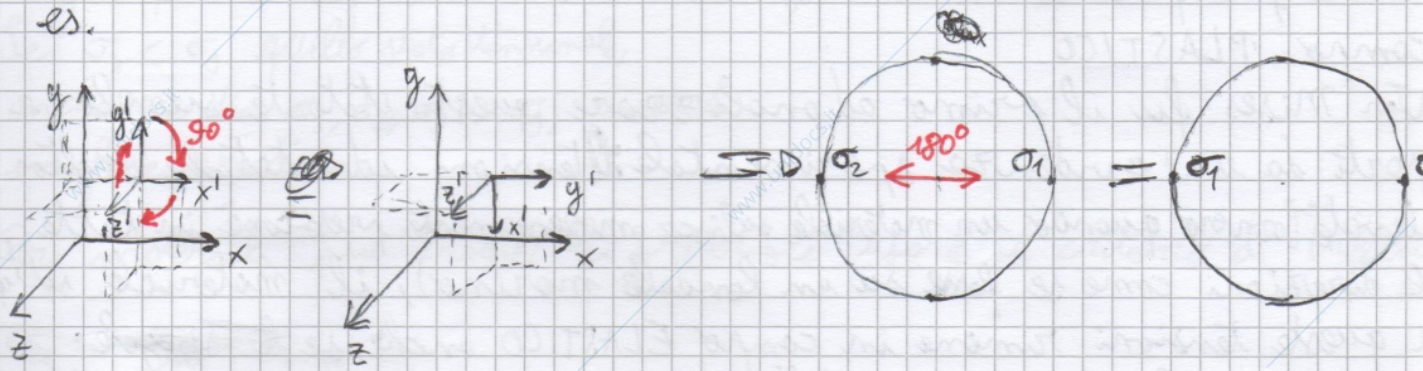
Le tensioni principali  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  si possono determinare matematicamente e non sono altro che gli autovalori associati alla matrice rappresentativa dello stato tensionale di un punto P.

Il centro  $O$  del cerchio di Mohr si trova come  $O = \frac{(\sigma_1 + \sigma_2)}{2}$

il raggio  $R = \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)}{2}$

Ad una rotazione di un angolo  $\alpha$  nel sistema di riferimento reale corrisponde una traslazione di tutti i punti sul cerchio di Mohr di  $2 \cdot \alpha$

es.



Casi particolari

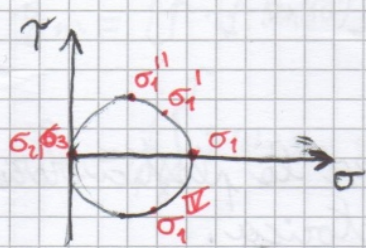
STATO TENSIONALE nelle prove di trazione

Nelle prove di trazione si realizza la prova in maniera tale da garantire una tensione costante ed uguale su ogni sezione del provino ( $\sigma = \frac{F}{A}$ ), ovvero uno stato tensionale

MONOASSIALE.

$$[\sigma] = \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Nella rappresentaz. del cerchio di Mohr,  $\sigma_2$  e  $\sigma_3$  coincideranno con l'origine perché sono nulli,  $\sigma_1$  potrà essere qualsiasi altro punto del cerchio. L'orbita di Mohr quindi collassa in un unico cerchio.



Ad questo punto possiamo anche definire i cerchi di Mohr per sforzi BIASSIALI o TRIASSIALI:

L'unità di tolleranza è  $i = 0,75 \cdot \sqrt[3]{D} + 10^{-3} \cdot D$  ( $\mu m$ ) per dimensioni da D da 0 a 500

con D = dim. nominale

~~$0,75 \cdot x = 0,75 \cdot x$~~   
 $\frac{45}{100} = 0,45 = \frac{9}{20} = 0,45 \mu$

Le norme ISO definiscono la distanza del campo di tolleranza dalla linea dello zero mediante una lettera (dalla a alla zc), minuscola per alberi e perni, maiuscola per fori.

L'unità di tolleranza per  $500 < D < 3500$  mm è

$I = 0,004 \cdot D + 2,1 (\mu m) = \frac{1}{250} \cdot D + 2,1$   
(mm)

(24 pagine)

02/03/2021

### Manufacturing system

Per l'immissione sul mercato di un prodotto è importante conoscere e organizzare con ordine il flusso di produzione.

Nella storia dell'evoluzione umana e tecnologica, con l'innesto della connettività tra i macchinari delle industrie, siamo giunti nella 4ª rivoluzione industriale.

Si possono considerare principalmente due aspetti del Manufacturing:

#### • TECNOLOGICI

L'ingegnere che progetta il prodotto e ne gestisce l'intera fabbricazione deve tenere conto di vari parametri, ma soprattutto deve riuscire a portare un'idea pratica nella realtà con processi reali.

Infatti, tutti i calcoli che si effettuano in fase di progettazione servono a capire se i macchinari a disposizione nell'azienda che ~~deve~~ realizzare il prodotto, sono in grado di generare "potenze" e "forze" <sup>dovranno</sup> sufficienti.

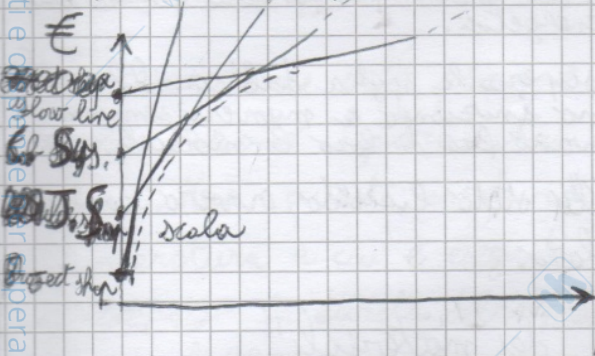
Anche la ~~scelta~~ disponibilità limitata dei materiali influenza pesantemente la scelta dall'incastro o altri sistemi a ~~realizzare~~ sistemi.

## • ECONOMICI

Una volta considerato il metodo qualitativamente migliore per produrre un oggetto, l'ingegnere deve anche stare attento soprattutto ai costi fissi e variabili della produzione. Di base, per limitati numeri di produzione, si punta ad investire nella qualità degli oggetti, anche a costo di sostenere prezzi elevati per i materiali.

Quando invece si tratta di produrre ingenti quantità di un prodotto si preferisce investire il proprio capitale una sola volta nei macchinari necessari e farli operare il più a lungo possibile.

Per le vie di mezzo è possibile considerare il grafico sottostante che rappresenta approssimativamente il rapporto tra costi di produzione e numero di pezzi da produrre per i



4 principali layout di organizzazione. Si segue l'intersezione delle rette per valutare, a parità del numero di pezzi da produrre, quale sistema conviene scegliere economicamente.

È una tendenza naturale quella di automatizzare tutta la linea di produzione all'aumentare del numero di pezzi.

05/03/2021  $\gamma$  materiali metallici e le loro proprietà

- chimico-fisiche ~~sono secondo le quali~~ (temperature di fusione e solidificare)
- meccaniche (es. resistenza, duttilità, durezza, ...)
- tecnologiche (es. trasparenza, opacità e altre proprietà funzionali per lo scopo)

Tutte queste proprietà, in particolare quelle meccaniche, sono le conseguenze macroscopiche di fenomeni che avvengono a livello atomico.

Ad esempio, la durezza di un materiale può dipendere fortemente dalla temperatura a cui esso è stato lavorato e dal tempo e di esposizione al raffreddamento.

In linea generale, possiamo spiegare quasi tutte le transizioni chimico-fisiche solo dopo aver definito come sono legati tra di loro gli atomi nel reticolo cristallino.

piuttosto che un altro. Poi bisogna valutare anche i processi di lavorazione da effettuare, le competenze richieste per la manodopera, gli spazi da gestire,...

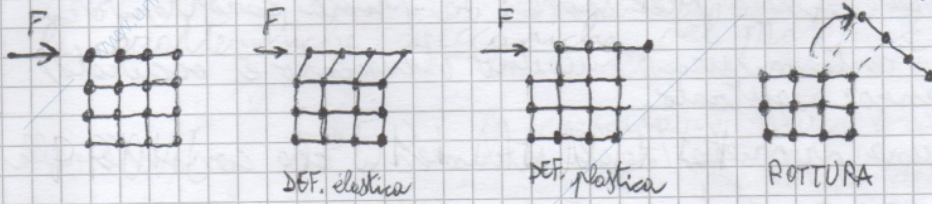
Di base, esistono 4 layout di organizzazione:

- Project shop/work: in questa configurazione il prodotto grezzo rimane fermo e la manodopera lo lavora portando con sé gli strumenti ed i macchinari necessari. (es. costruzione di un aereo)
- Job shop: il setup consiste nel disporre uno o più macchinari dello stesso tipo nel suo settore coerente. Nel cantiere, o nella zona di produzione, ci saranno quindi vari settori e la varietà dei pezzi sarà molto eterogenea poiché, a seconda del prodotto che si vuole realizzare, il percorso da seguire tra i settori sarà ogni volta differente in ordine e in lunghezza.
- Flow/transfer line: inventata da Ford ed è il layout più comune nelle fabbriche che operano una produzione di massa. Il prodotto grezzo viene posto ad una estremità di un nastro trasportatore che passa attraverso una serie di macchinari che si susseguono in fila ed ognuno di essi ha l'incarico di svolgere una unica e specifica azione. Nel gergo più comune si definisce catena di montaggio. (es. produzione di rasoi usa e getta o automobili utilitarie)
- Cellular system: ~~le macchine~~ così come nel Job shop, anche questa disposizione si divide in settori, detti cellule o cellule. In ogni cellula si dispone una piccola famiglia di macchinari che opera trasformazioni simili ma che possono variare in dimensione e/o accuratezza. Ad esempio può esistere una cellula che si occupa di trapanare e filettare una serie di pezzi, ogni volta in punti diversi. Con l'implementazione della connettività delle macchine, nell'industria 4.0 è più facile programmare ed organizzare le operazioni da esse compiute.

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

Ciò avviene se più della metà degli atomi che subiscono uno scorrimento non riescono a trovare altri atomi di altri piani a cui legarsi.



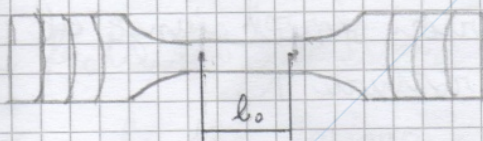
Per testare le caratteristiche meccaniche dei materiali si effettuano in laboratorio delle prove sperimentali su dei provini con dei carichi TEMPO-VARIABILI, a seconda della caratteristica che si vuole misurare:

- carichi statici (compressione, trazione, taglio, ...)
- carichi dinamici (resilienza, ...)
- carichi periodici (resistenza a fatica)
- carichi permanenti (creep)

Nell'esecuzione delle prove è importante seguire le normative le quali minimizzano i parametri che possono influenzare i risultati delle prove. Tra questi individuiamo le dimensioni del provino, la temperatura a cui è eseguita la prova, la durata degli sforzi, ma ~~ed~~ anche ~~il tempo~~ la durata del raffreddamento a cui è stato sottoposto il provino in fase di fabbricazione, ecc.

Successivamente alle prove da cui si desume le principali caratteristiche di un materiale, il progettista deve anche tenere conto del comportamento fragile - duttile secondo cui un materiale sottoposto a sforzi intensi, al variare della temperatura, può comportarsi in maniera fragile oppure duttile.

La geometria dei provini è detta a "osso di cono" ed è composta da due estremità filettate o "grippate" congiunte da una lunghezza  $l_0$  (lunghezza utile per la prova) che si riscalda ad esse.



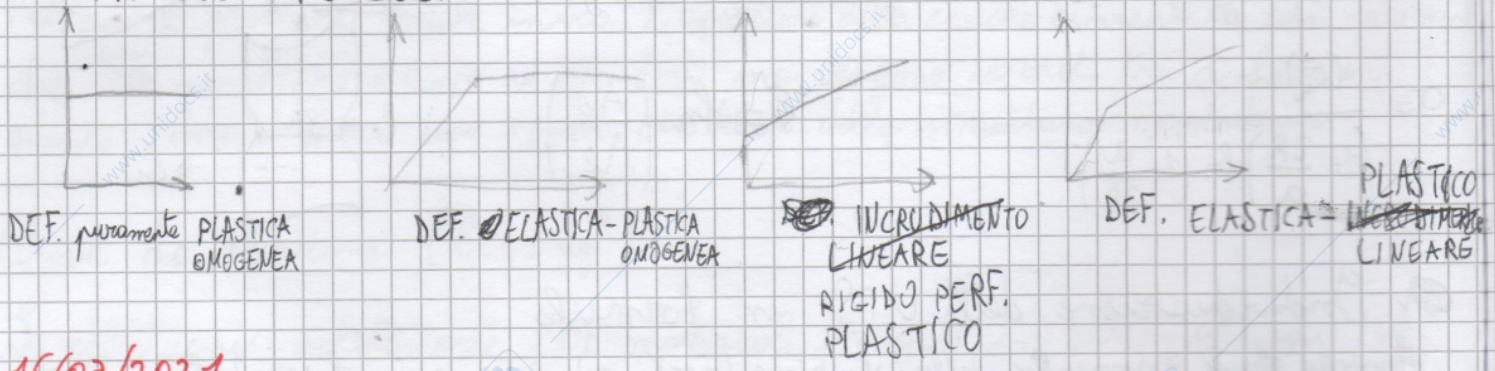
La superficie del provino è anche sottoposta a lappatura per diminuire la rugosità in modo che gli sforzi non

si concentrino su eventuali creste di ompiezza non trascurabile. Le misurazioni e l'elaborazione dei dati considerano:

- la tensione ingegneristica (o sforzo):  $S = \frac{P}{A_0} \left[ \frac{N}{m^2} \right]$

- l'allungamento:  $e = \frac{l - l_0}{l_0} \left[ \frac{1}{1} \right]$

MODELLI REOLOGICI



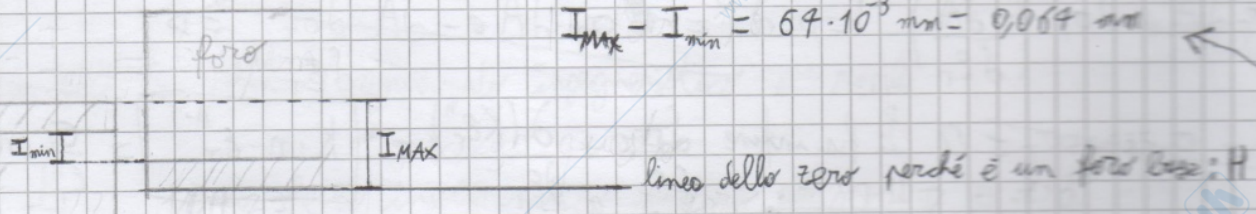
16/03/2021

Esercizi

Dato un accoppiamento foro base di diametro nominale  $D_n = 120 \text{ mm}$ , determinare la posizione e la qualità che realizzino un accoppiamento con interferenza

$I_{\min} = 12 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$  e  $I_{\max} = 76 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$ .

$I_{\max} - I_{\min} = 64 \cdot 10^{-3} \text{ mm} = 0,064 \text{ mm}$



Guardando le tabelle per i fori, la tolleranza di accoppiamento sicuramente è H, ma può essere: H6, H7 o H8. Non H9 o superiori perché H9 è  $\pm 0,0075$  che è maggiore di 0,064.

Essendo un foro base la sua tolleranza dev'essere un po' più della metà di 0,064, quindi escludiamo H6. Tra H7 ed H8 scegliamo il primo per ridurre il costo di produzione che comporterebbe H8.

Quindi il foro è 120 H7. Per l'albero cerchiamo un IT che è circa

$IT_{\text{albero}} \approx \frac{IT_{\text{FORO}}}{1,5}$  e  $IT_{\text{FORO}}$  lo misuriamo ed è  $IT_H = E_s - E_i = 35 - 0 = 35 \mu\text{m}$

Quindi il campo di tolleranza dell'albero deve essere circa  $IT_{\text{albero}} \approx \frac{35}{1,5} \approx 23,33 \approx 22 \mu\text{m} = e_s - e_i = IT_{\text{albero}}$

Guardiamo la tabella e vediamo che questo IT, ovvero  $e_s - e_i = 22$  corrisponde al numero 6, ovvero  $(IT_{\text{FORO}} - 1)$ . ~~Q~~ ~~io~~ ha senso.

Ora non resta che individuare da dove far partire questo IT, ovvero bisogna trovare i valori specifici di  $e_s$  ed  $e_i$ .

Rappresentiamo nuovamente il disegno per fare chiarezza sulle quote già note.