



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO : 399

DATA : 02/11/2012

A P P U N T I

STUDENTE : Tabasso

MATERIA : Sistemi di Produzione

Prof. Galetto

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

**ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**

ISTITUTI DI PRODUZIONE

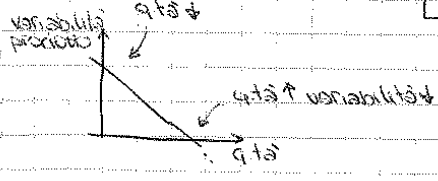
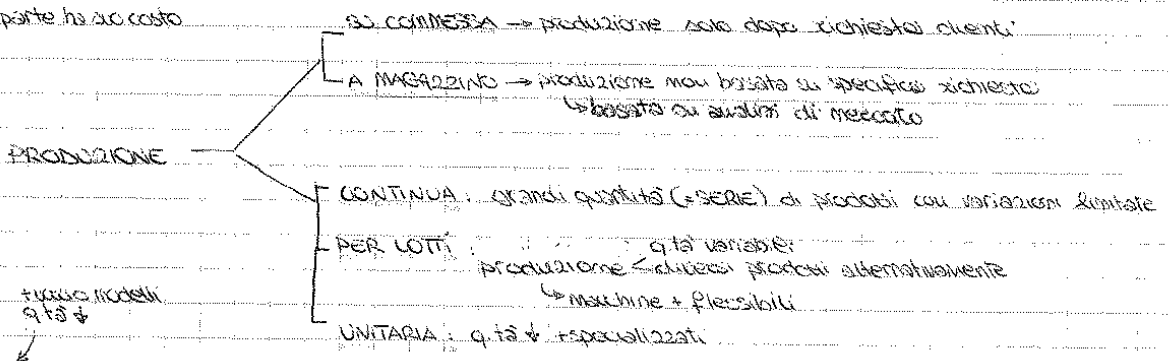
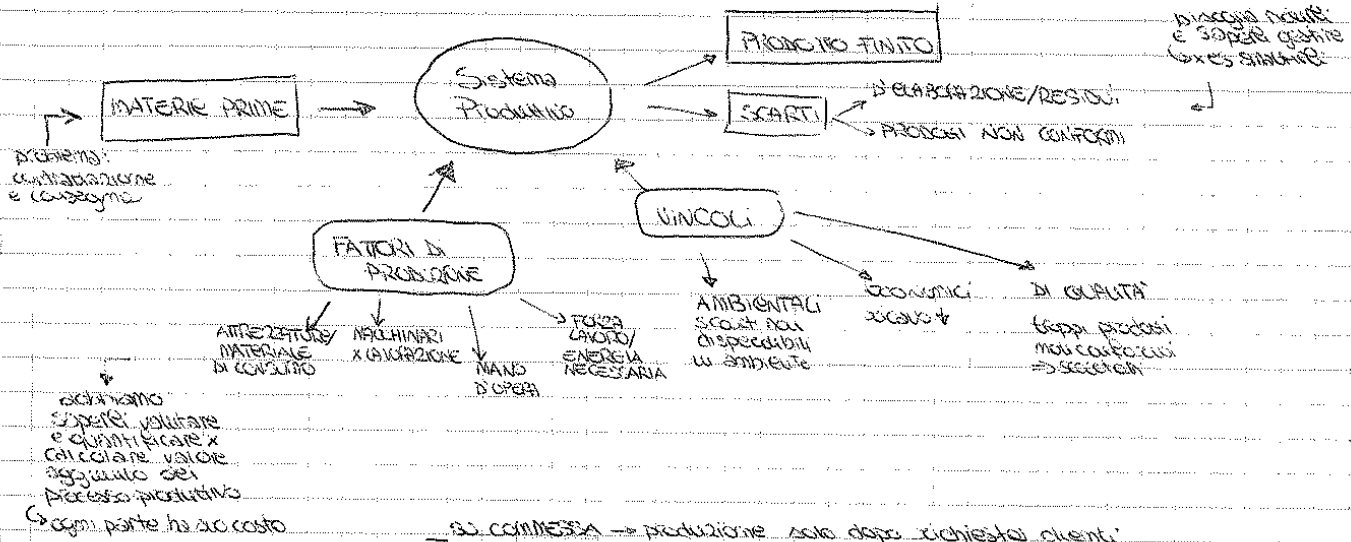
TECNOLOGIA DI PRODUZIONE:

PROCESSO PRODUTTIVO INDUSTRIALE: insieme di attività tecnologiche e organizzative necessarie a trasformare materiali in prodotti o beni economici

NOME: danno info su modo corretto x processo (o anche x caratt prod)

↳ in base a esse bisogna organizzare processo

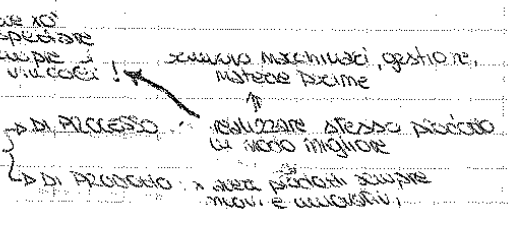
↳ rappresentate da num + sigla



- NATIERE PRIME
- Metallici
 - Ceramici
 - Polimeri
 - Naturali

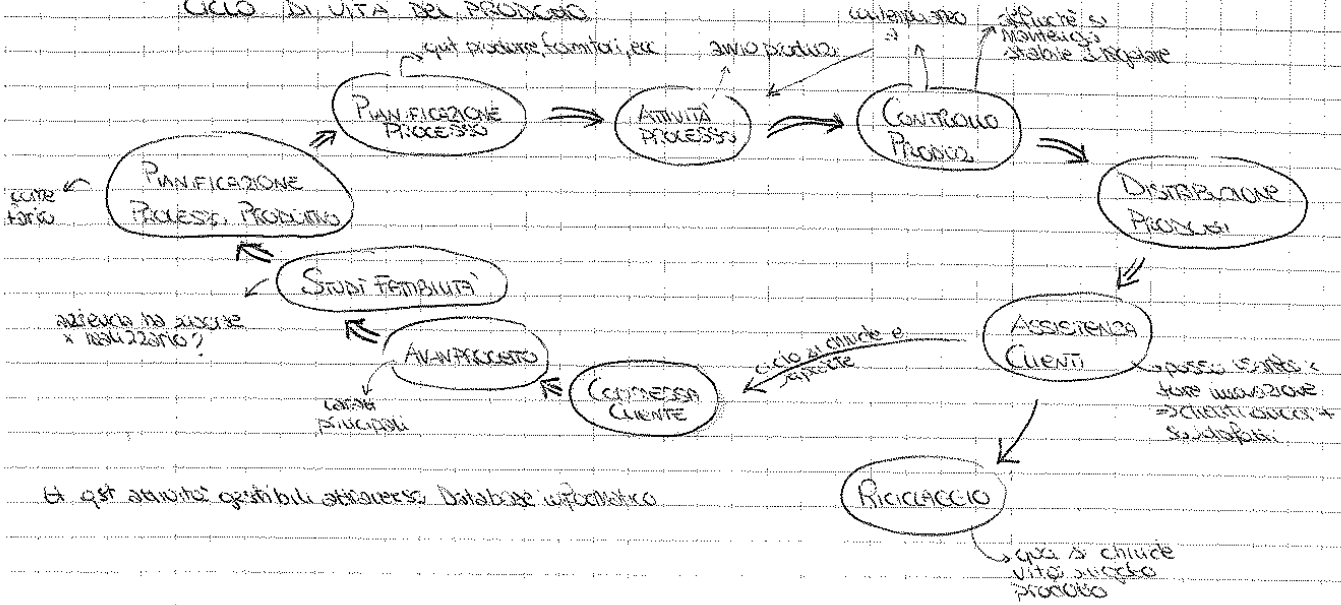
PRODUZIONE: fusione colabedizante di aziende

sulupio azienda necessita innovazione continua → INNOVAZIONE

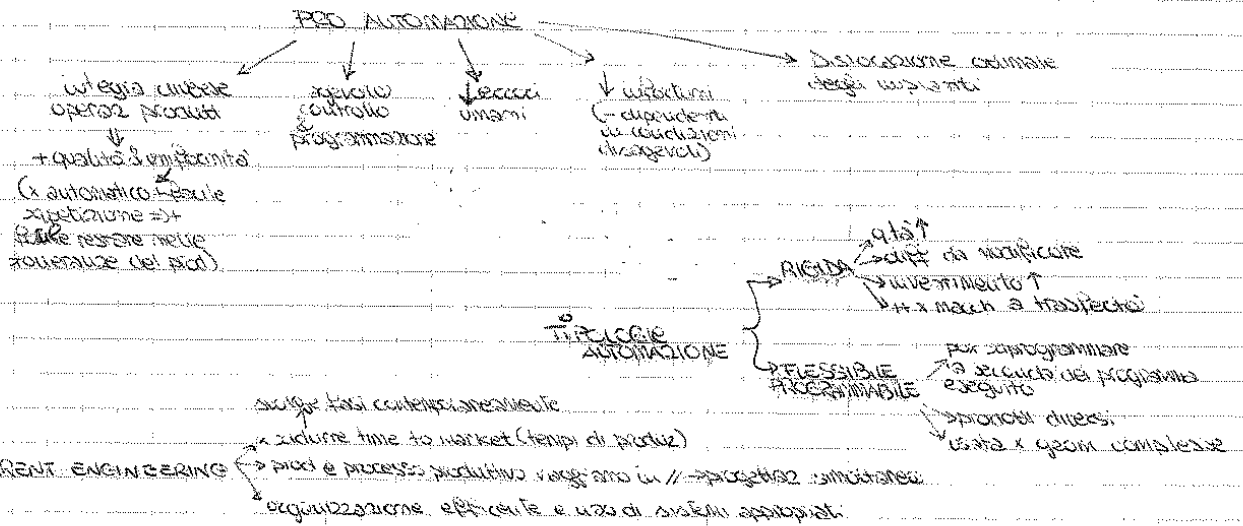


- aspetto strutturale: disposizione macchine
- " di trasformazione: analisi funzionale processo di transf attraverso voci macchinari
- " procedurale: fasi operative dello prod

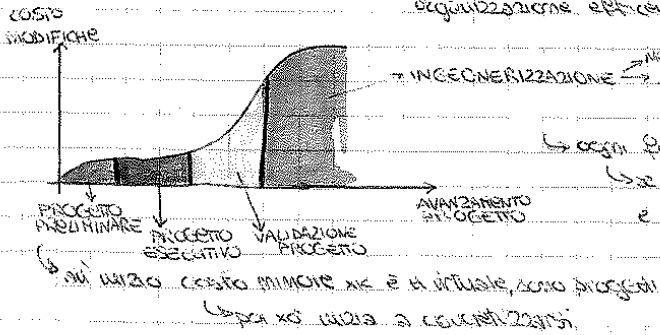
Ciclo di vita del prodotto



FABBRICA AUTOMATICA

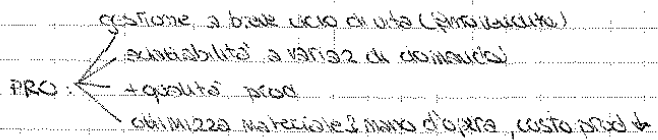


CONCURRENT ENGINEERING

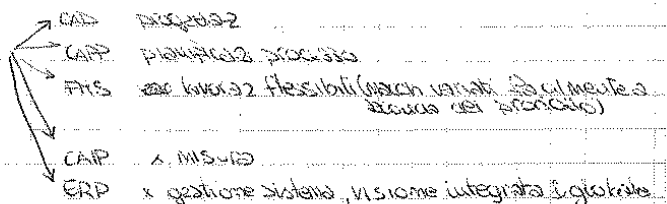


Ciclo

con quale automazione
vedere se conviene ogni volta



ELEMENTI BASE



misura a traverso regolari

$$R_a = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i|$$

N punti considerati
 distanza tra punto e linea di riferimento (50 picchi, 50 valli)

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i^2}$$

R_t = distanza tra picco alto e valle profonda
 R_v = valle profonda e linea ideale $\Rightarrow R_t = R_v + R_p$
 R_p = picco alto

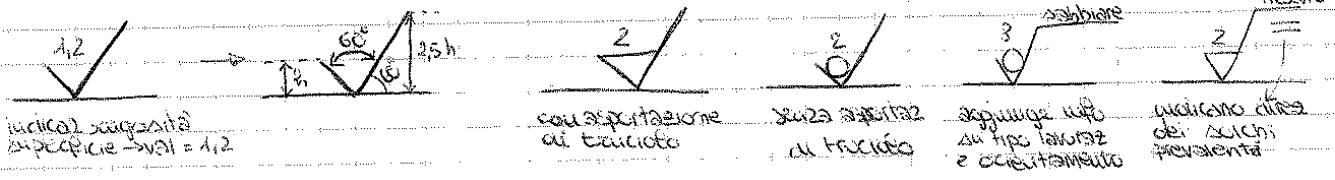
ISO $\rightarrow \frac{\sum y_{ei} + \sum |y_{vi}|}{5}$ perché 5 picchi + 5 valli (y_{ei} = distanza picco - linea) e 5 valli = profonde (y_{vi} = dist valle - linea)

DIN $\rightarrow \frac{1}{5} \sum R_i$ trova 5 porzioni regolari (lunghezze di taglio) e a ognuna calcola R_t

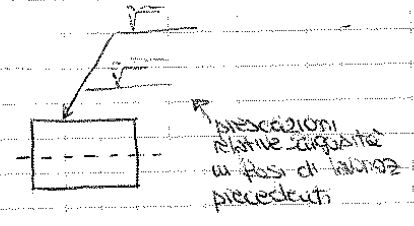
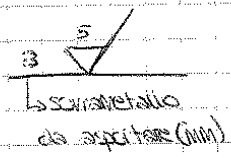
W_a, W_e sono i parametri cospici nel caso di circolazione

Si può costruire curva di probabilità \rightarrow frequenza con cui superficie coincide con ogni livello
 \hookrightarrow proprietà dipendono da tipo e profilo
 \hookrightarrow CURVA DI ABBEVI \rightarrow curva di prob. cumulata
 \hookrightarrow profilo curva dipende da lavorazione meccanica
 \Rightarrow costruendo curva si conosce lavorazione effettuata

Indicazioni sui disegni:



Esiste anche un'altra simbologia chiamata ANSI



Superfici hanno superficie di contatto tra loro - sup. ideale
 \hookrightarrow si toccano solo picchi \Rightarrow + rugosità = adesione

TOLLERANZE GEOMETRICHE \rightarrow scostamento max tollerato da fig. reale a fig. ideale corrispondente

FORMA:	Rettilineità		scostam. max di linea reale da quella ideale di baseamento	POSIZIONE:	Inclinazione	
	Planarità				Parallelismo	
	Circolarità				Normalità	
	Cilindricità			due cilindri che hanno base =	Concentricità	
					Coassialità	
					Simmetria	

Tolleranze geometriche e tolleranze dimensionali vanno trattate in modo indipendente tra loro

Richiami chimici

- caratteristiche fisiche & chimiche dipendono da num e disposizione elettroni di valenza
- atomo senza un e⁻ = IONE

LEGAME IONICO: atomo cede e⁻ a altro atomo → ioni → si attraggono

• COVALENTE: atomi condividono e⁻

• METALLICO: più atomi mettono in comune molte di e⁻ → e⁻ di valenza → e⁻ di conduzione → ioni positivi immersi in nuvola di e⁻
 ↳ coesione & forze di attrazione → equilibrio stabile

FORZE DI DIFUSO: dovute a sbilanciamento tra forze in atomo, e permanentemente o temporaneamente

• DI VAN DER WAALS / DI LONDON / LEGAME INDIRETTO

Reticolo Cristallino

↳ formato dai ioni metallici

↳ CELLA UNITARIA → + piccole, + azione di volume, + ripetute = reticolo

↳ A CORPO CENTRATO (CC)

↳ ioni = vertici cubi + centro

↳ Fe_{CC} - α = forma allotropica, stabile fino 910°C

↳ A FACCE CENTRATE (CFC)

↳ ioni = vertici cubi + uno ione al centro di ogni faccia del cubo

↳ in zona centrale vuota ⇒ favorisce iniezione atomi di altri materiali

↳ materiali ottenuti da miscugli ⇒ leghe

↳ Fe_{CFC} - γ : 910° - 1410°C

↳ STRUT CRISTALLINA ESAGONALE COMPATA

↳ ioni sono vertici di cilindro a base esagonale + al centro di ogni base + al centro cilindro
tra si e un mo

DIFETTI DI PUNTO: VACANZE

↳ manca ione positivo = VACANCY

↳ mancanza congiunta di ione + e ione - = coppia di vacanze non varia = ION PAIR VACANCY

↳ si inserisce atomo irregolare = INTERSTITIALY

↳ ioni di atomi diversi a dispendio in modo irregolare (metodi posiz sbagliato)

DIFETTI DI LINEA: DISLOCAZIONI



↳ EDGE DISLOCATION = distorsione di spigolo: due piani distanti o fonduto in un unico piano



↳ SCREW DISLOCATION = crea spicchio di ret che si congiunge nel margine

↳ di un lato c'è un'iso in più che passa vicino al margine o lato schiacciato

Se applico forza dove ci sono dislocazioni atomi tendono a spostarsi vs interno

↳ facilita deformaz plastica del materiale

DIFETTI DI SUPERFICIE: BORDI DI GRANO

↳ chiamati grani = aggregato cristallino

↳ materiale normalmente formato da tanti cristalli uguali con orientamento diverso

uniti tramite facce → passando su ogni faccia si trovano irregolarità

DIFETTI DI VOLUME: irregolarità nella struttura di piani cristallini

↳ es. dislocazioni

SCORRIMENTO PLASTICO: deformazione avviene x azione di forze di taglio lungo piani di scorrimento

DEFORMAZ ELASTICA: è istantanea, ma permanente → ritorna a forma iniziale quando la forza - forza

PLASTICA: quando forza vince legami ⇒ deforma permanentemente (c'è scorrimento plastico)

TRATTAMENTI TERMICI

↳ con cui termo si può modificare prima dei metalli senza sculture a fusione

1) RICOTTURA

↳ di solito dopo lavorazione, x attenuare tensioni → resistenza ↓, durezza ↓, + omogeneo
↳ riscaldamento a T ↑ → raffreddamento lento

2) TEMPIA

↳ riscaldamento a T ↑ → raffreddamento rapido in acqua/olio
↳ durezza, resistenza, fragilità ↑

3) RINTENERIMENTO

↳ di solito segue tempra x evitare fragilità ↑
↳ riscaldamento contenuto (sotto T di formaz austenite) → raffreddamento controllato
↳ tenacità ↑, durezza, fragilità ↓

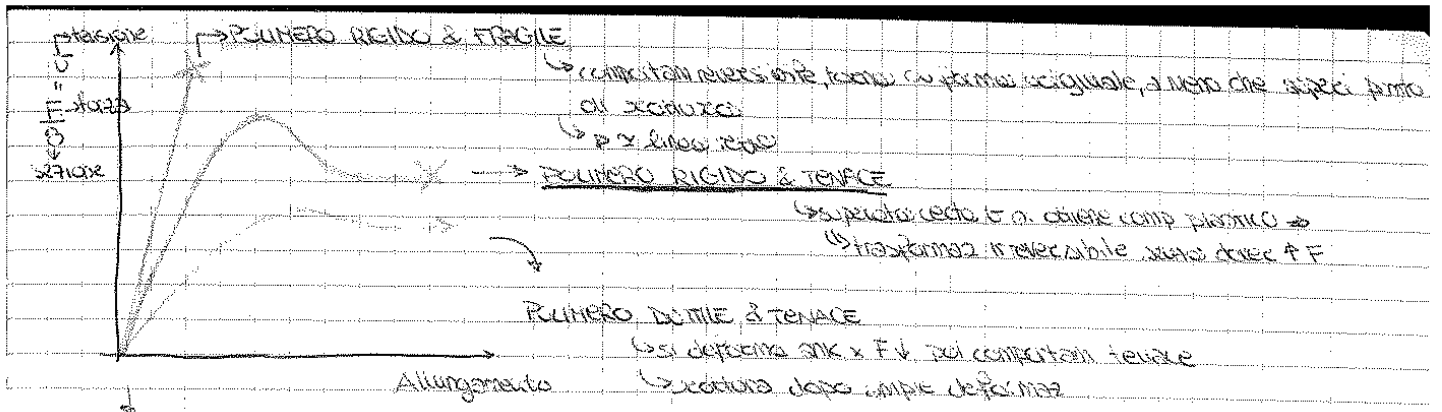
↳ resistenza ↑, durezza ↓
FRAGILE: resistenza ↑, rischio di deformazione ↑
FLESSIBILE: fragilità ↓
TENACE: tende a deformarsi, ma buona resistenza ↑
DOLCE: cambia l'aspetto dopo stressamento
della parte di lavoro

4) NORMALIZZAZIONE

↳ riscaldamento a T ↑ → raffreddamento in aria
↳ durezza ↓
↳ + omogeneo, tensioni interne ↓

TRATTAMENTI SUPERFICIALI

- ↳ cambio solo proprietà superficie
- ↳ RIMOZIONE STRATO SUPERFICIALE
- ↳ CONVERSIONE DELLA SUPERFICIE:
 - ↳ resistenza a corrosione ↑
 - ↳ ossidazione sup con procedure to - chimiche (Anodizzazione)
- ↳ TERMICI
 - ↳ cementificazione, nitrurazione
 - ↳ tempra su ALP / diffusione elem su strato ALP
- ↳ DEPOSIZIONE



più curva verticale più mat rigido (non dell'elasticità)
 ↳ rappresentato da $E [GPa]$ ⇒ $E ↑$ deformabilità ↓ resistenza ↑
 σ_c = TENSIONE DI ROTTURA

Poliethylene (PE)

- ↳ termoplastico
- ↳ trasparente / bianco
- ↳ fogli sottili & trasparenti (o colorati art)
- ↳ fusione: HDPE: $110 \pm 13^\circ C$
fragile: $-75^\circ C$
- ↳ HDPE ⇒ catena lineare ⇒ high density
- ↳ LDPE ⇒ " ramificata ⇒ low : (legami trasversali ⇒ densa)
- ↳ (LLPE = low linear)
- ↳ usato in diversi campi

PRO

costo ↓ tenace ↑ Resistenza mecc ↑ elasticità ↑ Resist chimica ↑ isolaite ↑ permeabile acqua ↓ solubile ↓ Resistibile a an carb ↓

← **CONTRO**

proprietà mecc
 ↓ x esposizione
 a ossigeno/luce

Polivinilcloruro (PVC)

- ↳ x polimerizzazione da cloruro di vinile
- ↳ fusione $211^\circ C$
- ↳ transizione vetrosa: $80^\circ C$
- ↳ Resist mecc ↑ 60, 70 MPa
- ↳ solventi, chimica, a flammie
- ↳ calore/luce ⇒ " "
- ↳ rigido opp plastico flessibile elastico

Resine ABS

- ↳ termoplastico
- ↳ miscela x sin: elastomero
- ↳ Acrilnitrile (20/30%) + Butadiene (20/30%) + Stirene (40/60%)
- ↳ 2 fasi: ↳ componente elastomero
 ↳ dispersa in matrice rigida
- ↳ Resistenza mecc a ogni usi: & chimica ↑
- ↳ lavabile, rigido, Trasformaz ↑
- ↳ costo ↑↑

ROCKWELL

- ↳ rilevazione diretta, durezza dipende da penetrazione
- ↳ scala convenzionale
- ↳ punta indentatore → conici e sferici (corrisp. a scale #)
- ↳ P [kgf]

- ① si effettua pre-carico di 10 kgf ⇒ penetra nel mat ⇒ si ottiene db
- ② carico ⇒ aggiunta 2° carico = 140 kgf ⇒ penetrazione supplementare in materiale
- ③ ritorno a carico iniziale
 - ↳ c'è piccola elasticità, la parte della def. rimane
 - ↳ calcolo differenza profondità tra carichi = precisione di trasformazione misura.

la scala di scala rockwell

$$HRC = 100 - 500 \epsilon$$

$$HRB = 130 - 500 \epsilon$$

PROVA KNOOP

- ↳ penetratore: diamante, piramide allungata ⇒ impronta = rombo, una diag. \neq dell'altra
- ↳ $F = 0.25 N \approx 50 N$
- ↳ lunghezza impronta = $L = 90 \epsilon = 9,10 \text{ mm}$
- ↳ micro durezza
- ↳ x = provini piccoli / sottili
- ↳ mat fragile
- ↳ prove su singoli grani

coefficiente moltiplicativo

$$HK = \frac{A,2 P}{L^2}$$

lunghezza diag. \uparrow

PROVE MECCANICHE DESTRUTTIVE

PROVA DI TRAZIONE

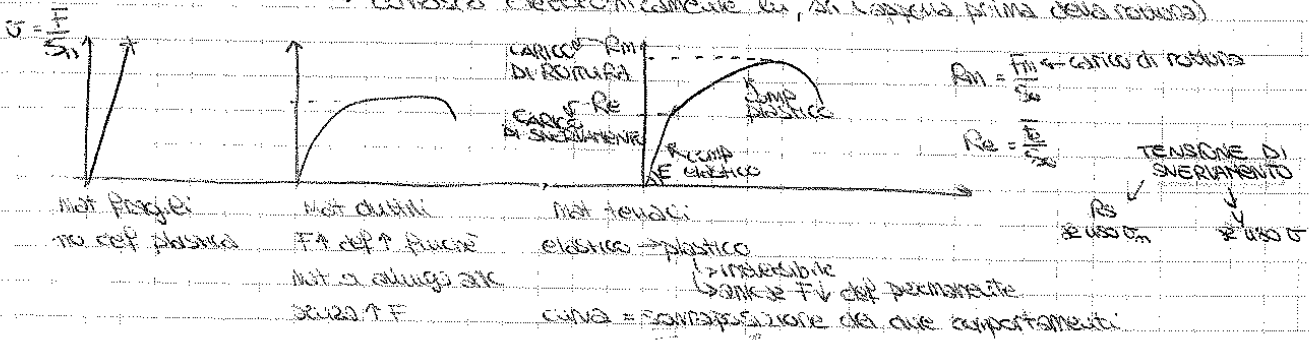


- ↳ x relative a cert. mecc. mat.
- ↳ provini cilindrici o a sezione variabile, aventi dim. trasversali \ll lunghezza
- ↳ sottoposti a carico assiale di trazione (cioè allungato)

l_0 = lunghezza iniziale l_u = sezione iniziale $l(l) \geq l_0$ $A(l) \leq A_0$

provino si allunga fino a rottura

↳ conoscere elettronicamente l_u , A_n (appena prima della rottura)



STRAZIONE → zona di contrazione che assorbe def. su provino



MODULO ELASTICO o DI YOUNG

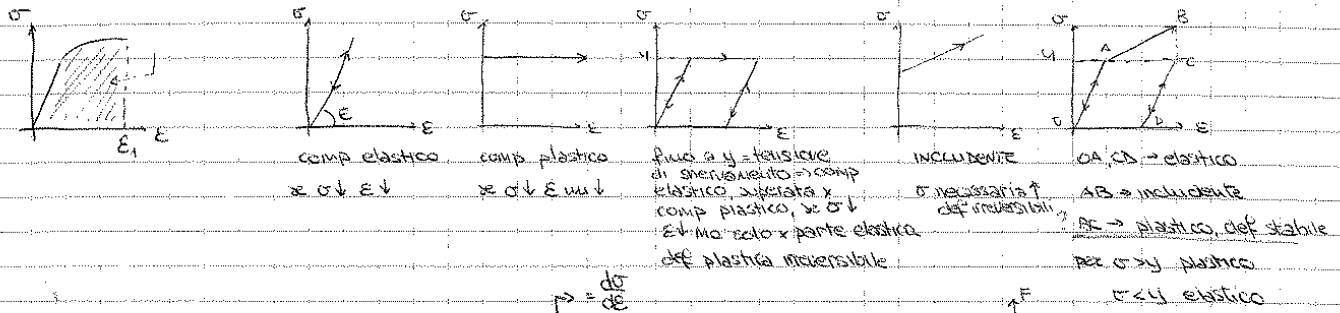
$$E = \frac{F \cdot L_0}{S_0 \cdot \Delta L}$$

MODULO DI POISSON: $\nu = \frac{\epsilon_e}{\epsilon_y}$

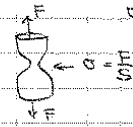
\rightarrow allungam. longit.
 \rightarrow def. trasversale

$R_m = \frac{F_m}{S_0}$ CARICO DI ROTTURA
 $R_s = \frac{F_s}{S_0}$
 $A = \frac{L_0}{L}$

TENACITA' → Energia assorbita x portare mat a rottura (e tens uniaxiale)
 ↳ $\int_0^{\epsilon_1} \sigma d\epsilon$
 ↳ area sottesa dalla curva fino a rottura del provino (ϵ_1)



Dopo inizio strizione forza resistente ↓ (incrudimento in compressione K₂ > K₁)
 ↳ qui si concentrano le deformazioni



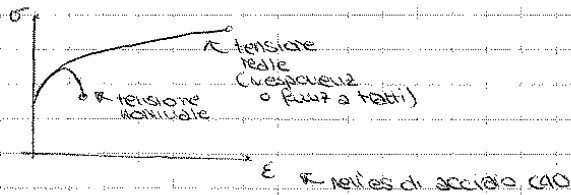
↳ fine vogliono il max, dopo allungamento oltre questo punto

Instabilità qui $F = F_{max} \Rightarrow \frac{dF}{d\epsilon} = 0$
 $\frac{dF}{d\epsilon} = \frac{d(\sigma S)}{d\epsilon} = \sigma \frac{dS}{d\epsilon} + S \frac{d\sigma}{d\epsilon} = 0$
 $\Rightarrow S \left(\frac{d\sigma}{d\epsilon} + \frac{\sigma}{S} \frac{dS}{d\epsilon} \right) = 0$
 ↳ divide entrambi membri
 $\frac{d\sigma}{d\epsilon} + \frac{\sigma}{S} \frac{dS}{d\epsilon} = 0 \Rightarrow \frac{d\sigma}{d\epsilon} = -\sigma \frac{dS}{d\epsilon} \frac{1}{S}$
 CONDIZIONE DI ROTTURA

Carico ideale: $\sigma = C \epsilon^n$

↳ $\frac{d\sigma}{d\epsilon} = \sigma \Rightarrow C n \epsilon^{n-1} = \frac{d\sigma}{d\epsilon} \Rightarrow C n \epsilon^{n-1} = C \epsilon^n \Rightarrow n = \epsilon \Rightarrow C_{max} = C n^n$

incrudimento in compressione K₂
 ↳ D.S. ↓



PROVA DI COMPRESIONE

- ↳ si comprime in grosso petto + tutto (così in si piega o flette)
- ↳ prova diversa risp a qd di trazione (lungo & alto)
- ↳ si lubrificano parti di contatto → se no adesione con pressori → allungam, disomogeneo
- ↳ lunghezza > estremi provino x evitare fenomeni di contatto ore rotolano fa piana

Prova di durezza = prova di compressione localizzata

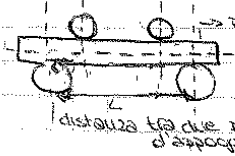
↳ $HB \approx 3 Re$

cinetica Brinell ↳ tensione sneramento

↳ per passare: $Re \left[\frac{kgf}{mm^2} \right] \cdot \frac{9,8}{10^6} = Re \left[\frac{N}{mm^2} \right]$

PROVA DI FLESSIONE

↳ x conoscere carico di rottura di mat fragili



↳ carico provato con carico a $\frac{l}{2}$ distanza da appoggi, opposto due carichi uguali e simmetrici

↳ All'inizio regime di elasticità → se tolgo carico torna a posto iniziale → per risalire momento di flessione

$M = \frac{F}{2} \cdot \frac{l}{2}$

$W = \frac{I}{\frac{l}{2}} = \frac{I}{2} \rightarrow$ se in spessore
 $I = \frac{b^3 s}{12}$
 $W = \frac{b^2 s}{6} \rightarrow \sigma_F = \frac{FL}{4W}$

$\Rightarrow F = \frac{b^2 s \sigma_F}{1,5 L}$

$\sigma_F = \frac{M}{W}$

ULTRASUONI

↳ suono si propaga in mat. come onda elastica \Rightarrow se mat. uniforme, onda si propaga in modo uniforme

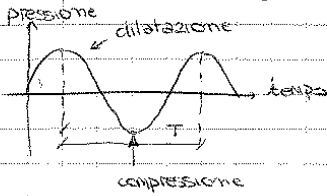
ONDE LONGITUDINALI O DI COMPRESSIONE \rightarrow fasi alternate compressione e dilataz. \Rightarrow sollecitazioni alternate piana
 ↳ usata

ONDE TRASVERSALI O DI TAGLIO: vibraz. later. xk sogg. a forze di taglio

ONDE SUPERFICIALI \rightarrow propagazione onda lungo strato superficiale

ONDE FLESSURALI \rightarrow in lamiera con spessore = lunghezza d'onda

Nel caso onde long.



lunghezza d'onda

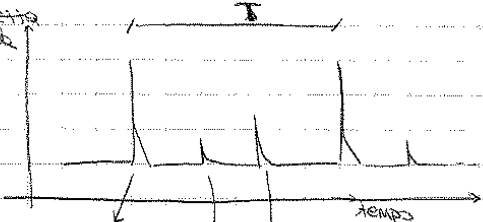
$$f = \frac{1}{T} \quad \lambda = x(t+T) - x(t)$$

velocità

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f$$

IMPEDENZA ACUSTICA: $Z = \rho \cdot v$
 ↳ velocità
 ↳ densità mat.

ampiezza d'onda



\rightarrow segnale acustico viaggia nel mezzo, se incontra irregolarità viene

reflessa \rightarrow parte torna indietro (onda di ritorno)

↳ fine = grande discontinuità \Rightarrow onda riflessa

qll + grande = onda trasmessa

onda di ritorno (onde x irregolarità) maggiore = fine materiale

onda riflessa a causa di discontinuità

RADIOGRAFIA

↳ fascio di raggi x

↳ interporre pezzo da analizzare tra sorgente raggi x e lastro

↳ difetti mostrati su lastro come parti annerite \rightarrow in contrasto con figura

↳ è proiezione \Rightarrow difetti di taglio risp. raggi potrebbero non essere visti

bidimensionali (con luce) \rightarrow se orientam. risp. oss. sono costante e inclinato

↳ non è immediato riconoscere i difetti

↳ spessore max = 150 mm

↳ costi sostituzione sorgente radioattiva

↳ costo

↳ contenitore piccolo & facile trasportabile

↳ no alimentaz. elettrica

SCORRIMENTO PLASTICO

↳ def. direzione della deformazione nelle 3 direz principali in funz della direz delle sollecitazioni

$$\epsilon_1 = \lambda \left[\sigma_1 - \frac{1}{2}(\sigma_2 + \sigma_3) \right]$$

$$\epsilon_2 = \lambda \left[\sigma_2 - \frac{1}{2}(\sigma_3 + \sigma_1) \right]$$

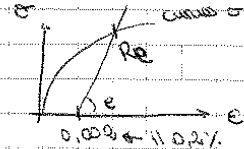
$$\epsilon_3 = \lambda \left[\sigma_3 - \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_2) \right]$$

↓
velocità
con cui
si viene def
coefficiente di proporz
↳ dipende da condiz problema

← LEGGE DI PRANDTL e REUSS

CASE UNIASSIALE: $\epsilon_1 = \lambda \sigma_1$

NOTA:
Per un certo def. come:



limite di snervamento: oltre il quale def. plastica
↳ nel caso di 3 tensioni $\Rightarrow \sigma = 4$, ma in triassiale
bisogna def. combinazione delle 3 σ

↳ serie relazione con tensioni

CRITERIO DI SNERVAMENTO:

CRITERIO DI TRESCA: $\sigma_1 - \sigma_3 = 4$

CRITERIO DI VON MISES: $(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 24^2$

↳ tensione equivalente: $\frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$ → è la σ equivalente da usare nelle condiz con σ

↳ deformazione equivalente: $\frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + (\epsilon_2 - \epsilon_3)^2 + (\epsilon_3 - \epsilon_1)^2}$
* tens eq = lavoro di deformaz

Casi:

Tensione piano $\Rightarrow \sigma_2 = 0$
↳ agisce lungo un piano

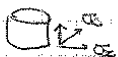
TRESCA: $\sigma_1 - \sigma_3 = 4$

VON MISES: $\sigma_1^2 + \sigma_3^2 + \sigma_1^2 + \sigma_3^2 - 2\sigma_1\sigma_3 = 24^2 \Rightarrow \sigma_1^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_3 = 4^2$

Tensione assiale/simmetrica $\Rightarrow \sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$

TRESCA: $\sigma_1 - \sigma_3 = 4$

VON MISES: $(\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 24^2 \Rightarrow \sigma_1 - \sigma_3 = 4$



Deformazione piano $\rightarrow \epsilon_1 = 0, \epsilon_2 \neq 0, \epsilon_3 = -\frac{1}{2}(\sigma_3 + \sigma_1) = 0$

TRESCA $\sigma_1 - \sigma_3 = 4$

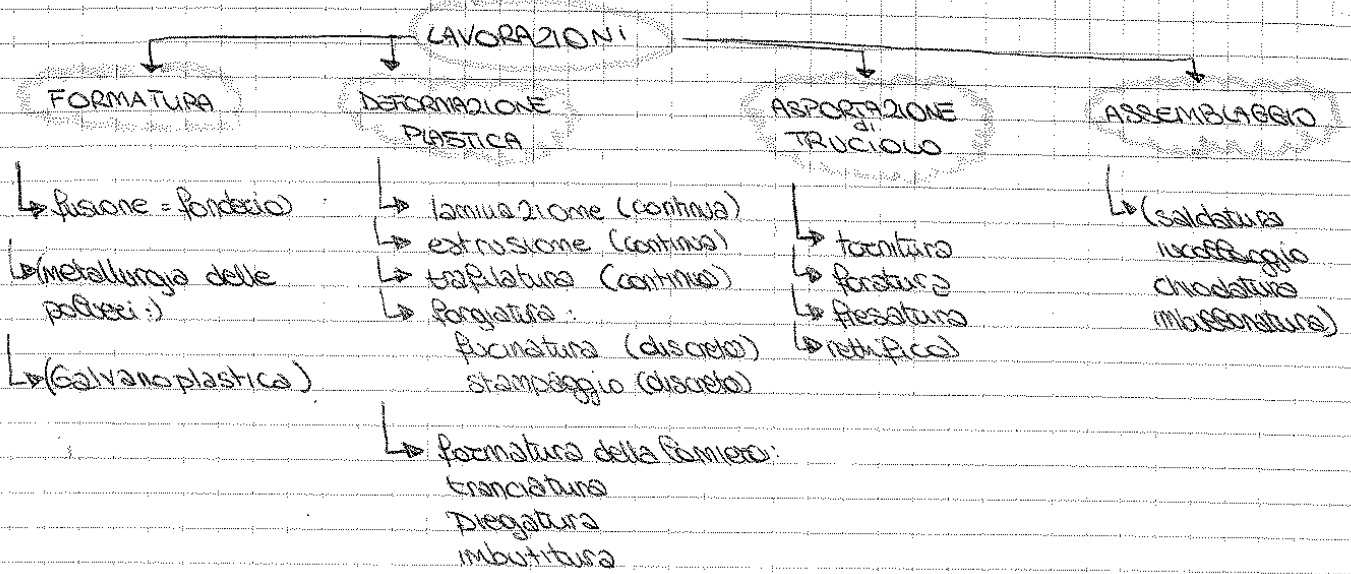
↳ le 3 σ , ma def avviene solo su un piano

$$\sigma_2 = \frac{1}{2}(\sigma_3 + \sigma_1)$$

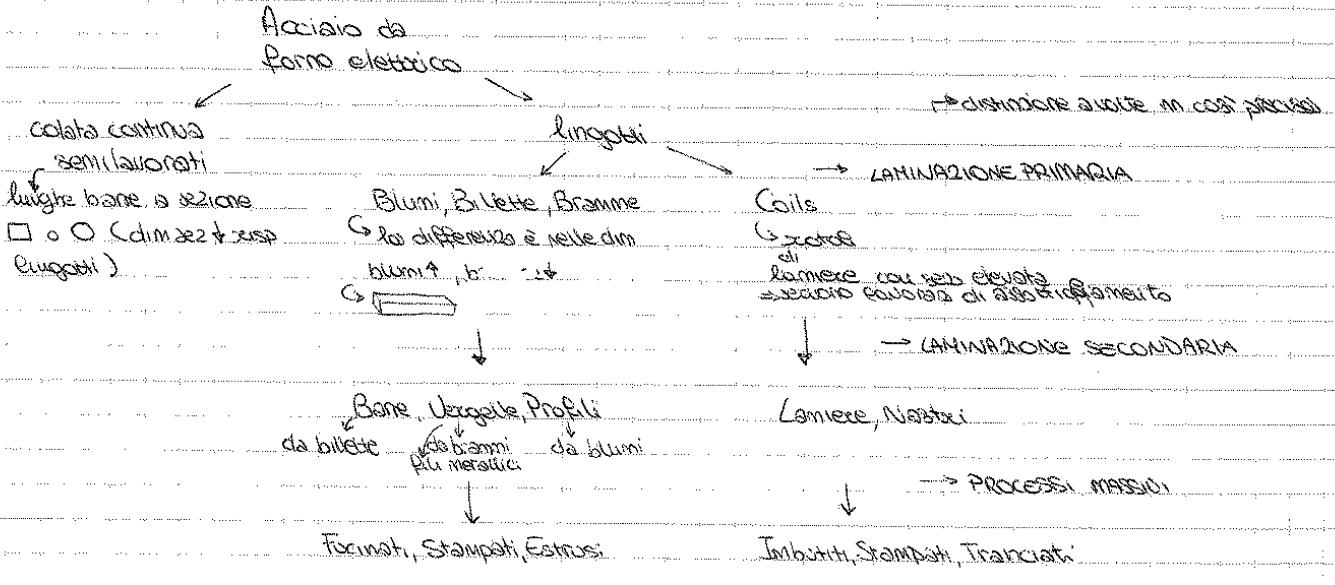
VON MISES: $(\sigma_1 - \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3))^2 + (\frac{1}{2}(\sigma_3 + \sigma_1) - \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3))^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 = 24^2$

$$\left(\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)\right)^2 + \left(\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)\right)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 = 24^2 \quad \frac{3}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)^2 = 24^2$$

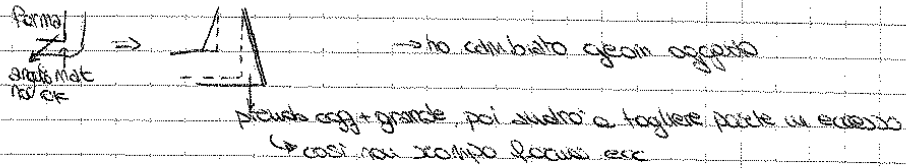
↳ $\sigma_1 - \sigma_3 \approx 1,54$ (molto vicino a Tresca)



↳ stampaggio a iniezione
 ↳ termoforatura



Angoli di sporno: si evitano di non avere angoli acuti di ferro a contatto con metallo
 ↳ potrebbero rimanere attaccati ai materiali



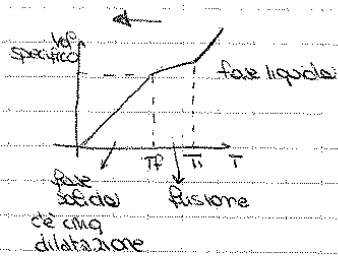
Pochete d'anima: evita di essere ancorata a focus, se no galleggia
 ↳ bisogna bilanciare le due pressioni
 ↳ ma capote che non siano uguali, se $p \text{ di anima} > p \times \text{spinta di Archimede}$ ⇒ galleggia, quindi PORTATA = cont si è danneggiato

Raccordi: si evitano gli spigoli vivi ($\leq 90^\circ$) x stesso motivo di angoli di sporno
 ↳ angoli di ferro arrotondati (c'è calcolo x sapere raggio arrotondamento)
 (c'è T di mat ferro più arrotondare focus)

Scomposizione del modello: x facilitare estrazione si scompungano ferro & modello in due parti separate da placca ⇒ interfacciate. Gruppo stesso di divisione

IL FENOMENO DEL RITIRO

↳ man mano che materiale si solidifica volume ↓
 ↳ esterni + interni si solidificano prima x a contatto con focus (ha T ↓)
 pezzo che ↓ man mano che solidifica
 ↳ x si solidifica contemporaneamente si contrarre materiale



⇒ **CAUSA DI RITIRO**
 ↳ danni geom & strutturali



↳ mat. andando vs intero ha sempre ↓ mat. da solidificare

⇒ **MATEROTTA**

- ↳ metallo di metallo che alimenta il getto
 - ↳ compenso variazioni di volume dovuto a solidificazione
 - ↳ ⇒ no cavità!
 - ↳ dove solidificarsi x ultima
 - ↳ A CIELO APERTO
 - ↳ su parte superiore di ferro ⇒ a contatto con partm
 - ↳ CIECHE
 - ↳ immerse in ferro
 - ↳ punto in cui si fonde durante solidificazione
 - ↳ cavità di ritiro a contatto con partm
- ⇒ entrambe a contatto con partm

↳ ferro materotta prep = specifico ⇒ conosco colore, scambio termico con esterno ↓

COLARE D'ATTECO: collega materotta a getto x eliminare + facilmente residui materotta

MODULO DI RAFFREDDAMENTO

$M = \frac{V}{S}$
 V → volume
 S → sup di scambio termico effettivo

⇒ M ↓ tempo solidifica ↓
 ⇒ materotta → M ↑

↳ es cilindro: $M = \frac{\pi d^2 h}{4h} = \frac{d^2}{4}$
 $2hd\pi + 2 \cdot \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 2(d+dh)$

non sempre il sup solo a contatto con esterno

PROCESSI A INDURIMENTO CHIMICO

↳ al CO₂

- ↳ legante: silicato di sodio
- ↳ indurente: anidride carbonica gassosa = fase chimica CO₂ → indurire mat. fuso
- ↳ additivi: resine ureiche e fenoliche
- ↳ passaggio CO₂ in mat. di formatura
- ↳ precisione ↑
- ↳ foghe piccole e non
- ↳ automatizzabile

↳ sabbia + carbonato di sodio

↳ SABBIA-CEMENTO

- ↳ semplice e economico
- ↳ ok x grandi dimensioni
- ↳ precisione ↓
- ↳ velocità esecuzione ↑
- ↳ legante: cemento + acqua
- ↳ indurente x formare prodotti a cristalli cristallini?
- ↳ questo ha grana fine x buona conducibilità termica miscela?

↳ CO₂ BOX

- ↳ indurente a freddo della fuso x polimerizzare legante = resina x catalizzatore

↳ ASHLAND

- ↳ indurente in pochi sec
- ↳ precisione ok
- ↳ catalizzatori tossici
- ↳ SO₂
- ↳ in impasto si fuso SO₂ (tossico)
- ↳ precisione ok

PROCESSI A INDURIMENTO TERMICO

↳ STEEL ROLLING

- ↳ conchiglia/guscio
- ↳ prima preformo fuso in modo grossolano, poi riscaldo ed esso aderisce meglio al modello, intanto aspiro aria
- ↳ permeabile
- ↳ dimensione peso getto ↓
- ↳ precisione ↑
- ↳ produz in grande serie ok

↳ MICROFUSIONE

- ↳ faccio fuso grossolano x ottenere perso in cera = miscela cera fusa e da faccio fuso finale riscaldando modello e materiale fuso
- ↳ azione vibratoria staffa x riempire
- ↳ miscela refrattaria
- ↳ A. MISCELA REFRATTARIA
- ↳ A. IMMERSIONE IN MAT CERAMICO

scaldato con T di fusione ↓

→ cera?

scaldato prima a T₁ poi a T₂
Cera si scioglie e ottengo fuso

- ↳ due fasi di fusione: cera e mat fusione → 2 setacci
- ↳ ok x qualunque lega
- ↳ ok x getti piccoli
- ↳ finitura ↑
- ↳ piccoli e medio serie

LA FORMATURA DEI POLIMERI

- ↳ SCORRIMENTO: ok in termoplastici, no in termoindurenti x reticolazione
- ↳ TEMPERATURA DI RIMMOLLINIMENTO: det. plasticità/lavorabilità pecc
- ↳ STABILITÀ TERMICA: sollecitazioni meccaniche est. inducono sv. abilit. interni, creando instabilità

- ↳ MATERIA PRIMA:
 - termoplastici
 - termoindurenti → troppo viscoso ⇒ Tess x riempire forma
 - solo forma di granoli/perlets forma cubica/cilindrica
 - pezzi granulometrico fine

↳ ADDITIVI:

- CARICHE INERTI → x caratt. meccan., dimensionali, x miglior stampaggio, termoidr.
- AGENTI RINFORZANTI → vetroresine, su laminati plast., termopl., x caratt. meccan.
- PLASTIFICANTI → su termopl., sono liq. con T_{fus} o solidi con $T_{fus} < T_{amb}$ o polimeri a massa molecolare
- Pigmenti, coloranti, lubrificanti, indurenti, stabilizzanti → x rendere + duttile e elastico

- ↳ lavora termoplastici → raffredd. sotto T_{fus} e cristallino/rammollimento e anicito
- ↳ " termoindurenti → riscaldamento fino a reticolazione, e tempo T. fluide non completa formatura e il processo

↳ STAMPAGGIO AD INIEZIONE

- presso
- unità iniezione: stantuffo che comprime cilindro con dentro materiale
- unità comando chiusa stampo (vicino a stampo mobile)
- semistampo mobile & fisso (vicino a vite)
- portone di espulsione pezzi
- piastre di riscaldamento: attorno a cilindro, riscaldano mat.
- PROBLEMA: parti interne cilindro per bruciarsi e mescolarsi con materiale

- vite gira su asse → mat. rot. intorno a vite e si fonde x piastre → riempimento parziale x
- ugello di iniezione → stantuffo e vite mantengono pressione fino solidificazione
- ↳ vite non ruota mai comprime mat.

↳ ESTRUSIONE

- ↳ flessibile, procedimento universale, tut. per forme
- ↳ springe con vite mat. in ugello di uscita di pezzo
- CONTINUA: tubi, piastre etc., prodotti che potrebbero avere dim. infinite
- DI PEZZI SINGOLI: forme grette che necessitano di successive, x es. pastiglie
- ↳ pezzo raffreddato a $T < T_g$ (transizione vetroso) in aria/acqua, controllando nel raffreddamento

↳ TERMOFORMATURA

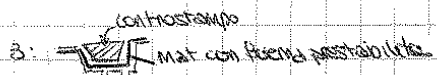
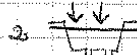
- ↳ riscaldamento semilavorati x caloratura (mat. passato tra rulli si scaldano) fino stato plastico
- ↳ passaggio peccinatore allo stampo
- ↳ espulsione mat. a sp. interna dello stampo
- 1. ↳ sotto vuoto: attacco mat. (x es. foglio) a peccinatore di stampo poi si ruotano ora così si attacca completamente a stampo
- 2. ↳ in pressione: foglio pressante esterno uniforme su mat. verso stampo (senza buchi x stop arioso)
- 3. ↳ TRA STAMPI ACCOPPIATI: mat. stampo - mat. - controstampo così aderisce (")

↳ dimensioni pezzi ↑

↳ tempi ciclo ↑: riscaldamento, stampaggio, raffreddamento

↳ mat. usati poco pregiati

↳ forma semplice



↳ LAVORO DEFORMAZIONE

↳ Lavoro speso nel processo di deformazione

$$L = L_{unif} + L_{rid} + L_{att} = \bar{\sigma} \cdot \epsilon \cdot V + L_{rid} + \mu p S C$$

lavoro del lavoro lavoro lavoro non irreversibile tratto
 uniforme secondario di che dipende scorrimento
 attrito fase del processo tra due superfici

L = irreversibile

L ⇒ 90% calore + 10% energia x legame
 T tempo ↑

↳ comportamenti metalli

↳ capacità def dipende da strutt cristallina

↳ + plastici sono cubo a facce centrate, - plastici sono esagonale

↳ pori hanno cap def ↑ esp leghe

↳ leghe ferrose: C limita capacità def plastica (C < 1% modesta C > 2.5% AN ESISTE)

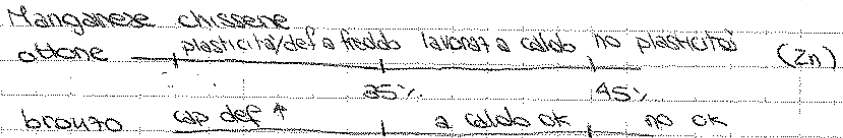
Silicio ridurre ma meno esp C

Fosforo (0.4%) fragilità a freddo

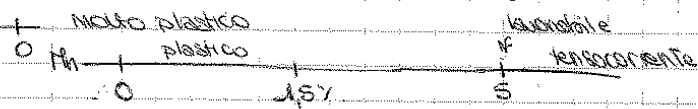
Zolfo (0.1%) fragilità sotto esp caldo

- plasticità

↳ Leghe rame



↳ Leghe alluminio



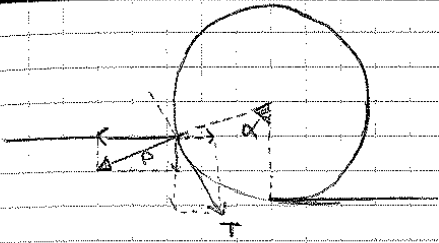
Al-Si: fragile

Leghe anticorrosive → cap def a caldo

Al-Zn-Mg → def plastica & resistenza

Al-Cu → per Cu ≤ 12% def

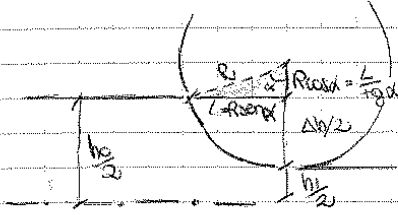
Al-Cu-Mg → Cu ↑ fragilità/resistenza ↑ Cu < 4% / Mg < 0.5%



P: forza normale di cilindro su lamina → si oppone a avanzam. lamina
 T: attrito tangenziale: $T = \mu P$ → tende a far avanzare lamina

condizione di imbarco: $T \cos \alpha > P \sin \alpha \Rightarrow \mu \geq \tan \alpha$

condizione di trascinamento: nel punto medio di arco $\alpha = \alpha_c$
 $\Rightarrow \mu \geq \tan \frac{\alpha}{2}$



$$R = \frac{L}{\tan \alpha} + \frac{\Delta h}{2} \Rightarrow \tan \alpha \left(R - \frac{\Delta h}{2} \right) = L \Rightarrow \tan \alpha = \frac{L}{R - \frac{\Delta h}{2}}$$

$$\Rightarrow \tan \alpha = \frac{L}{R}$$

→ Pitagora $\Rightarrow L = \sqrt{R^2 - \left(R - \frac{\Delta h}{2} \right)^2} = \sqrt{R^2 - R^2 + R \Delta h - \frac{\Delta h^2}{4}} + R \Delta h = \sqrt{R \Delta h} \Rightarrow L = \sqrt{R \Delta h}$

$$\Rightarrow \tan \alpha = \frac{\sqrt{R \Delta h}}{R}$$

valle sono necessarie + pesante
 riduz max

$$\mu \geq \tan \alpha = \frac{\sqrt{R \Delta h}}{R} \Rightarrow \mu^2 \geq \frac{R \Delta h}{R^2} \Rightarrow \Delta h \leq \mu^2 R$$

def. piana \Rightarrow von Mises: $\sigma_m \leq \sigma_a = \frac{\sigma}{\sqrt{3}}$
 sarebbe $\sigma_3 - \sigma_1$ ma $\sigma_1 =$ tensione di confinamento su $w \Rightarrow \sigma$

se mat. plastico delle
 in realtà $\sigma_m = \frac{\sigma}{\sqrt{3}} \left(1 + \frac{\mu L}{2 h m} \right)$
 zone + calcolare forza necessaria
 hm = $\frac{h \mu h \sigma}{\sigma}$
 fattore correttivo

→ se approssimo arco $\approx L \Rightarrow$ forza di separazione: $F = \sigma_m \cdot L \cdot w$
 sup di contatto

→ coppia sui assi: $C = \sigma \cdot \frac{L}{2} \cdot F = L^2 \sigma_m w \Rightarrow C = L^2 \sigma_m w \Rightarrow P = \frac{C}{L}$
 momento di forza
 pressione applicata nel centro di \Rightarrow braccio = $\frac{L}{2}$
 attrazione
 pulsazione del cilindro

TRAFILATURA

- ↳ def. plastica o freddo
- ↳ mat fatto passare attraverso filiera
- ↳ az. trante applicata a un'estremità
- ↳ precisione finita ↑ → precisione dell'avvolgitore e dello avvolgitore
- ↳ filo avvolto su due avvolgitori e scorie → in mezzo passano tra filiera che riduce spessore poco x (10%)
- ↳ passaggi successivi se non si rompe
- ↳ il fil. avvolto da bagno d'olio

PRIMA:

- ↳ Appuntatura: invecchiamento filo in foro filiera
- ↳ Eliminazione strato di ossido: decapaggio
- ↳ Lavaggio: x eliminare acido di ↑
- ↳ Trattamento in latte di calce: x eliminare residui acido
- ↳ Asciugatura

DOPO: tratt. termici x microallungamento + o trafilatura ↑

- ↳ ricottura
- ↳ normalizzazione
- ↳ tempera
- ↳ palentamento → temperare a 500° fino a completa formata austenite

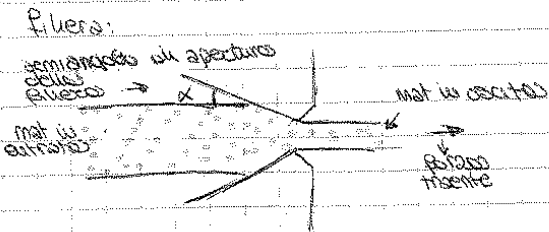
FORZA TRAFILATURA: dipende da

$$R = \frac{A_0}{A_u} = \text{riduz. sezione}$$

- ↳ distorsione x conicità matrice → legato a ang. imbocco matrice
- ↳ attrito di sup. a contatto

$$F < Y \cdot A_u$$

- ↳ se non basti acciaio + passante
- ↳ garantisce mat. in si rompe x forza trante
- ↳ semplicità mat. plastica ideale

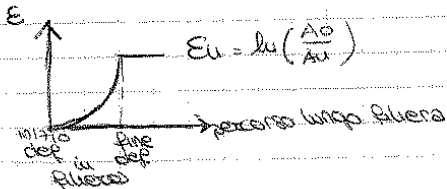


$$L = Y \cdot E \cdot V = Y \cdot E \cdot A_u \cdot c \quad L = F \cdot c$$

$$\Rightarrow F = Y \cdot E \cdot A_u \quad \text{reale } F = \frac{Y \cdot E \cdot A_u}{\eta}$$

$$\Rightarrow F = \frac{Y \cdot E \cdot A_u}{\eta} < Y \cdot A_u \Rightarrow E < \eta$$

↳ un caso in realtà è + permesso sup. di acciaio in parte della forza e spesso in qst. fenomeni



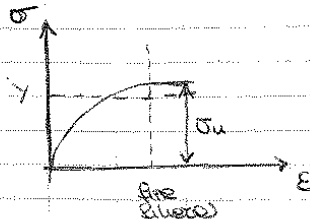
TENSIONE DI TRAZIONE: dipende da

microallungamento

$$\Rightarrow \sigma_u = \frac{Y}{E_u} \left(\frac{L_u R_i}{L} \left(1 + \frac{L}{\alpha} \right) \right)$$

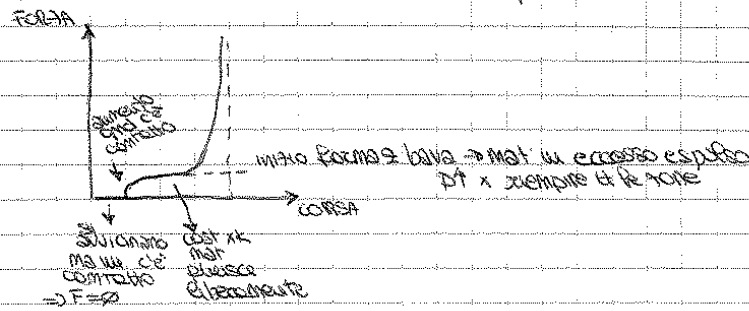
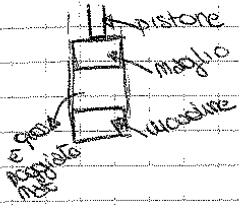
tensione media su molecolare

coefficiente correttivo

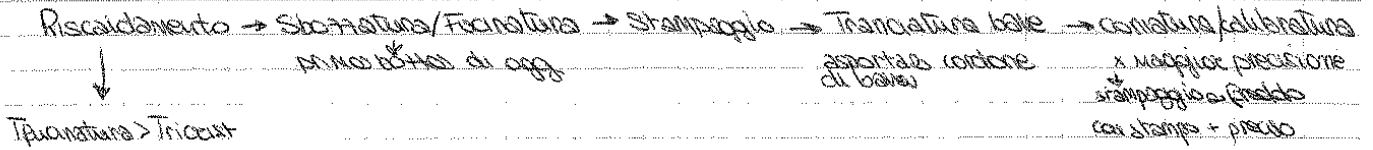


↳ **CAMERA SCARTE BASI**

- ↳ mat occupata + spazio esp a volume di stampa => camera di sottobianco
- ↳ qst camere favoriscono che mat pulisca ovunque xò zero FA



↳ **CICLO DI STAMPAGGIO**



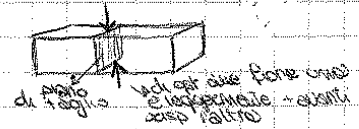
LA FORMATURA DELLA LAMIERA

↳ **LA TRANCIATURA:**

- ↳ operazione preliminare risp altre lavorazioni
- ↳ si può tagliare fig geometriche da coils
- ↳ si può togliere mat da lamiera di partenza se è da
- ↳ DI PROFILI APERTI: taglio rettilineo di lamiera e barre
- ↳ DI PROFILI CHIUSI: " di profili chiusi con geom complessa
- ↳ altri barre/ramiera etc vengono sottoposte forze leggermente sfasate tra loro su due piani

↳ **PROCESSO:**

- ↳ ingrosso portone in lamiera -> applica stato sollecitazione -> si genera resistenza
- ↳ si propagano fratture
- ↳ in prossimità di portone sup antitenditura

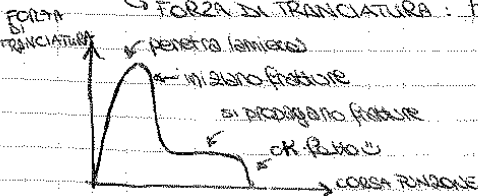


↳ **FORZE:**

- ↳ tensioni su piano di taglio
- ↳ anito coltelli imperfetti
- ↳ gioco tra puntone e matrice -> rindi fossero estriti ecc sarebbe = 0



↳ **FORZA DI TRANCIATURA: $F = \rho_s A = K_0 \cdot l \cdot \rho_m A$**

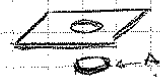


↳ formula ideale ↳ formula reale

↳ sup di rez resistente -> $A = \rho S$

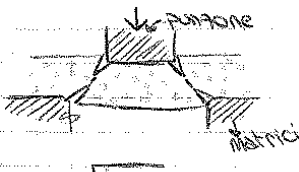
↳ si genera da azioni di elasticità e tensione max di rottura

$$L = \int_0^s F ds \approx F_{max} \cdot K \cdot S$$



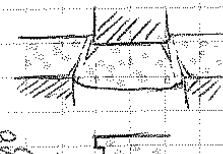
↳ **GIOCO:** di le fratture concorrenti

↳ distanza p/ncie matrice



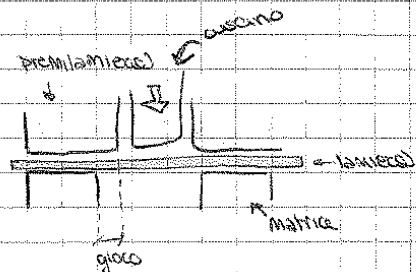
↳ succede ank se gioco troppo

↳ gioco troppo snello, fratture parallele

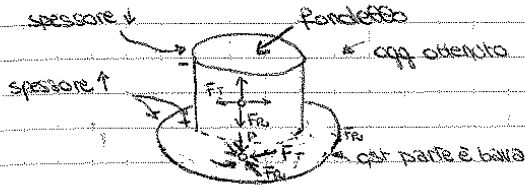


↳ IMBOTTITURA

- ↳ lamiera piano assume forma concava
- ↳ " pressato tra stampo e controstampo
⇒ assume forma tipo tazza



- ↳ FUNZIONAMENTO: avvicinamento cuneo e premi (lamiera)
- imbottitura lenta e compressione cuneo
- zuccone sfilato e estrazione



- su fondello spessore ↓ x tensioni di trazione
- tratto di raccordo tra cilindro e fondello spessore ↓
- da fondello a cuneo di raccordo spessore ↓ però in qda ↑ vicino a fondello risp che sotto

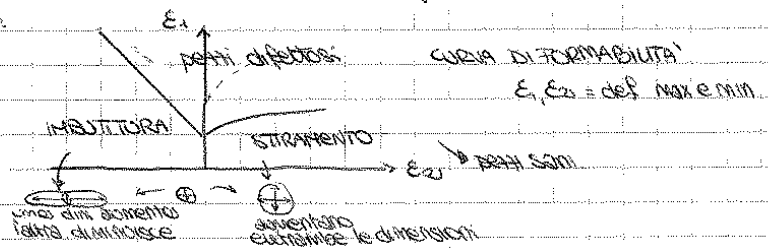
RAPPORTO DI IMBOTTITURA: $R_i = \frac{d_{p1}}{D}$ ← diam. puzzone
 ← diam. iniziale disco (lamiera) ⇒ $P > R > R_i$

scapp max = $p = \frac{D}{d_p} = \frac{1}{R_i}$

posso fare + passate ⇒ $d_{p1} = \frac{D}{p_1}$, $d_{p2} = \frac{d_{p1}}{p_2} = \frac{D}{p_1 p_2}$ ⇒ $d_{pn} = \frac{d_{p1}}{p_n}$

FORZA DI IMBOTTITURA x REZZI CILINDRICI:

$F = k d_p n s y$
 volume reattore



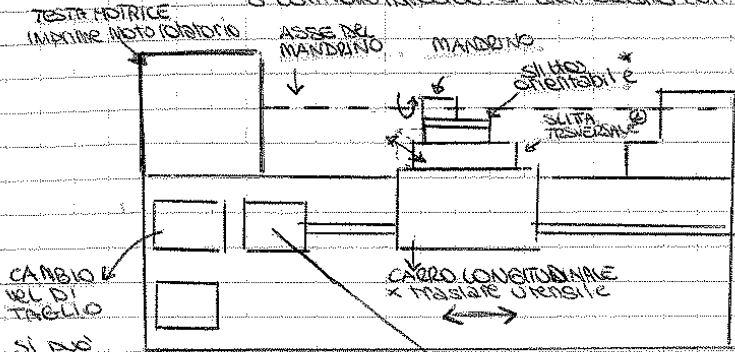
TORNITURA

↳ Lavorare oggi con simm. assiale

↳ oggi più moto con x ass proprio spide, utensile estrae truciolo ottenendo forma desiderata

↳ torni automatici: impongono il ciclo w. produttivo

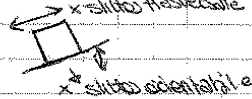
o controllo numerico: si alimentano con info. alfanumeriche



CONTROTESTA non imprime moto ma ha certa libertà azionata come spruzzo x pezzi troppo lunghi

* da angolo a utensile con pezzo

⊙ quando mandrino da testa motrice:



CAMBIO VEL. DI TAGLIO

si può imporre a tornio solo

vel. di rotazione → poi si calcola

vel. periferica con x e quindi vel. di taglio

el ↑ v per ↑ (a port. di ω)

CAMBIO VEL. DI AVANZAMENTO

dipende da finitura richiesta e prod. favorito

e è troppo f. lungo + molte stesse parte, e è troppo tempo per gestire

↳ moto di avanzamento e rotazione

TORNITURA CILINDRICA: x ridurre diam. di barre cilindriche, si ottengono semilavorati

" CONICA: man mano che utensile avanza, si allontana poco x volta dall'asse dell'oggetto così viene formato conico

" PIANA: sfaccatura

" ESTERNA DI SUP. COMPLESSE: generatrice curvilinea: lascia profilo curvilineo generatrice a tratti rettilinei: lascia spigoli vivi

FILETTATURA: x creare femmi o macho di accoppiamento → filettatura interna o esterna

FORMATURA DI SOLE INTERNE o ESTERNE: x creare gola → zona cilindrica con pezzi

serie controtesta x evitare strature e concentramento lesioni

oppure più ank accurate x fine taglio → TRONCATURA

↳ lavoro a parte ideale

FORATURA CON RANTA ELICOIDALE: oggi vuoto e utensile si allungano

⇒ foratura coincidente con asse di rotaz.

GONDRONTURA: x ottenere sup. finitate

improne su sup. forme particolari

ALISCIATURA: Alesatore a denti rende liscio sup. interno foro

Parametri:

Material Remove Range $\frac{mm^3}{min}$

PORTATA VOLUMETRICA DI TRUCIOLO: $MRR = 1000 \cdot A \cdot V_t$

↳ dipende da mach. e mat. lavorata

↳ HRR ↑ + mat. estratto in Δt ⇒ rende ↑

extracorsa
lungo pezzo entrata uscente

profondità (mm) passata
A
V_t
vel. di taglio
mm giro

non uso gli perforatori ma) uno macho tra diam. max e min → diam. primo e dopo lavorazione

$$V_t = \frac{\pi D}{1000} \cdot \frac{D_{max} + D_{min}}{2}$$

TEMPO DI LAVORAZIONE $T_{lar} = \frac{l + l_{in} + l_{u}}{d \cdot n}$ [min]

↳ perché c'è anche avanzamento e allontanamento del pezzo

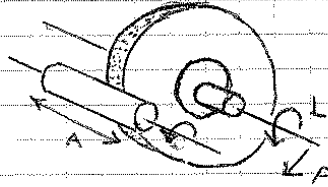
↳ se è con SPALAMENTO $l_{in} = \phi$ pezzo deve essere estratto

RETIFICA

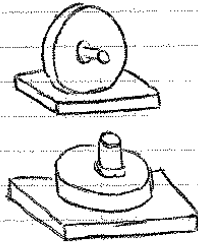
- ↳ sporto di sovrametallo = truciolo con mole - utensili di piccole dimensioni
- ↳ no tagliente ma gran abrasivi di gran qualsiasi → + gran fini - grossolano (ruotolo)
- ↳ precisione, finitura A
- ↳ si usa su: pezzi ottenuti da fusione o foratura
pezzi già lavorati a asp di truciolo
pezzi dopo trattamenti termici

- ↳ PERIFERICA asse rotaz // sup pezzo
- FRONTALE asse rotaz ⊥ sup pezzo
- SPECIALE può lavorare pezzi particolari

↳ RETIFICA IN RONDO per esterni
scuolano entrambi e si affiancano



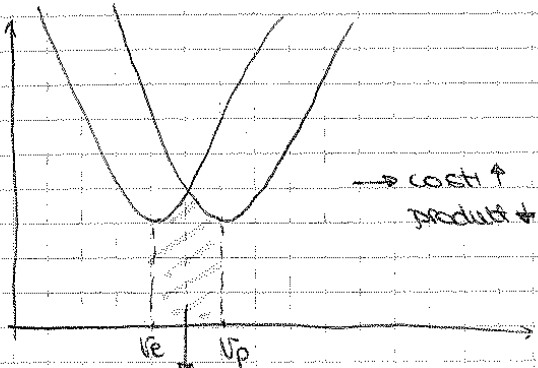
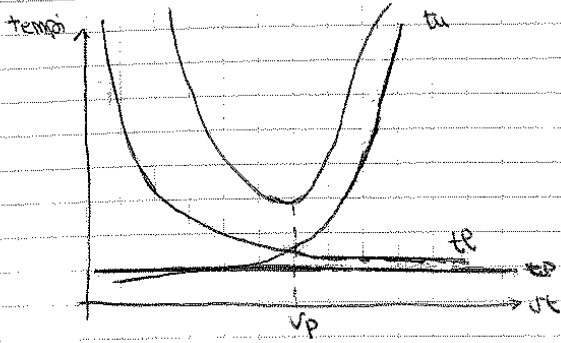
↳ RETIFICA IN PIANO
tangenziale
frontale



CRITERIO MASSIMA PRODUTTIVITA'

$$t_{TOT} = t_p + t_e + t_u \frac{t_p}{T} \Rightarrow \frac{dt}{dt} = 0 \Rightarrow$$

$$v_p = \frac{C}{t_p^m} \quad t_p = t_u \left(\frac{1}{m} - 1 \right)$$



meglio stare in
quest'intervallo

costi ↑
produttività ↓
costi ↑
produttività ↓

$a_e = a_p$ $v_e \neq v_p$!! $T_e \neq T_p$

1. SISTEMI DI CONTROLLO

↳ DI POSIZIONE (PUNTO A PUNTO)

- ↳ sistemi torzo-testa indipendenti da traiettoria
- ↳ no relaz. funzionali tra gli assi - (tra varie posiz. raggiunte da torzo)
- ↳ traiettorie rettilinee / assi della macchina → spaz. 2D

$x - x_0 = 0$

↳ CONTINUO DI TRAIETTORIA

- ↳ def. traiettoria continua che viene seguito dal sistema
- ↳ interpolazione dei punti

$x - x_0 \neq 0$

in interpolazione ⇒ collega punto iniziale a quello finale secondo percorso + linee comandato da torzo/testa

TRASDUTTORI

↳ SEGNALE

- ↳ DIGITALE: può variare solo a unità discrete, viene trasmesso a sistema di controllo
- ↳ ANALOGICO: varia continuo, viene convertito A/D

↳ TIPO DI FORNIRE INFO

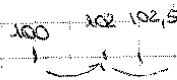
- ↳ INCREMENTALI: impulsi di spostamento, in misura punto di partenza, qualunque non dice posiz. assoluta ma solo quanto spostamento bisogna prevedere (traccia di ferro?)
- ↳ ASSOLUTI: a ogni posiz. corrisponde un solo valore in uscita
- ↳ ASSOLUTI CICLICI: all'inizio di ogni ciclo dice posiz. assoluta (0) e alla fine di ogni ciclo ricomincia da 0

ES: $x_0 = 100$

$\Delta x = 2,5$

passo di ass. ciclico (= ciclo) = 2

⇒ $x_{incrementale} = 0$ $x_{assoluto} = 102,5$ $x_{ciclo} = 05$



↳ MISURA

- ↳ INDIRETTA: posizionam. su asse della vite della macchina
- ↳ DIRETTA: tramite proiezione, esse se si viene inviato fascio luminoso che si riflette e det. posiz. + costoso e preciso

ESEMPI

	SEGNALE	INFO	MISURA
Righe ottiche	Digitale	Incrementale Assoluto	Diretta
Encoder	Digitale	Incrementale Assoluto	Indiretta
Resolver	Analogico	Assoluto ciclico	Indiretta
Inductosyn	Analogico	Assoluto ciclico	Diretta

DEF	analisi
↳ 0	xy funzionante
1	xy informativo
1x	xy modellazione semantica dei dati
2	xy info dinamiche

INFO

- ↳ ti info su processo
- ↳ grafico con dati in modo sistematico

- - input
- ARROW - output
- controllo
- funzionamento meccanismo

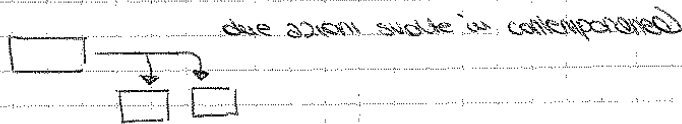
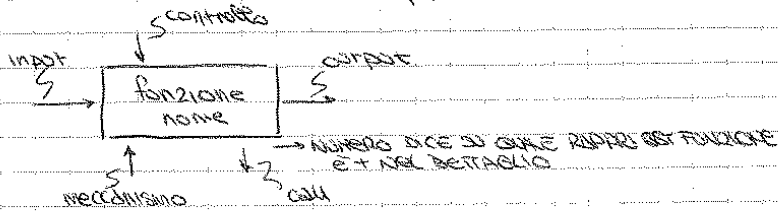
□ box
dentro c'è nome: BOX NOME, NUMERO: BOX NUMERO (0,6)
funzione ↳ quello su cui è rappresentato

FRECCHE DI CHIAMATA collegano box correlati ma di rappresentazioni diverse
con arrow

BOX FIGLIO & GENITORE: figlio è funzione ~~parent~~ che fa parte di box genitore
↳ x andare + nel dettaglio
↳ DIAGRAMMA FIGLIO

Modello generale rappresentazione processo

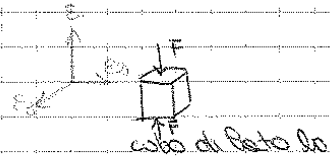
Obiettivo: con cui si fa rappresentazione e punto di vista



ESERCIZI

ES1

Abbiamo tre deformazioni nel lungo i tre assi.
Qual'è la relazione tra queste tre deformazioni?



con E di Poisson $\nu = \frac{\Delta l_x}{l_0} = -\frac{\Delta l_y}{l_0} = -\frac{\Delta l_z}{l_0}$

$$\epsilon_z = \frac{\Delta l_z}{l_0} = \frac{F}{E S_0} - \nu \left(\frac{\Delta l_x}{l_0} + \frac{\Delta l_y}{l_0} \right) = \frac{F}{E S_0} + \nu \frac{F}{E S_0}$$

$$\Delta l_z = l_0 \left(\frac{F}{E S_0} + \nu \frac{F}{E S_0} \right)$$

ES2

Abbiamo un corpo con $l_0 = 50 \text{ mm}$, $S_0 = 200 \text{ mm}^2$, F di svecchiamento = 98000 N ,
non per svecchiamento del corpo.

P_1 (corrisponde alla tensione di svecchiamento pari al 0,1%) = $50,98 \text{ mm}$

carico MAX a cui è sottoposto il provino $F_{\text{MAX}} = 168000 \text{ N}$ $l_2 = 64,2 \text{ mm}$

Si determini R_e , E , R_m

R_e = carico di snervamento

E = modulo di elasticità

R_m = carico di rottura

$$R_e = \frac{F_{\text{MAX}}}{S_0} = \frac{98000}{200} = 490 \text{ MPa}$$

$$e = \frac{l_2 - l_0}{l_0} = \frac{64,2 - 50}{50} = 0,284 \quad E = \frac{R_e}{e} = 1708 \text{ MPa}$$

carico

$$R_m = E(e - 0,002) = E + \frac{R_e}{e - 0,002} = \frac{1708 \cdot 0,282}{0,282} = 1808 \text{ MPa}$$

$$R_m = \frac{168000}{200} = 840 \text{ MPa}$$

ES 6

Prova trazione: si raggiunge $\epsilon = 0,08$ con $\sigma = 265$ MPa, quando $\sigma = 325$ MPa

$\epsilon = 0,27$. Si calcolino i coeff di resistenza e includimento dell'eq esponenziale che lo descrive

$$\sigma = C \epsilon^m$$

$$\begin{cases} 265 = C \cdot 0,08^m \\ 325 = C \cdot 0,27^m \end{cases} \quad C = \frac{265}{0,08^m}$$

$$325 = C \cdot 0,27^m$$

$$\frac{325}{265} = \frac{0,27^m}{0,08^m} \Rightarrow \log \frac{325}{265} = m \log \frac{0,27}{0,08}$$

$$m = \frac{\log \frac{325}{265}}{\log \frac{0,27}{0,08}} = \frac{\log 1,2264}{\log 3,375} = \frac{0,0903}{0,5276} = 0,171$$

ES 7

Prova di durezza Brinell fatta con carico $F = 14705,88$ N usando diametro $D = 10$ mm, l'impronta che ne risulta ha diam $d = 3,2$ mm. Si calcoli la durezza Brinell

$$HB = \frac{P}{S} = \frac{P}{\frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)}$$

$$HB = \frac{14705,88}{\frac{\pi}{4} (10^2 - 3,2^2)} = \frac{14705,88}{69,8} = 210,54 \text{ MPa (che è HB)}$$

Qual è la σ_y con questo valore di HB?

$$\frac{\sigma_y}{HB} = \frac{19,66}{210,54} \Rightarrow \sigma_y = 19,66 \cdot \frac{210,54}{100} = 41,38 \text{ MPa}$$

ES 8

Prova di trazione: valori di scottura: $\epsilon_{rim} = 25\%$, $\sigma_{rim} = 2063$ MPa

$$\sigma_{eq} = ? \quad \sigma_{2,3} = ? \quad \epsilon_{2,3} = ?$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\frac{1}{2} (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2)} \quad \epsilon_{2,3} = \frac{\sigma_{2,3}}{E}$$

$$\epsilon_1 = \epsilon_2 = \epsilon_3 \Rightarrow \epsilon_1 = \epsilon_2 = \epsilon_3 = 0,25$$

ES 12

Petto di acciaio è fortemente deformato a temperatura ambiente a durezza Brinell = 300 HB. Calcola il modulo della resistenza, E acciaio = 210 GPa

$$H_{Re} = \frac{F_e}{S_D}$$

Cl. 500 martini (riche dell'acciaio)

$$H_{Re} = \frac{F_e}{S_D} = \frac{F_e \cdot K_f}{S_D} = \frac{K_f}{S_D} \cdot F_e$$

$$H_{Re} = \frac{F_e}{S_D} \quad y = \frac{F_e}{S_D}$$

$$H_{Re} = 300 \quad y = \frac{F_e}{S_D} \cdot K_f = 100 \frac{MPa}{HB} \cdot 300 HB$$

$$F_e = H_{Re} \cdot S_D = 300 \cdot 200000 = 60000000 \text{ N}$$

ES 13

Una sottile membrana sferica è sottoposta a pressione interna. Il diametro è pari a 20 in (= pollici) ed è spesso 0,1 in. Essi è fatto di materiale perfettamente plastico con $y = 20000$ psi. Calcolare la pressione interna affinché si abbia def. plastico secondo entrambi i criteri.

Cl. 11 membrana sferica, spessi 0,1 in, $D = 20$ in



$$Cl. 11 \quad \sigma = \frac{p \cdot r}{t} \quad \tau = \frac{p \cdot r}{2t}$$

$$p = \frac{2 \cdot t \cdot \sigma}{r} = \frac{2 \cdot 0,1 \cdot 20000}{10} = 400 \text{ psi}$$

$$Cl. 12 \quad \sigma = \frac{p \cdot r}{t} \quad \tau = \frac{p \cdot r}{2t} \quad \sigma = 20000 \text{ psi}$$

$$p = \frac{2 \cdot t \cdot \sigma}{r} = \frac{2 \cdot 0,1 \cdot 20000}{10} = 400 \text{ psi}$$

ES 14

Un provino di forma cubica di lato pari a 10 mm è compresso zero-attrito su ogni faccia del tipo di prova 10 dove la larghezza tra le cavità è 15 mm. Si assume che il materiale sia modellabile con legge lineare $\sigma = 100 + 20 \epsilon$ MPa. Si calcoli il forza richiesta per ridurre il provino ad altezza $h = 8$ mm usando entrambi i criteri.

$$V_0 = 10 \cdot 10 \cdot 10 = 1000 \text{ mm}^3$$

Cl. 11 $\sigma = E \cdot \epsilon$ $\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{10 - 8}{10} = 0,2$
 $\sigma = 100 + 20 \cdot 0,2 = 140 \text{ MPa}$
 $F = \sigma \cdot S = 140 \cdot 100 = 14000 \text{ N}$

$$Cl. 12 \quad \sigma = \frac{F}{S} \quad F = \sigma \cdot S = 140 \cdot 100 = 14000 \text{ N}$$

Es 17

Dimensionare un cassetto (= forma) per la fabbricazione di un getto di ghisa cilindrico con foro passante. Calcolare spinta metallostatica e conseguente riduzione su anello e diametro di colata

diam int di = 50 mm, $\phi_{est} = 100$ mm, $l = 400$ mm, $h = 300$ mm, densità anello = $\rho_1 = 7,2 \frac{kg}{dm^3}$, densità getto $\rho_2 = 7,2 \frac{kg}{dm^3}$, tempo di riempimento $t = 10$ s



$$F = (\rho_1 - \rho_2) V g$$

$$t = \frac{V}{Q}$$

$$V = \pi R^2 h$$

$$Q = v \cdot \phi$$

modello cilindrico con foro
di diametro $\phi = 50$

$$F = (\rho_1 - \rho_2) g \cdot l \cdot \phi \cdot h = 7,2 \cdot 10^3 \cdot 0,4 \cdot 0,05 \cdot 0,3 = 50,4 \text{ N}$$

$$v = \frac{Q}{\phi} = \frac{V}{t \cdot \phi} = \frac{\pi R^2 h}{t \cdot \phi} = \frac{3,14 \cdot 0,05^2 \cdot 0,3}{10 \cdot 0,05} = 4,71 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$v = 4,71 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

Es 18

Si vuole laminare a freddo una lamiera di alluminio: $\rho = 2700 \text{ kg/m}^3$, $h_0 = 6 \text{ mm}$, $h_1 = 3 \text{ mm}$, $w = 1000 \text{ mm}$. Calcolare la coppia necessaria, la forza agente, la potenza necessaria di materiale, sapendo che il mat presenta caratteristiche di tensione e deformazione approssimate a legge esponenziale $\sigma = C e^{m \epsilon}$ dove $m = 0,16$, $C = 100 \text{ MPa}$. I rulli del laminatoio hanno velocità periferica $v = 120 \text{ m/min}$, il diam dei rulli $\phi = 400 \text{ mm}$ e $\mu = 0,08$.

$$K = 2 \cdot L \cdot \bar{\sigma} = F \cdot L$$



$$F = \rho w L v$$

$$L = \frac{v}{2 \pi R}$$

$$P = \frac{2}{3} \bar{\sigma} L + \frac{F v}{2}$$

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{\epsilon} \int_0^{\epsilon} \sigma d\epsilon = \frac{1}{\epsilon} \int_0^{\epsilon} C e^{m \epsilon} d\epsilon = \frac{C}{m \epsilon} (e^{m \epsilon} - 1)$$

$$E_{all} = \frac{1}{2} \rho w (v_1^2 - v_2^2) + \rho w \int_0^L v dv = \frac{1}{2} \rho w (v_1^2 - v_2^2) + \rho w v L$$

$$\Rightarrow E_1 = 0,2 \text{ MJ}, E_2 = 0,80 \text{ MJ}, \bar{\sigma} = 133 \text{ MPa}, L = 24,49 \text{ m}$$

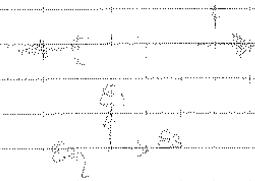
$$P = 187 \text{ kW}, F = 73 \text{ kN}, C = 100 \text{ MPa}, m = 0,16$$

$$q = \frac{1}{2} \rho w (v_1^2 - v_2^2) = \frac{1}{2} \cdot 2700 \cdot 1000 \cdot (120^2 - 60^2) = 1,215 \cdot 10^8 \text{ J/s}$$

ES 21

Si vuole trafilare una barra di acciaio di diametro iniziale = 10 mm fino a portarselo a un diametro finale di 8 mm. Trovare F, Potenza e pressione all'uscita della pila. Caratteristiche del materiale $\sigma = C \epsilon^m$ $C = 1300 \text{ MPa}$, $m = 0,3$ v in ingresso = 1 m/s $\eta = 0,7$

$$F = \frac{\sigma \cdot A_1}{\eta} = \frac{dL}{dt} = d(F \cdot L) = F \cdot v$$



componi i vettori $v_1 A_1 = v_2 A_2 = v_3 A_3$ $v_1 A_1 = v_2 A_2$

$$E = \frac{1}{2} \left[(E_1 - E_2)^2 + (E_2 - E_3)^2 + (E_3 - E_1)^2 \right]$$

$E_1 + E_2 + E_3 = 0$ regola di conservazione dell'energia

$$v_1 = v_2 \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^{1/2} \quad v_2 = v_3 \left(\frac{A_2}{A_3} \right)^{1/2}$$

$$\Rightarrow v_1 = v_3 \left(\frac{A_1}{A_3} \right)^{1/2} \quad C \frac{v_1^2}{2} = 1300 \text{ MPa}$$

$$F = 0,45 \cdot 1300 \cdot \pi \cdot \frac{d^2}{4} = 25 \cdot \pi \cdot d^2 \quad v = 1 \text{ m/s} \quad F = 39,6 \text{ kN}$$

PROBLEMA: $C_2 = 10^3$

$$A_1 \cdot v_1 = C_2 \cdot v_2^2 \quad v_2 = \sqrt{\frac{A_1 v_1}{C_2}} = 500 \text{ m/s}$$

$$\eta \cdot F \cdot v_1 = C_2 \cdot E \cdot v_2 = 1000 \text{ MPa}$$

$\sigma_1 = 518 \text{ MPa}$

NUOVE FORME con F USA tensione media
In $A_1 \sigma_1^2 \sigma_2^2$ usa σ e E finale

ES 20

Si trafilino un tubo con diam est $\phi_e = 80 \text{ mm}$, spessore $s = 3 \text{ mm}$ $\phi_f = 2 \text{ mm}$, vel in ingresso $v_i = 10 \text{ m/min}$, $C = 500 \text{ MPa}$ $n = 0,3$ Calcolare F, Potenza caratti mat



$$A_1 = \frac{\pi}{4} (\phi_e^2 - (\phi_e - 2s)^2) \quad v_1 = 10 \text{ m/min}$$

$$E_1 = 0 \quad E_2 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad E = \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad v_2 = v_1 \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^{1/2}$$

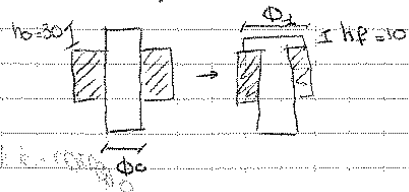
$$E \cdot v_1 = \frac{1}{2} \rho \frac{v_2^3}{3} = E_1 \quad \sigma = C \epsilon^m = \frac{C E^m}{v_1^m}$$

$A_1 = 690 \text{ mm}^2$ $\phi = 0,4 \text{ mm}$ $F = 390,2 \text{ MPa}$ $F = 37,3 \text{ kN}$ $A_2 = 215,7 \text{ mm}^2$

$v_2 = 0,25 \text{ m/s}$ $P = 14,9 \text{ kW}$

ES 25

Si devono formare teste di perni in acciaio a partire dai spezzone di barile di diametro $\phi_0 = 20 \text{ mm}$. Calcolare F, L necessario sapendo che il materiale presenta coesione \approx lineare e $\sigma_c = 64 \text{ MPa}$ corrisponde a un σ_c del percentuale del 29%, $\sigma_0 = 365 \text{ MPa}$, $\mu = 0,1$, $\eta = 0,7$



RELAZIONE $\rightarrow F = \sigma_c \cdot L \cdot \pi \cdot \phi_0^2 / 4$

$\mu = \sigma_c \left(\frac{\sigma_0 - \sigma_c}{\sigma_0} \right)$

$\sigma_c = \sigma_{max} \cdot \sigma_0 + C \cdot \sigma_0$ $C = \frac{\sigma_c - \sigma_0}{\sigma_0 \cdot \sigma_{max}}$ $\sigma_{max} = \frac{\sigma_c - C \cdot \sigma_0}{\sigma_0}$ $C = 0,25, \sigma_0 = 365, \sigma_c = 64$

$\sigma_{max} = 13,6 \text{ MPa}$

$\sigma_c = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi \cdot \phi_0^2 / 4}$ $F = \sigma_c \cdot \pi \cdot \phi_0^2 / 4$

$F = 1467,8 \text{ MPa}$

$F = \sigma_c \cdot L \cdot \pi \cdot \phi_0^2 / 4$ $V = \pi \cdot \phi_0^2 \cdot \frac{L}{4}$

$L = 8,7 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 8,7 \text{ mm}$

9.1 (con loro materiali)

$V_{creta} = \frac{F \cdot L}{\pi \cdot \phi_0^2} = 10,4 \text{ MJ}$

$V_p = 9 \text{ vol} \cdot \text{mm}^3$

ES 26

In un processo di tornitura con utensile di nitruro di boro si usa $v_c = 300 \text{ m/min}$. Sapendo che il diametro del pezzo da lavorare è $d = 30 \text{ mm}$ si calcoli $R_{0,1}$ e $R_{0,2}$ di rotazione del mandrino. Quale sarà la vel di avanzamento se si imposta un avanzamento per giro uguale a $0,20 \text{ mm/giro}$?

$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \Rightarrow n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 300}{\pi \cdot 30} = 3183 \text{ giri/min}$

$f = 0,20 \text{ mm/giro}$

ES 27

Un tondo di acciaio inossidabile con diametro iniziale $D_0 = 12,7 \text{ mm}$ e lunghezza $l = 150 \text{ mm}$ viene tornito per ottenere un diametro finale $D_1 = 12,2 \text{ mm}$. Il mandrino ruota a una velocità di 400 giri/min e l'utensile ha un avanzamento con velocità assiale 200 mm/min . Calcolare $R_{0,1}$ e $R_{0,2}$ di taglio, vel di asp di materiale, $R_{0,1}$ durante della lavorazione, (co potenza assorbita) sapendo che l'energia specifica è 4 J/mm^3 , e la forza.

$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{\pi \cdot 12,7 \cdot 400}{1000} = 16,0 \text{ m/min}$

$R_{0,1} = \frac{v_c}{\sin \alpha} = \frac{16,0}{\sin 15^\circ} = 62,5 \text{ mm/min}$

$R_{0,2} = \frac{v_c}{\cos \alpha} = \frac{16,0}{\cos 15^\circ} = 16,5 \text{ mm/min}$

ENERGIA SPECIFICA dipende da molti fattori su apposite tabelle.

u 30

Un tornio parali per sgrassatura in barre in C40

$\phi_o = 32 \text{ mm}$, $\phi_i = 2,8 \text{ mm}$ $n = 1500 \text{ giri/min}$ $T = 45 \text{ min}$ $\phi_{\text{sp}} = 0,3 \text{ mm}$

Si vuole usare lo macchina versatile per una nuova lavorazione dei 4000 pezzi con tempo di consegna di 10 giorni.

Mano d'opera: 2 turni o 8 h/giorno all'80%

Penale x ritardo consegna è 500 €/giorno

$l = 700 \text{ mm}$ $\phi_o = 32 \text{ mm}$ a $\phi_i = 32 \text{ mm}$

$C_p = 20 \text{ €/h}$ $C_u = 5 \text{ €}$ $t_p = 0,5 \text{ min}$ $t_u = 1 \text{ min}$ produrre a sp 0,3?

$m^* = 0,25$ $C_p \text{ del materiale}$ $C_p = 1/3 \text{ €/min}$ $a_e = 0,3 \text{ mm/giro}$

$$C = C_p t_p + C_p t_i + C_p t_{\text{tr}} + C_u \frac{l}{v}$$

$$T = \frac{l}{v} \quad C = C_p t_p + C_p t_i + C_p t_{\text{tr}} + C_u \frac{l}{v}$$

$$C = T^m \cdot k = A \cdot l^2 = 235,6$$

$$v_e = \frac{C}{T_e^m} \quad T_e = \left(\frac{l}{v_e} + t_p + \frac{C_u}{C_p} \right) \quad T_e = 48 \text{ min} \quad v_e = 148,4 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

$$v_p = \frac{C}{T_p^m} \quad T_p = \left(\frac{l}{v_p} + t_p + \frac{C_u}{C_p} \right) \quad T_p = 3 \text{ min} \quad v_p = 236,8 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

$$T = \frac{l}{v} \quad v_e = 148,4 \frac{\text{mm}}{\text{min}} \quad v_p = 236,8 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

$$T_e = 48 \text{ min} \quad T_p = 3 \text{ min}$$

$$a_e = 0,3 \text{ mm/giro} \Rightarrow v_e = 148,4 \text{ mm/min}$$

$$C_p \cdot T_e = 1000 \text{ €} \quad C_u \cdot \frac{l}{v_e} = 1000 \text{ €} \quad \Rightarrow \text{tempo max. consegna} = \frac{10 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 60 \cdot 60}{4000} = 1,92 \text{ min}$$

$$\Rightarrow \frac{1000}{1312,8} + 0,3 + 1 \cdot \frac{1000}{1312,8} = 1,92$$

$$\Rightarrow \frac{1000}{1312,8} \cdot 4 = 1,45 \text{ h} \quad v_p = 0,5 \frac{\text{mm}}{\text{giorno}} \Rightarrow v_p = 0,58 \text{ m/h}$$

$$\Rightarrow C_{\text{prod}} = 1,29 \text{ €} \quad C_c = 0,95 \text{ €} \quad \text{Lavoro per pezzo a tick} = 0,3 \text{ mm/giro}$$

$$\Rightarrow T_{\text{tot}} = 9200 \text{ (C)} \cdot 10^{-3} \cdot 1,3 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 8 \text{ q} \quad T_{\text{tot}} = 1,9 \text{ h}$$

$$\Rightarrow \text{Capacità} = 2 \cdot 800 = 1600 \text{ €} \quad C_{\text{costo}} = \frac{1000}{4000} = 0,25$$

$\Rightarrow C_c = 1,2 \text{ €}$: elementi di costo per lavorazione a cui aggiungere i cicli