



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 1816A -

ANNO: 2015

A P P U N T I

STUDENTE: Antoniotti Mattia

MATERIA: Tecnologia meccanica, Teoria + esercizi - prof.
Antonelli

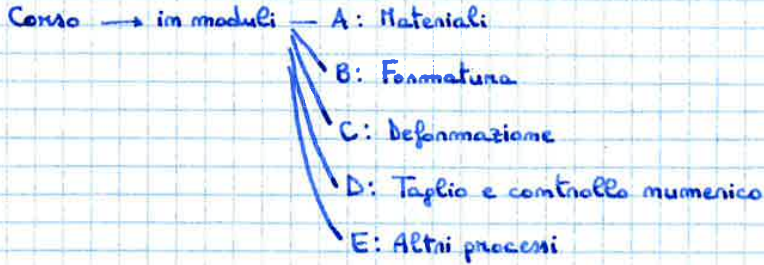
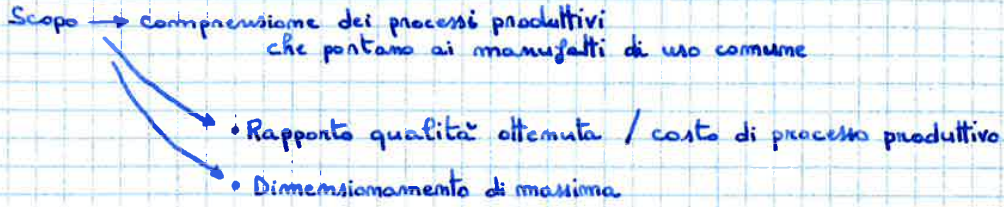
Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

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.

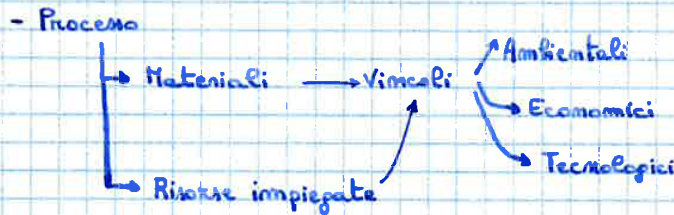
**ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**

DARIO ANTONELLI

Tecnologia meccanica



Modulo diviso in Lezioni



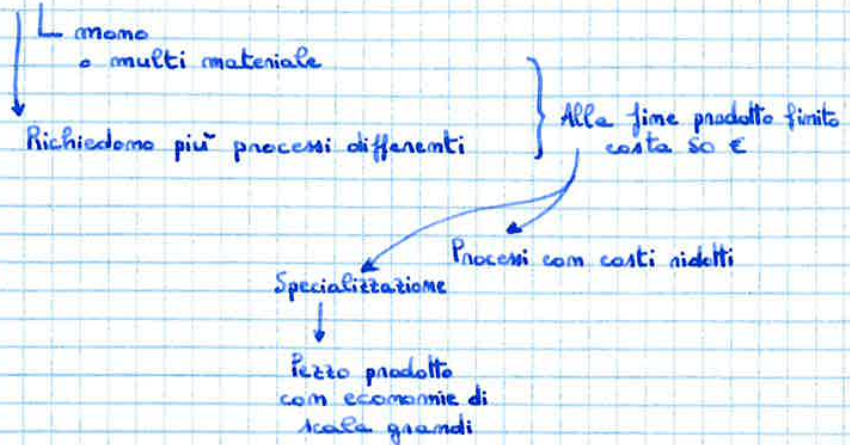
Libro "Tecnologia meccanica" Kalpakjian

Corso segue flusso di materiale in azienda



Tecnologia di produzione

Prodotto - Ha tanti componenti differenti



Processo produttivo industriale

Materiale portato in stabilimento

- macchine
- utensili
- manodopera
- potenza elettrica
- mat. di supporto

Risorse necessarie

Trasformato in

Prodotto finito

Scarti

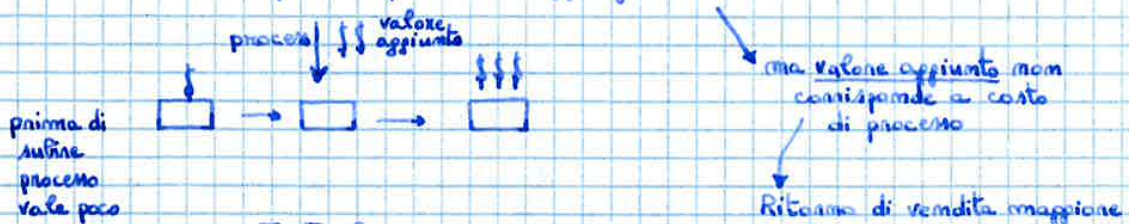
e
Inquinanti

- gassosi
- liquidi
- solidi

Vincoli ambientali

Dal punto di vista economico

Con processo produttivo aggiungo VALORE a materiale



• In Italia

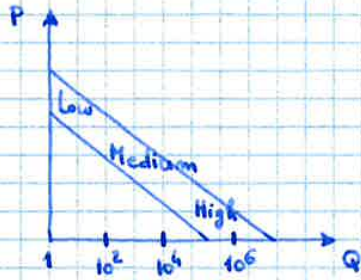
si aggiunge valore alto
e prezzo di vendita rimane basso

Ad esempio notebook in Europa

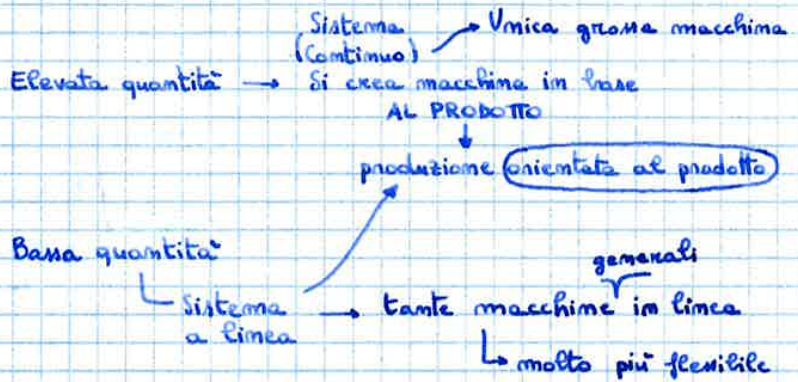
Non li vendono più

Smartphone invece si → prezzo di vendita è molto più alto
di valore aggiunto

Grafico VARIETA' - QUANTITA' (Q)
di prodotto (P)



Si usano macchine diverse



Moderna **ORIENTATA AL PROCESSO**

- Produz. per celle di lavorazione (Quasi Elevata quantità) — percorso di pezzo può variare
 ↓ per prodotti più variabili

- Produz. Job-shop (officina meccanica) → produz. in base a macchine che si fanno
 - Ogni prodotto è diverso dall'altro
 - Più lento e costoso
 ↳ Riparti con macchine che fanno lo stesso lavoro



• Aziende medie non riescono a sopravvivere

↓
 Azienda con qualità deve anche avere costi non troppo alti

↳ HP aveva costi alti → ora non più (anni 80)

Nuova Filosofia giapponese (Toyota production system) → ora detto "world class manufactory" o "lean production"

Seguendo studiosi Americani famosi in università

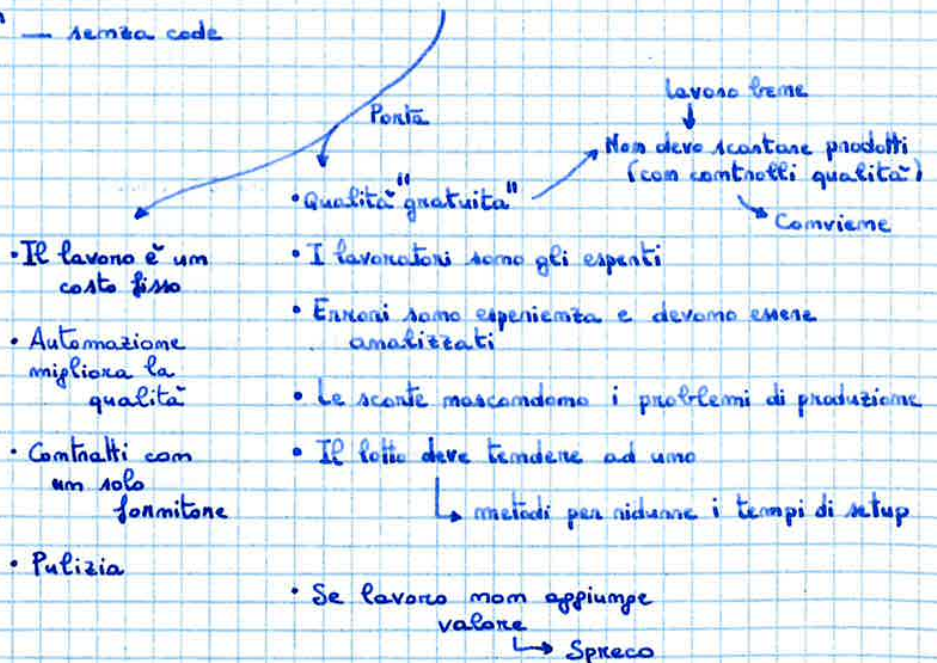
- ↳ Prodotti arrivavano milioni e a prezzi inferiori
- Coinvolgimento di tutti gli addetti negli obiettivi dell'impresa → Ogni azienda ha il suo VISION (slogan)
 - ↳ E' per gli operai
- Miglioramento continuo e graduale → all'infinito
 - ↳ non mi accontento mai
- No mutamenti traumatici
- Ricerca di semplicità
 - ↳ decomposizione di problemi complessi in sottoproblemi
 - ↳ soluzioni parziali

Kaizen = miglioramento continuo

Produzione "Just in time" — senza code

Total quality system

SCHEMA GIAPPONESE



CIM (Computer Integrated Manufacturing)

Integra tutti gli aspetti commessi alla produzione

Fabbrica completamente automatica — grazie a computer

↳ Obiettivo finale di processo di automazione della fabbrica

Elementi base

- CAD Sistemi di progettazione
- CAPP Ciclo di fabbricaz. assistito
- FMS Sistemi di lavoraz. flessibili
- CAIP Sistemi automatici di misura
- ERP Gestisce

↳ Tutti i processi aziendali / amministrativi di business

↳ produzione, magazzino, ordini, acquisti

Vantaggi

- Adattabilità a variazioni nella domanda
- migliore qualità del prodotto
- Ottimiz. di materiale e manodopera → riduzione costo di produzione
- Gestione prodotti a breve life cycle

IL CONCURRENT ENGINEERING (Giapponese)

Impegno simultaneo — processo produttivo ottimizzato per quel prodotto

↳ parallelamente quando si pensa a progetto prodotto

↳ si inizia a pensare processo produttivo

e a ciclo di vita del prodotto

Miglioramento prodotto (qualità percepita dal cliente)

Riduzione del TIME TO MARKET

↳ da idea a messa in commercio

Importante perché si perde il treno → Alcune Aziende anticipano altre

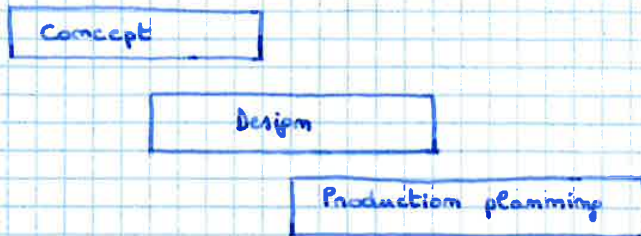
Cosa richiede:

- Organizzazione efficiente del lavoro in TEAM
- Uso di procedure operative (mile stone) precise e mirate
- Uso di strumenti e tecniche connessi e integrabili
- Architetture di sistema appropriate
- Team dev'essere diretto da un project manager multidisciplinare

↳ Figure difficili da trovare

↳ total quality management

Diagramma di Gant (CE)



Inizia fase successiva
prima di fine di precedente

↓
Se quella prima ritarda
quella dopo può comunque iniziare

↳ Si riducono i tempi

MATERIALI

Che caratteristiche ci interessano per prodotti?

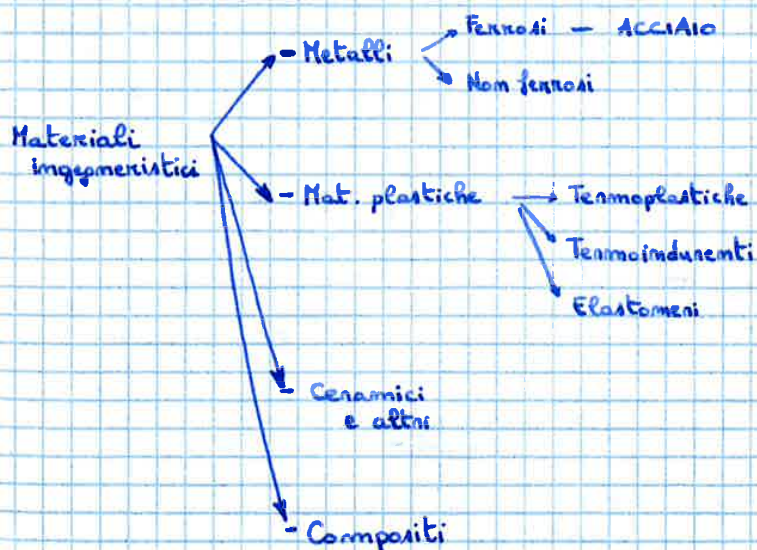
Perché lavorazioni a caldo?

Perché materiali stampati (fucinati) sono più resistenti?

Gestione di attrito / lubrificante?

Energia richiesta in lavorazione?

In produzione moderna — grandissima varietà di materiali utilizzati

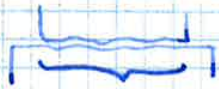


ATTRITO (TRIBOLOGIA)

2 corpi solidi hanno superfici ondulate

↓
Contatto solo in alcuni punti

↳ Superficie reale di contatto (S_r)



Sup. nominale di contatto

(S_m)



Forza normale scambiata deforma plasticamente le punte su cui si appoggiano

Finché sup. di contatto è suff. per sostenere le 2 superfici

Tensione rimane comunque elevata

produce (MICROGIUNZIONI) MICROSALDATURE

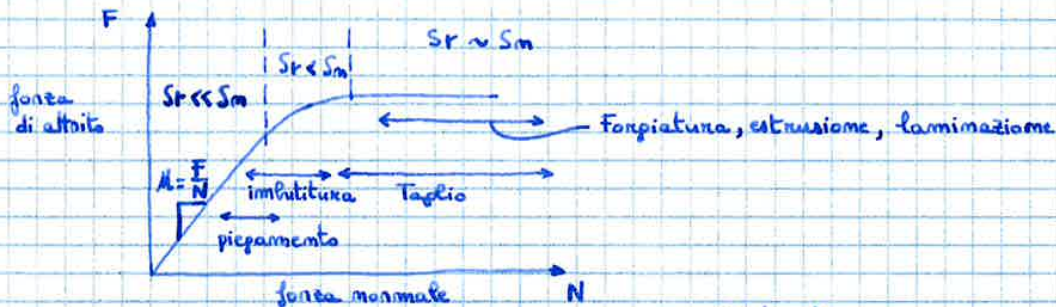
(Forze di Van der Waals)

Quando superfici si spostano si rompono microsaldature opponendo resistenza

↓
Attrito

In processi produttivi Forze scambiate sono elevate

↓
 S_r continua a crescere fino alla S_m in alcuni casi



Parte lineare

↓
Aumenta area di contatto

$F \propto$ area di contatto

Se Aumenta N → Aumenta F
↓
(Aumento area di contatto)

Quando Area di contatto diventa quella nominale → F rimane costante

↳ Perché superficie di contatto non può più aumentare

Coeff. di attrito (μ)

In laminazione
solutamente a caldo
(mo lubrificante)

freddo

0,05 - 0,1

• A caldo μ
è maggiore che a freddo

0,2 - 0,4

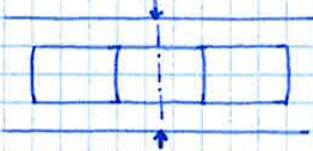
Fornitura
senza lubrificante

μ alto

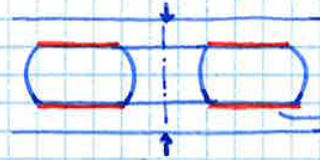
Asportazione di
truciolo

0,5 - 2

Buona lubrificazione



Scarsa lubrificazione



Questa parte
rimane
ferma contro
lo stampo

ANISOTROPIA

↳ Comportamento non è indipendente da direzione
(Dopo deformazione)

I piani non sono più simmetrici
e casuali

Allungati in una sola
direzione

• Resistenza meccanica
diversa in alcune direzioni

↳ Orientamenti preferenziali

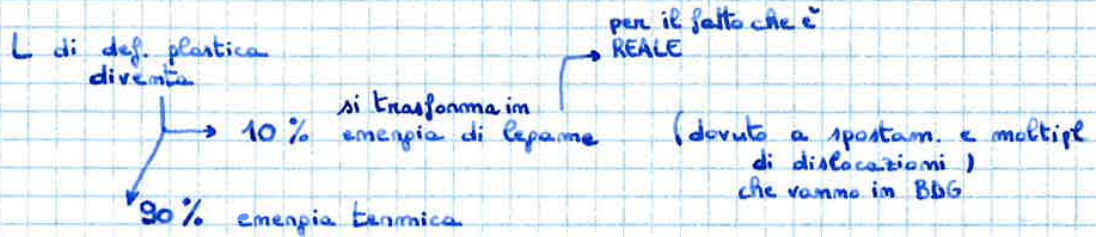
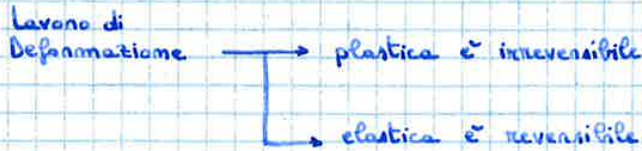
↳ può essere insudito
e in altre più debole

di tipo cristallografico

Cambiano anche
PROPRIETÀ FISICHE
(magn., elettr.)

per orientazione delle fibre

GENERAZIONE DI CALORE



(interna al corpo → lo trattiene per un certo tempo stesso)



Se c'è scambio di calore

Trasferisce energia interna sotto forma di calore

→ Va agli utensili e macchina utensile

diventano meno resistenti

Si rompono a T non molto alta

Ci dev'essere altrimenti T può raggiungere quella di crescita di grano

BRUCIATURE

Imutilizzabile

(con alcune parti fuse)

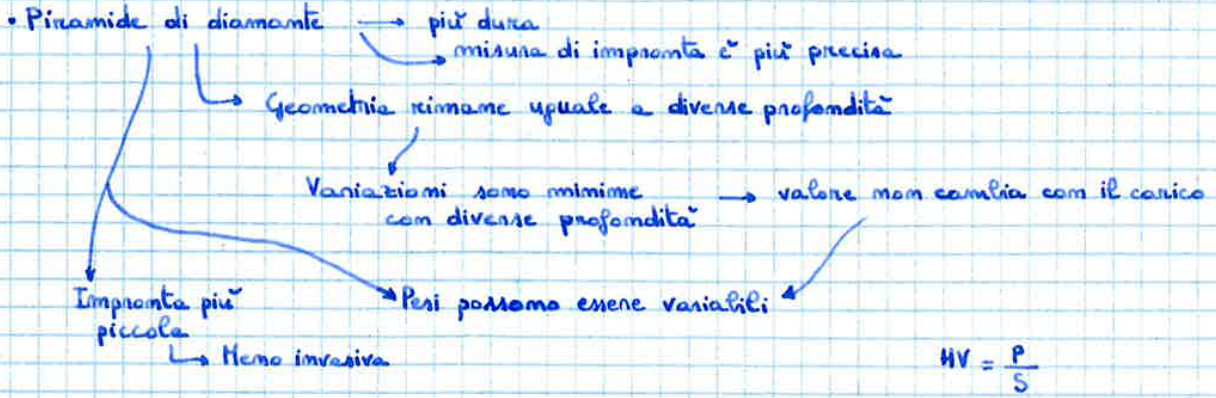
ALCUNI PROCESSI

• Adiabatico d'impatto

→ Perchè talmente veloce (1/10 s) che scambia pochissimo calore → Si può considerare adiabatico

Aumento di T può causare aumento di grano

Vickers



136° → piani di ^{scansione} direzioni di ^{scansione} favorevoli

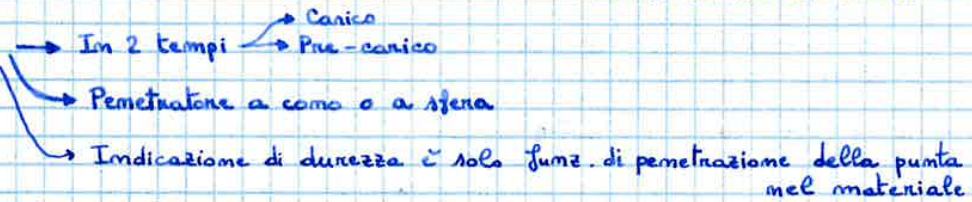
- Può essere usato anche per prove di microdurezza → impronta piccola

Risultati diversi

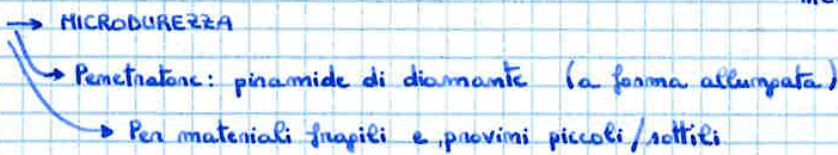
→ Possono finire su grani di ferrite o cementite o altri

↳ di solito media dei valori

Rockwell



Knoop



Confronto tra scale

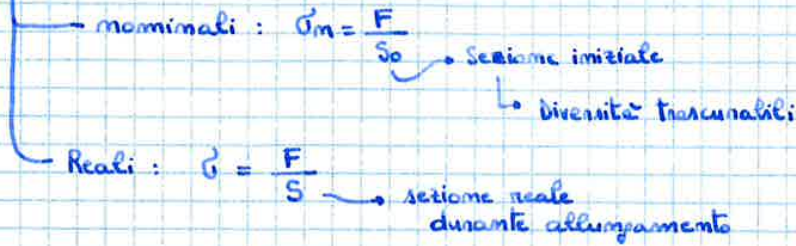
HV e HB	Mohs (usata dai geologi)
3000 -	
Carburo di tantalio 2000 -	10 Diamante
1000 -	9 Corindone
Ybtri policristallini 1000 -	8 Topazio
500 -	7 Quarzo
Titanio 300 -	6 Feldspato
⋮	⋮
20 -	1 Talco
Lephe di piombo Piombo 10 -	

↳ Usato per simulare a freddo stampaggio a caldo di acciaio

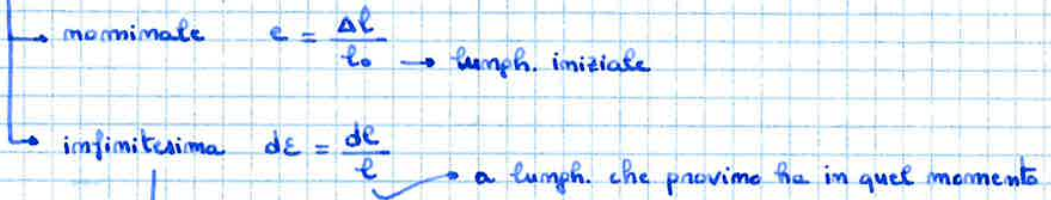
Per processo tecnologico

$R_s, R_m, E_{rottura} \rightarrow$ VALORI INUTILI
(Punti impo di prova di trazione)

Tensioni



Deformazione

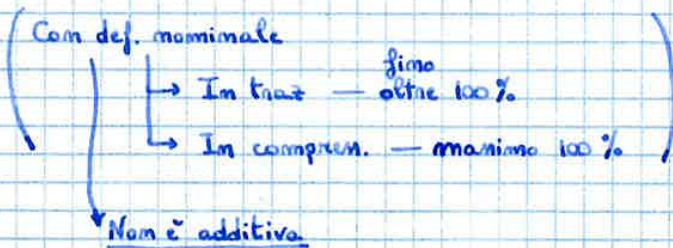


naturale

$$\varepsilon = \int_{l_0}^l d\varepsilon = \ln\left(\frac{l}{l_0}\right)$$

$\frac{l}{l_0} \approx 1$
(per piccole dimens.)
sviluppo in serie al 1° ordine
 $\frac{\Delta l}{l_0}$

Da stessi risultati in trazione e compressione



Def. naturale \rightarrow ADDITIVA

$l_0 \rightarrow l_1 + l_1 \rightarrow l_2$

$l_0 \rightarrow l_1$

$$\varepsilon = \ln \frac{l_1}{l_0} + \ln \frac{l_2}{l_1} = \ln \frac{l_2}{l_0} \rightarrow \text{Com 2 passaggi o con solo 1 passaggio } \varepsilon \text{ lo stesso}$$

$l_0 \rightarrow l_2$

$$e = \frac{l_1 - l_0}{l_0} + \frac{l_2 - l_1}{l_1} = \frac{l_1^2 - 2l_0l_1 + l_2l_0}{l_0l_1}$$

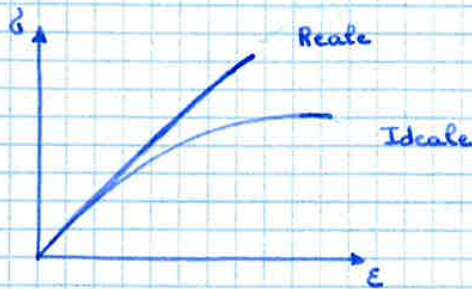
$l_0 \rightarrow l_2$

$$e = \frac{l_2 - l_0}{l_0}$$

Def. reale da def. nominale

$$\epsilon = \ln\left(\frac{l}{l_0}\right) = \ln(1+e)$$

$$e = \frac{l}{l_0} - 1 \rightarrow \frac{l}{l_0} = 1+e$$



In trazione

$\epsilon \approx e$ per piccole def.

$\epsilon < e$ per grandi deformazioni

$e = 100\% = 1$

$\hookrightarrow \epsilon \approx 0,4$

In compressione

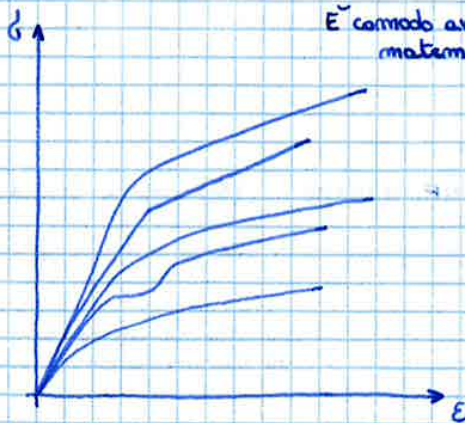
$e = -100\% = -1$

$\hookrightarrow \epsilon \approx -0,7$

$e = -0,5$

$\hookrightarrow \epsilon \approx -0,4$

Grafico tensione-deformazione



È comodo avere legge matematica che sintetizzi grafico

\hookrightarrow Legge di Hollomon (o power law)
 $\sigma = K \cdot \epsilon^m$

per piccole deformazioni è molto diversa da curva di trazione

per grandi deformazioni sono indistinguibili (oltre il 5%)

K = coefficiente di forza

m = coeff. di inasprimento

\hookrightarrow aumenta di resist. ad aumentare di deformazione

Ad alta T
 $m=0$ per policristalliz.

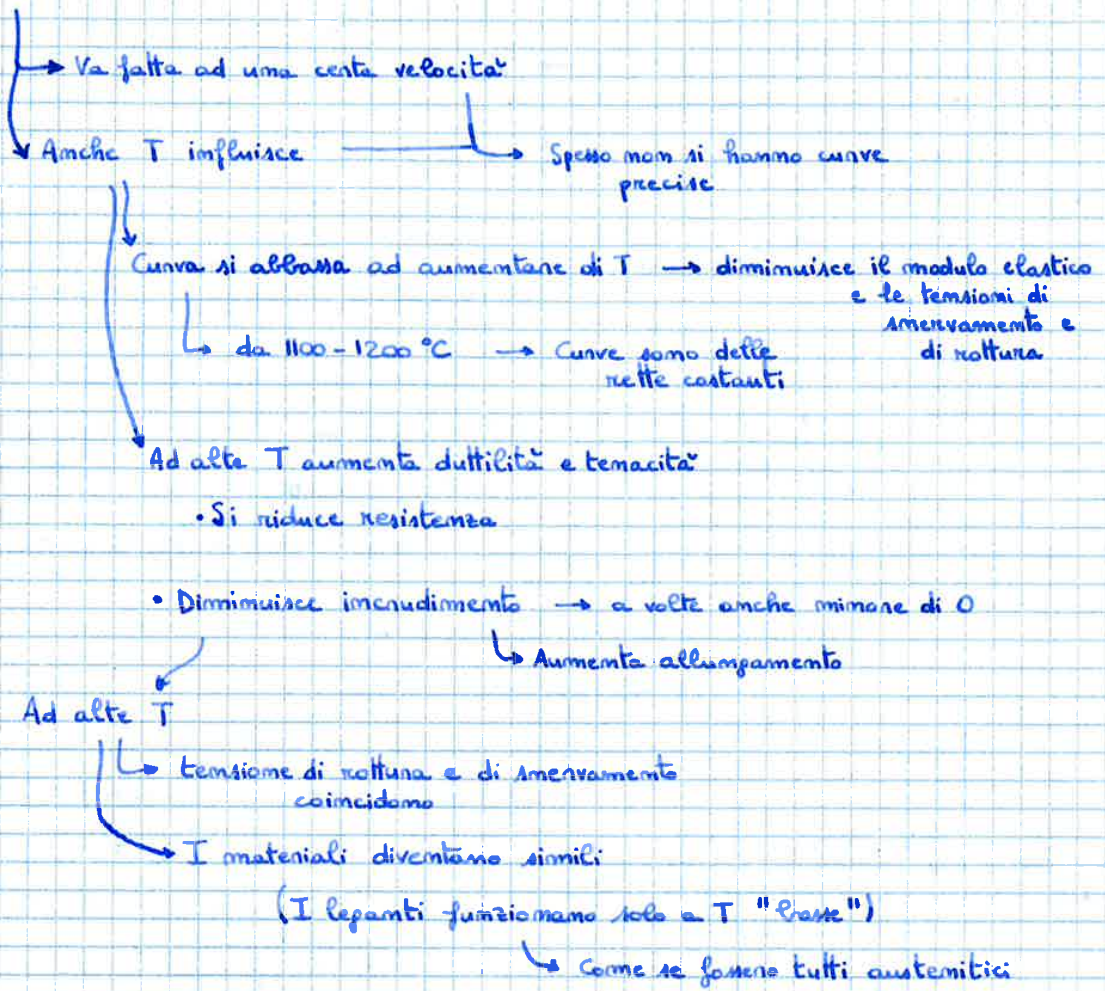
$\hookrightarrow \sigma = K$

Campo elastico
 $m=1$

Lineare

Campo plastico
 $m < 1$

Prova di trazione



Effetto di Velocità di deformazione

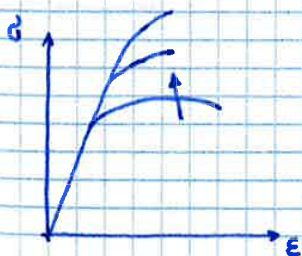
$$\dot{\epsilon} = \frac{d\epsilon}{dt} = \frac{dL}{L} \cdot \frac{1}{dt} = \frac{dL}{dt} \cdot \frac{1}{L} = \frac{v}{L}$$

velocità con cui si sposta braccio di macchina

di solito $\dot{\epsilon} = \frac{1}{100} s^{-1}$ → difficile creare sistemi idraulici che funzionino velocemente

- Stampaggio → 1000 s⁻¹
- Trafilatura → 10000 s⁻¹
- Formatura a esplosivo → 1000000 s⁻¹

Non esistono macchine con queste velocità
 ↓
 prova di trazione non va bene in ambito tecnologico



Legge (effetto di v di deformazione su resistenza dei materiali)
 $\sigma = \epsilon \cdot \dot{\epsilon}^m$
 m → fattore di resistenza
 Anche per mat. ripido-plastico ideale
 $\sigma = Y$

CONDIZIONE DI INSTABILITÀ

Aumento di resistenza (incrudimento) → Se prevale → F cresce (resistente)
 vs
 Diminuz. di sezione (strizione) → Se prevale → F diminuisce (resistente)
 → Incrudimento non compensa più la diminuzione di sezione
 → In zona di strizione si concentrano tutte le ulteriori deformazioni

$F = \sigma \cdot S$
 Condizione di instabilità F_{max} quando $\frac{dF}{d\varepsilon} = 0$

$$\frac{dF}{d\varepsilon} = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} S + \frac{dS}{d\varepsilon} \cdot \sigma = 0$$

$$S \left(\frac{d\sigma}{d\varepsilon} + \sigma \frac{dS}{S d\varepsilon} \right) = 0$$

Conservaz. del volume $l \cdot S = \text{cost.}$

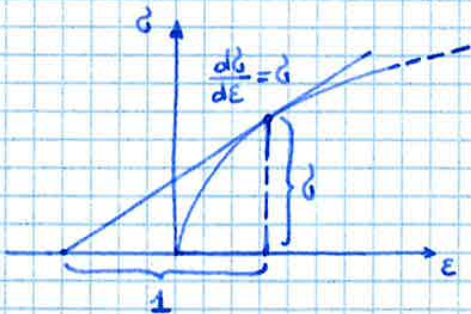
DERIVATA $\left[\begin{array}{l} \ln(l \cdot S) = \ln(\text{cost.}) \\ \frac{dl}{l} + \frac{dS}{S} = 0 \end{array} \right. \rightarrow \frac{dl}{l} = -\frac{dS}{S}$

$$d\varepsilon = \frac{dl}{l} = -\frac{dS}{S}$$

$$S \left(\frac{d\sigma}{d\varepsilon} - \sigma \frac{dS}{S d\varepsilon} \right) = 0$$

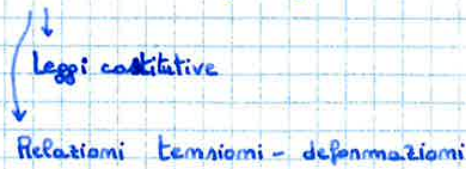
$$\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = \sigma$$

Punto in cui mat. raggiunge instabilità
 ↳ Per riconoscere su curva reale INSTABILITÀ



MECCANICA DEI MATERIALI

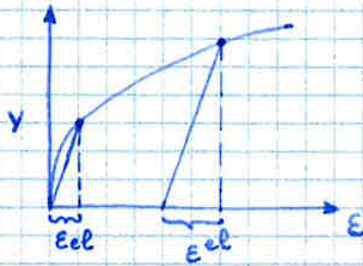
Meccanica di un corpo deformabile



Deformazione totale

$$\epsilon_{tot} = \epsilon^{el} + \epsilon^{pl}$$

Fenomeni indipendenti tra loro



In def. plastica

↳ Aumenta anche def. elastica (distanza interatomica)

Legge di Hollomon

$$\sigma = K \cdot \epsilon^m$$

ϵ^{pl}

valida in campo plastico

In campo elastico

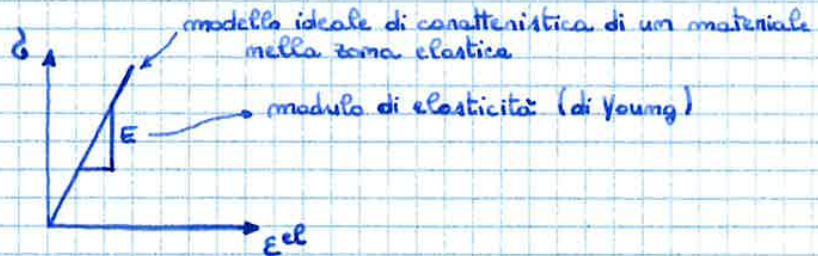
→ Deformazione reversibile e linearmente proporzionale a tensione

Legge di Hooke

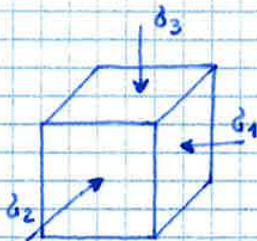
$$\epsilon = \frac{\sigma}{E}$$

Acciai $E = 210 \text{ GPa}$

$G = 10^9$



Analisi triassiale delle tensioni



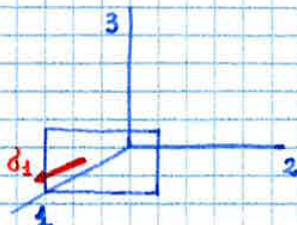
Tensione delle tensioni

Si mettiamo in Sistema di riferimento principale

↳ Solo Tensioni normali → in piani perpendicolari a direz. principali $\sigma_{xx}, \sigma_{yy}, \sigma_{zz}$

$$\bar{\sigma} = \begin{pmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{pmatrix}$$

$$\bar{\sigma} = \sigma_{ij} \quad i=1, \dots, 3, \quad j=1, \dots, 3$$

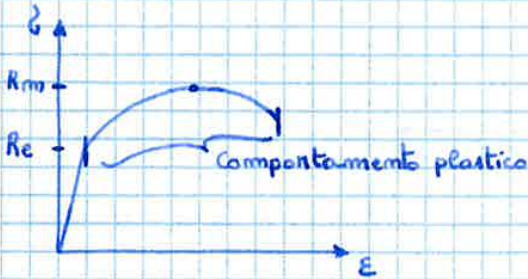


Legge di Hooke (per tensioni triassiali)

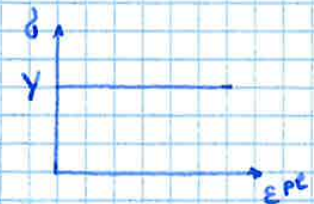
$$\begin{cases} \epsilon_1 = \frac{1}{E} [\sigma_1 - \nu (\sigma_2 + \sigma_3)] \\ \epsilon_2 = \frac{1}{E} [\sigma_2 - \nu (\sigma_1 + \sigma_3)] \\ \epsilon_3 = \frac{1}{E} [\sigma_3 - \nu (\sigma_1 + \sigma_2)] \end{cases}$$

Coef. di Poisson → Peso di diminuzione laterale (strizione)
 E' circa 0,3 negli acciai

COMPORAMENTO PLASTICO



Materiali rigido-plastici



- Volume costante
- Non c'è più dipendenza di E da σ (in campo plastico)
- E è permanente (ha memoria)

$E = f(\sigma)$ elastico
 $E = f(\epsilon_0)$ plastico

↳ dipende da quanto è stato def. prima

$E = E_0 + dE$

Tensione è costante, deformaz. tot. si distribuisce sulle tre direz. principali

Ma direzione in cui si applica tensione

↳ Dice in che direzione si deforma il provino

↓
 E diventa una variabile di stato

Def. plastica → A Volume costante → Solo una parte di tensioni

↳ Tolgo σ_m perché non influisce

Varia solo il volume

Tensioni deviatoriche

Responsabili di deformazione plastica

$$\begin{cases} S_1 = \sigma_1 - \sigma_m \\ S_2 = \sigma_2 - \sigma_m \\ S_3 = \sigma_3 - \sigma_m \end{cases}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$$

Quando direzione di tensione
non varia

↓ posso scrivere

$$\epsilon_1 = H \cdot \left(\sigma_1 - \frac{1}{2} (\sigma_2 + \sigma_3) \right)$$

$\dot{\epsilon} \rightarrow \epsilon$

Integrata
nel tempo



Prova di trazione

Altrimenti non
si può fare
↓
Caso generale

Limite di snervamento

Si può assumere che dipenda solo da
stato di tensione applicato
al corpo (doppo avven definito materiale)

↓
A sua volta dipende da applicazione di forze
(solllecitazioni)

- Occorre trovare relazione univoca
tra stato tensionale e il limite di snervamento

Criterio di snervamento (di PLASTICITÀ)

→ Affinchè deformazione plastica
continui

↳ Valido per tutto il campo plastico

↳ Non aumenta
def. plastica se σ non supera un certo valore

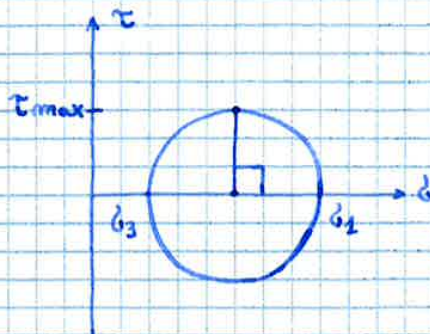
Criterio di Tresca (tensione tang. max)

$$\sigma_1 - \sigma_3 = Y$$

Mat. si deforma plasticamente quando
 τ_{max} supera un certo valore

↳ TENSIONE MONOASSIALE
DI SNERVAMENTO
A TAGLIO
K

In piano 1-3 → Cerchio più grande



$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad (\text{Raggio del cerchio di Mohr})$$

$$\tau_{max} \geq \frac{Y}{2}$$

$$(K = \frac{Y}{2})$$

Tensione equivalente

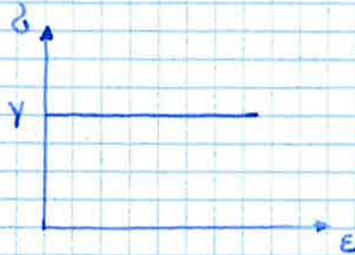
da situazione generale
a
un solo valore \rightarrow uniaxiale
equivalente

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + \dots = 2\gamma^2 = 2\sigma_{eq}^2$$

Ottempo

σ_{eq} coincide con γ

$$\sigma_{eq} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$$



σ_{eq} variabile
 γ costante

\rightarrow Quando $\sigma_{eq} = \gamma \rightarrow$ Deformazione plastica
 \uparrow
Per qualsiasi stato di tensione

Deformazione equivalente

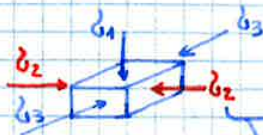
$$L = \int S_1 dE_1 + S_2 dE_2 + S_3 dE_3$$

\downarrow

$L = \sigma_{eq} \cdot dE_{eq} \rightarrow$ moltiplicato per σ_{eq} dal lavoro di deformazione plastica

$$E_{eq} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(E_1 - E_2)^2 + (E_2 - E_3)^2 + (E_3 - E_1)^2}$$

• Deformazione piana



$$\epsilon_2 = 0 \rightarrow \delta_2 \neq 0$$

Per impedire che materiale si deformi in direzione 2

(Ad esempio in uno stampo)

È una REAZIONE VINCOLARE

$$\text{Se } \delta_1 \text{ e } \delta_3 = 0 \rightarrow \delta_2 = 0$$

Valore di δ_2 non è dato a priori
ma varia per bilanciare sempre δ_1 e δ_3

Tresca $\delta_1 - \delta_3 = Y$

→ Vale solo per alcuni materiali non metallici e duttili

È più semplice da calcolare

Von Mises

$$\epsilon_2 \propto \delta_2 - \frac{1}{2}(\delta_1 + \delta_3) = 0$$

↓

$$\delta_2 = \frac{1}{2}(\delta_1 + \delta_3) = \delta_m$$

$$(\delta_1 - \delta_2)^2 + (\delta_2 - \delta_3)^2 + (\delta_3 - \delta_1)^2 = 3Y^2 \quad \downarrow$$

$$\left[\frac{1}{2}(\delta_1 - \delta_3)\right]^2 + \left[\frac{1}{2}(\delta_1 - \delta_3)\right]^2 + (\delta_1 - \delta_3)^2 = 3Y^2$$

$$\frac{3}{2}(\delta_1 - \delta_3)^2 = 3Y^2$$

$$\delta_1 - \delta_3 = \frac{2}{\sqrt{3}} Y \approx 1,15 Y$$

Criterio giusto per metalli (acciai)

Tensione media

$$\bar{\gamma} = \frac{1}{E_{lim}} \int_0^{E_{lim}} \sigma_{eq} \cdot dE_{eq}$$

Nel caso di legge esponenziale

$$\sigma_{eq} = C \cdot E_{eq}^m$$

$$\bar{\gamma} = C \cdot \frac{E_{lim}^m}{m+1}$$

Formula del lavoro a tensione media di deformazione

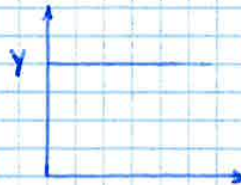
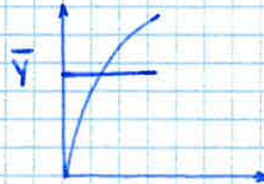
$$L = V \cdot \bar{\gamma} \cdot E$$

Limite di plasticità media

Si può usare come COSTANTE

Perché in teoria limite si alza in curva di def. plastica

Se è mat. con incedimento



$\gamma = 600 \text{ MPa}$ costante

Se mat. ripido-plastico ideale

Von Mises

$$\sigma_{eq} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + \dots}$$

Quando $\sigma_{eq} = \gamma \rightarrow$ Si passa in campo plastico

Deformazione piana

$$\epsilon_2 = 0$$

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

$$\sigma_{eq} = \frac{\sqrt{3}}{2} (\sigma_1 - \sigma_3) = \gamma$$

V.M.

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{2}{\sqrt{3}} \gamma = \gamma'$$

(Tasca)

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \gamma$$

Tensioni assialsimmetriche

$$\sigma_r = \sigma_c$$

$$T = V.M. \rightarrow \sigma_1 - \sigma_3 = \gamma$$

Scopo di prove → garantire con un certo livello di confidenza l'assenza del difetto dal pezzo

Falsi positivi → Solo ricaduta economica

Falsi negativi → Ricaduta pesante se si rompe in uso

Ogni PND deve permettere identificazione dei difetti pericolosi trascurando quelli accettabili

Applicazione di PND

- Collaudi di accettazione : Controlli di qualità sui semilavorati presso i fornitori o all'arrivo in magazzino (liquidi penetranti e ultrasuoni)
- Controlli in processo : - Sostituiscono i collaudi finali
- Controlli automatici
- Controlli in servizio : Controlli effettuati durante la vita della macchina, in funzionamento o in manutenzione (industria nucleare)

Ad esempio in zone critiche di aerei

Prova a liquidi penetranti

- Costa poco
- Ma è LENTA → Non usata in industria di auto e componenti meccanici

Analizza difetti su superficie del pezzo

liquido poco viscoso → Per capillarità viene attirato in difetti e discontinuità con tensione superficiale

Se liquido è colorato si notano difetti prima invisibili ad occhio nudo

In fusione → Materiale si ritira



Le due sup. interne si allontanano

↓
Si genera cricca

- Si pulisce superficie
- Si applica liquido penetrante su superficie
- Si rimuove da superficie non difettata
- Si mette Agente evidenziante (Assorbente)

(Evidenzia) ← Colora il liquido restante

↳ Spesso compresso in soluzione (sospensione) in liquidi penetranti

MAGNETOSCOPIA

Rileva difetti → Superficiali
 ↳ Sub-superficiali

Molto sensibile → fino a 4-5 mm di profondità
 e veloce

Solo su pezzi ferromagnetici
 e applicabile

Molto usata per auto / componenti meccanici

Proprietà fisica:

Permeabilità magnetica → Ferromagnetici molto ALTA

↳ Aria ce l'ha molto BASSA

aria in cricca devia le linee di flusso in superficie

↳ Generato in modo che si chiuda all'interno del pezzo

Dalla loro distribuzione si deduce la presenza di difetti

Evidenziato con particelle magnetiche

↳ Brillano dove sono distante / attratte

↳ Linee di flusso deviate anche a distanza da difetto

↳ Proprietà fluorescenti ↳ illuminate

↳ Rileva difetti anche se sono di poco sotto-superficie.

Difettosità sotto pelle

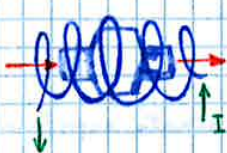


Se difetto è ^{molto} sub-superficiale o è allineato a linee di flusso

NON RILEVABILE

Per creare flusso sul pezzo

↳ Iniezione magnetica circolare

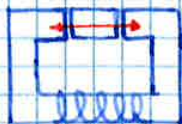


Cavo elettrico in cui passa corrente

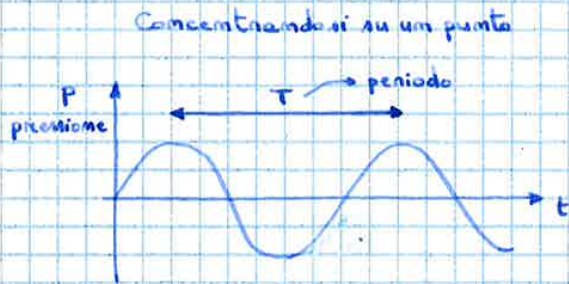
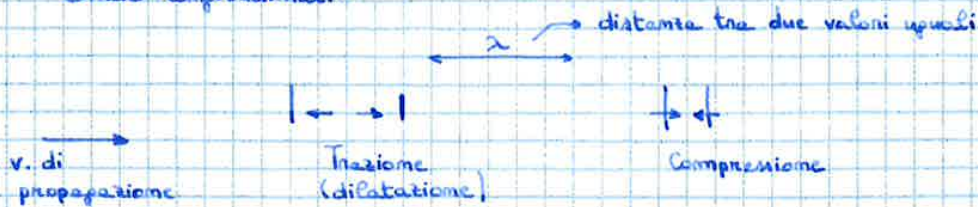
↳ Crea campo magnetico

Oppure si può chiudere circuito

↳ facendo AVVOLGIMENTO MAGNETICO



Onde longitudinali



distanza di t tra due valori uguali di onda

Andam. sinusoidale

↳ Andam. reale può essere visto come somma di funzioni sinusoidali

Frequenza $f = \frac{1}{T}$

oscillazioni in un secondo

Lunghezza d'onda

$$\lambda = x(t+T) - x(t)$$

Andam. periodica

$$\rightarrow y(t+T) = y(t)$$

Velocità

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

Impedenza acustica

$$Z = \rho \cdot v$$

	ρ (t/m ³)	v (m/s)	Z (s.t./m ²)
Acciaio	7,8	5,85	45000
Acqua	1,0	1,48	1480

↳ Granda differenza

In parappia tra acciaio e aria

↓ Z varia molto

↓ fenomeno di RIFLESSIONE

↳ Onda riflessa se superficie che riflette ha dimensioni paragonabili a lunghezza d'onda

v di trasmissione è costante

$$v = \lambda \cdot f = \text{cost.}$$

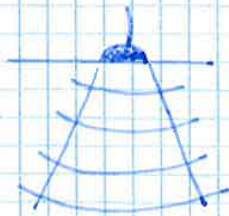
↳ λ piccola → f grande

↳ Onde acustiche normali hanno λ troppo alta

$$\rightarrow 20 \text{ Hz} \rightarrow \lambda \approx 10 \text{ m}$$

Ultrasuoni

$$\rightarrow 2 \text{ MHz} \rightarrow \lambda \approx \frac{1}{1000} \text{ mm}$$



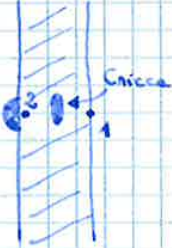
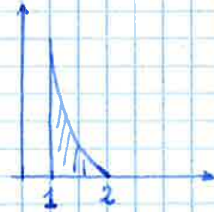
Svantaggi

1. Non si può usare per pezzi troppo spessi
 ↓
 onda si attenua troppo
2. Coda di impulso

Vantaggi

Può rilevare:

- Grado di omogeneità
- Presenza di vuoti / fessure
- Esistenza di discontinuità
- Localizzaz. di zone alterate
- Variazioni di propr. dei materiali nel tempo
- Stima del valore di E
- Stima di resistenza del materiale



Se cricca è compresa in emissione di onda
 ↓
 Non rilevata

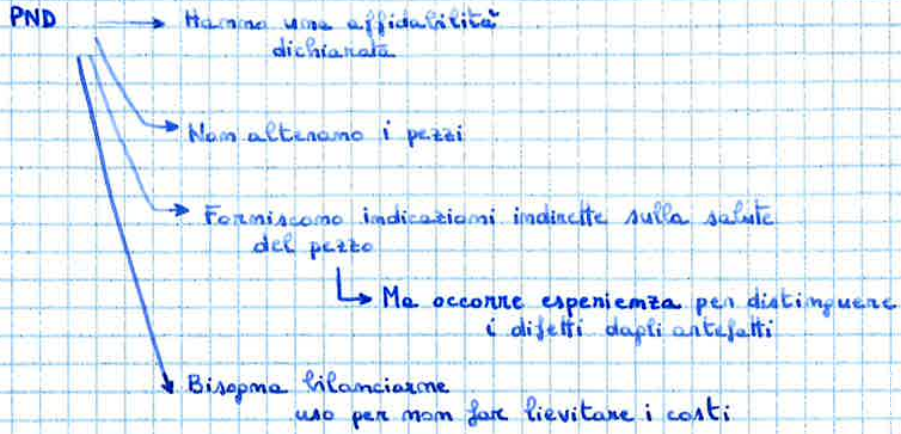
Cricche in primi millimetri sono mascherate da coda di onda canonica

Tecnica RADIOGRAFICA

Rilevamento su pellicola di variazioni di attenuazione che un fascio a raggi X (frequenze ALTE) subisce in funzione degli spessori attraversati

- Discontinuità sono come ammorte
- Per spessori maggiori (fino 150 mm) si usano i raggi X
 ↳ con esposizione panoramica
 ↓
 Per oltre 10 cm → Si usano acceleratori lineari
- Si possono rilevare difetti dell'ordine di $1 \div 2$ % dello spessore del pezzo
- Per spessori piccoli non si apprezza variazioni di attenuazione
 ↳ Per sensibilità maggiori si usa il metodo ad ultrasuoni

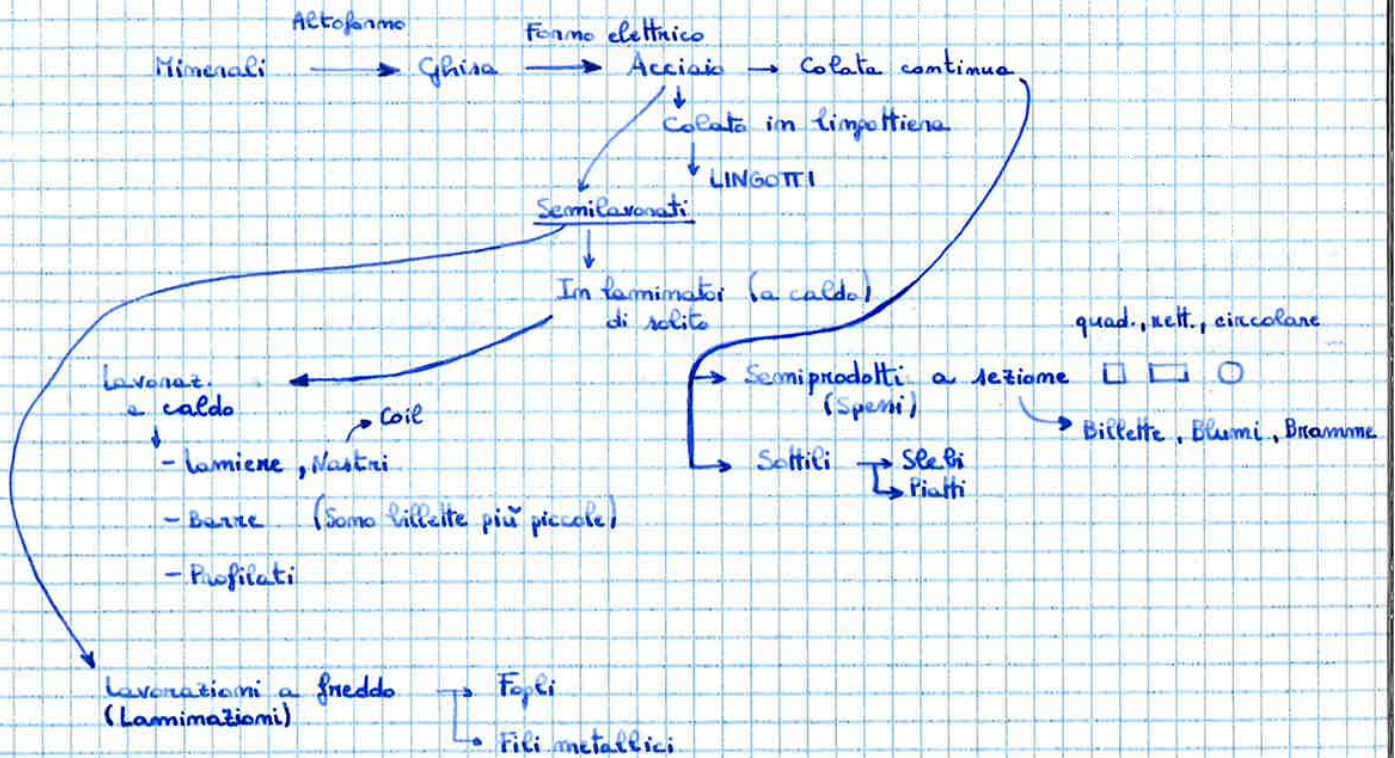
Sommario



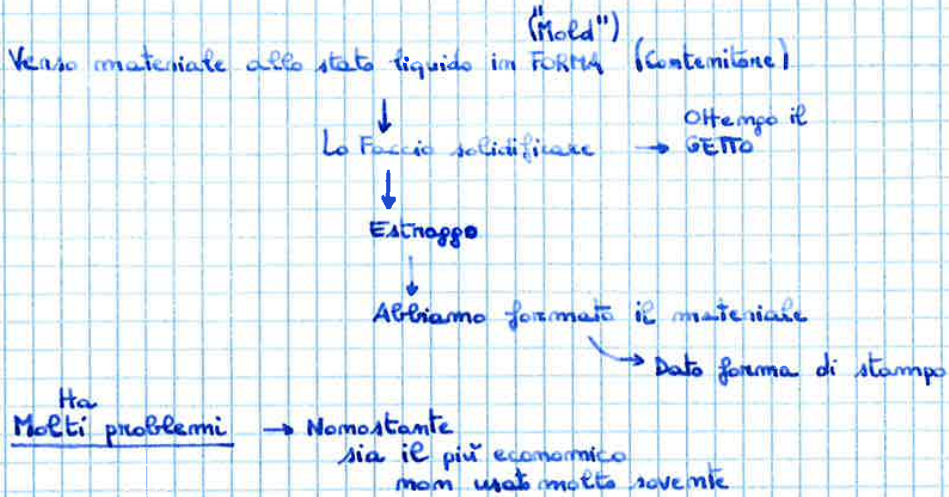
MODULO B:

Processi di FORMATURA

La produzione industriale

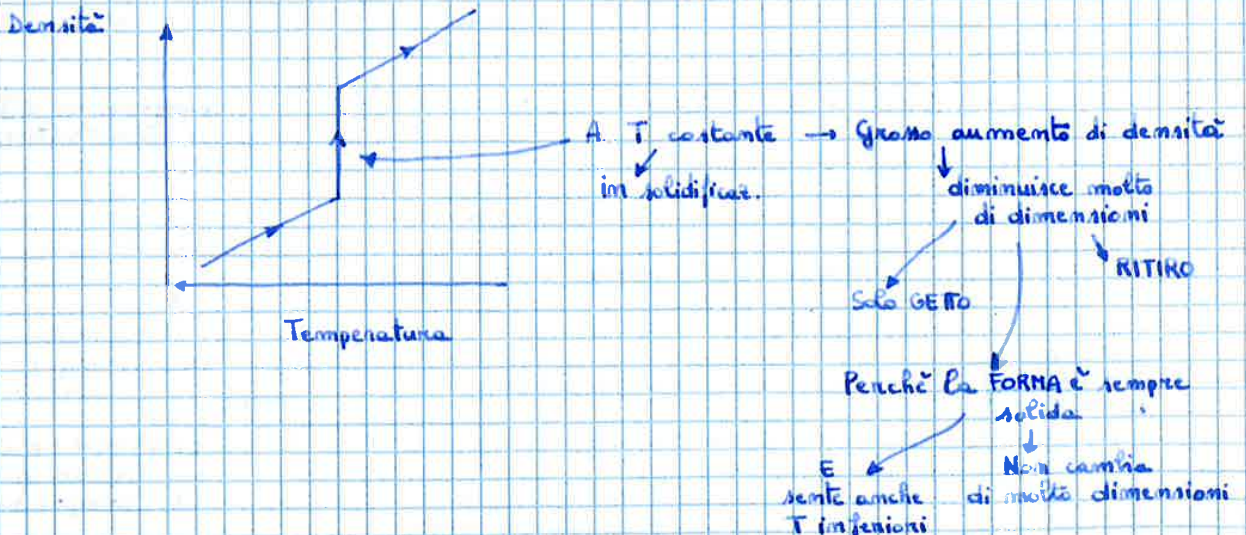
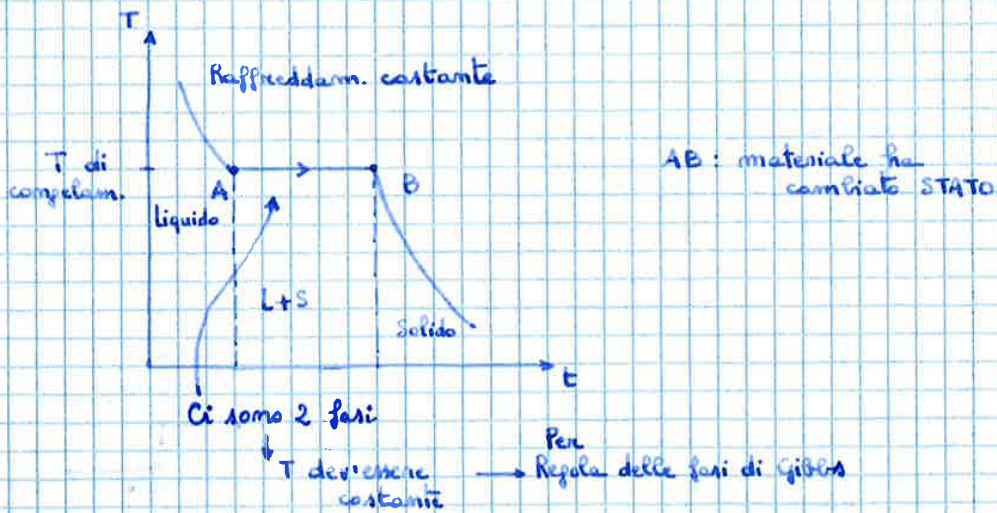


IL PROCESSO DI FUSIONE



1° PROBLEMA: Ritiro

Metalli puri



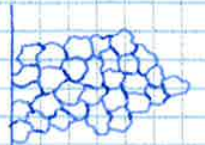
Solidificazione uniforme

• Germini di nucleazione

↓ Accrescimento
finché i grani
non si toccano

- Se hanno tempo per crescere
↳ Diventano
↳ Sferici

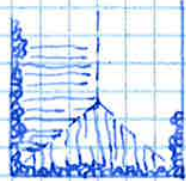
↳ Struttura equiasiale
con grani grandi e uniformi



- Se recipiente ha pareti fredde (come di solito è)

↓ Solidifica velocemente in superficie

↳ Tantissimi germi
che non hanno
tempo di crescere



Calore fluisce
perpendicolarmente alle pareti

↓ Grani successivi crescono in direzione perpendicolare
alle pareti

↳ Strutture colomnari

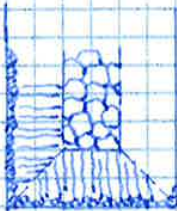
↳ Grani stretti e allungati

Im realtà

↳ Pareti influenzano
solo zona vicina → struttura colomnare

↓ Nel cuore del pezzo grani grandi ed equiasiali

↳ Solidificano
normalmente



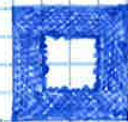
Come evolve solidificazione
dopo la colata

Strutture colomnari → A DENDRITI

↳ Se raffreddamento è lento → con forma
di TERRA
si ottiene

↳ Tendenza a intrappolare porosità
e bolle d'aria
o gas → **NEGATIVO**

Solo se
la lega è BIFASICA



- Se la solidificazione è veloce → forma di
ACCIAIO

↳ Non si formano dendriti
↳ **PIÙ UNIFORME**

Materiale del getto

- Buona colabilità → poco viscoso
altrimenti può non raggiungere delle zone
- Bassa temperatura di fusione (600°C)
- Capacità di solidificare in maniera omogenea
- Assenza di difetti nei getti → Bolle / Porosità

Forma

- Transitoria → Dopo una colata si rompe / sbriciola per estrarre pezzo
- Permanente → A conchiglia
 - ↳ Molto costosa da produrre
 - ↳ Se devo formare pochi pezzi non conviene
 - ↳ conviene usare forma transitoria
- ↳ Riutilizzabile

Modello

- ↳ Intorno a cui far indurire la forma (terra di fondente)
- ↳ Legno → duro e poco igroscopico
- ↳ Resina (materie plastiche)
- ↳ teghe metalliche in bronzo, teghe leggere, ghise, acciai
- ↳ Divisa in 2 → per togliere modello
- ↳ Spesso anche modello è diviso in 2
- ↳ Placca → con riferimenti per centrare i due semimodelli in modo perfetto

Anima

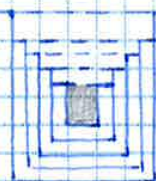
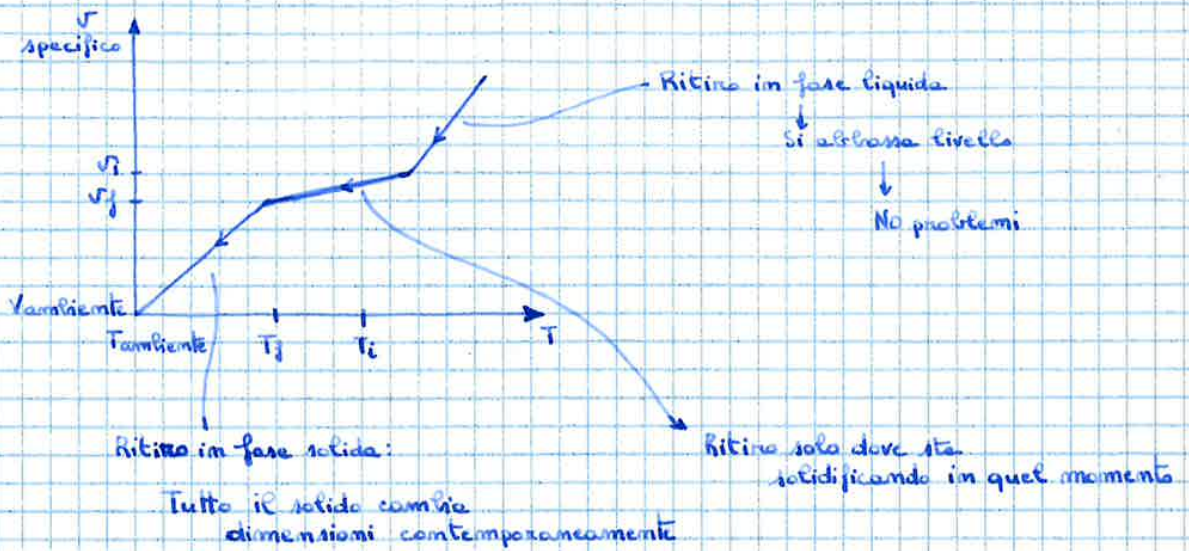
- ↳ Impedisce al metallo fuso di riempire cavità
- ↳ Si possono creare petti forati



Greppio di fusione

- ↳ Prodotto finito di fusione
- ↳ a meno di un sorno metallo → È più grosso di prodotto finito
- ↳ A fine fusione superfici sono troppo poco precise per moltiplicare superfici
- ↳ lavorazioni ad asportazione

Fenomeno del ritiro



MATEROZZA → "Collegata" tramite collare d'attacco

• Serbatoio di metallo che alimenta continuamente il getto

↳ Solidifica per ultima → "Aria" come di ritiro

↳ Funzione: compensare la variazione di volume dovuta al ritiro globale del getto in fase di solidificazione

↳ Parte sacrificabile

↳ Poi si taglia materozza → "Smaterozatura"

↳ Evita formazione di cavità di ritiro all'interno del getto

Può essere → A ciclo aperto

↳ Contatto costante con patin

↳ Affiora in parte sup. di forma

↳ Cieca → In zone del getto difficilmente raggiungibili

Punta in tema di fondenza rallesta la solidificazione della zona

↳ Gli dare arrivare aria per non andare in depressione

Totalmente immersa nella forma

↳ a contatto con patin

Cubo → $M = \frac{\rho}{6}$

Sfera → $M = \frac{d}{6}$

→ Ma per creare stesso volume

↓ Sfera ha un d maggiore

Progetta sistemi di colata in modo che avvenga

SOLIDIFICAZIONE DIREZIONALE

Punti con modulo di raffreddamento sempre più grande

Almeno del 10%

↳ Man mano che ci si avvicina a materozza

A volte - pezzo un po' diverso da quello richiesto da progettista

ultima ↓ In modo che solidificazione segua direzione

Altrimenti

→ Più di una materozza

↓ diverse direzioni di solidificazione

→ Sistemi di raffreddamento di alcune zone

↳ Accelerano normale raffreddamento

Si può simulare solidificazione

Ma spesso si approssima considerando solo i moduli di raffreddamento

Materozza per solidificare per ultima

↳ deve avere $M \approx M_{log}(1+20\%)$

PIANO DI DIVISIONE

↳ Per estrarre modello

↳ Associato a SIST. DI COLATA

Deve minimizzare i sottosquadri

Pezzi tra le due semiforme hanno uno sfido

deve garantire ingresso di mat. fluido il più veloce possibile

↳ se non solidifica

Ma il fluido non deve entrare in MOTO TURBOLENTO

↓ Sgrata lenisce la FORMA

Parti impiantate in metallo

Im più cattura dell'aria

Divisione in tanti piccoli condotti

Si ottiene con tanti spigoli che arrivano in zone diverse

Si ottiene G elevata e v bassa

**PRINCIPI
BASE**

- Legge di Bernoulli → Principio di conservaz. dell'energia

$$h + \frac{P}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = k \quad \text{costante in funzione del livello di energia del fluido}$$

← Altezza del punto di colata (pointing to h)
 ← Ene. potenziale (pointing to $\frac{P}{\rho g}$)
 ← Ene. cinetica → velocità di colata (pointing to $\frac{v^2}{2g}$)
 ← Pressione del fluido / Denom.: g (pointing to $\frac{P}{\rho g}$)

- Cambiando h

→ Aumenta v o p → Se non è pressurizzato
 ↓ Solo v aumenta

- Per diminuzione di sezione sia v che p crescono → perché pressurizzato

- Legge di continuità della portata

Portata volumica Q (m^3/s)
 $Q = A_1 v_1 = A_2 v_2$

→ Se diminuisce sezione → v deve aumentare

Se sezioni sono a stessa quota
 ↳ p diminuisce

- Regime di flusso → Per dire se il moto è turbolento o meno

↳ $Re = \frac{\nu D \rho}{\eta}$ Numero di Reynolds

↳ Se $Re \geq 2000$ Turbolento

Anche se in sistemi di colata il moto non è uniforme → Contatto

↳ Non riusciamo ad usarlo

- Principio di Archimede

↳ Frammenti di Tenax di formidina che si staccano da forma

↓ Tendono a galleggiare

Forma è spinta verso l'alto

densità minore del metallo $\approx 2 \text{ kg/dm}^3$

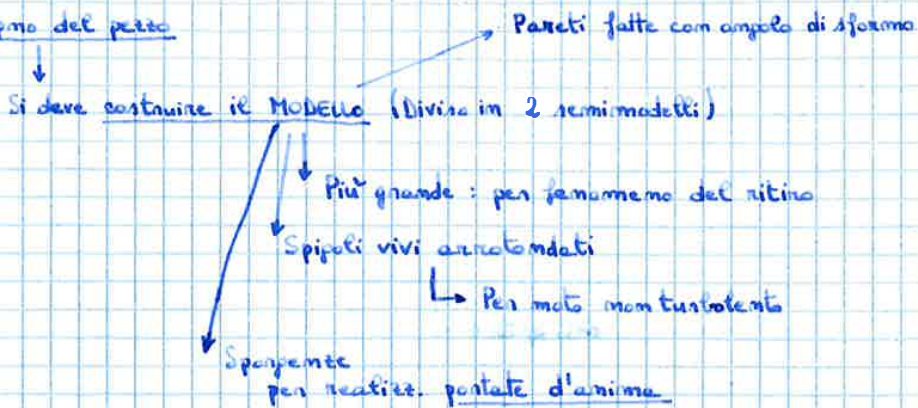
(Parte superiore)

Acciaio: 7 kg/dm^3

↓ Spinte metallostatiche

Processo (Forme transitorie)

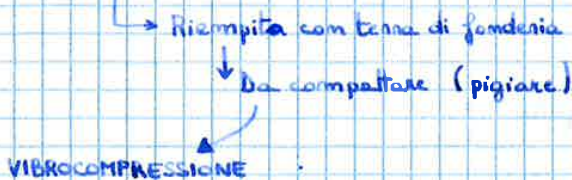
• Disegno del pezzo



• Montato su placca modello

↓

Messa ^{la} prima staffa



• Si capovolge prima staffa e • Allo stesso modo si monta seconda semiforma (Staffa)

↓

Mettendo su modello ^{Semi} componenti (canale di colata, materotta)

↓

Riempio la staffa compattandola

↓

Apri la staffa e toglie il modello

(DISTAFFATURA)

↓

Su cui si era spruzzata una polvere distaccante

↓

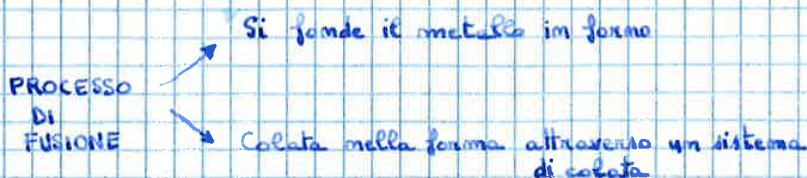
Per non portare via terra in estrazione

• Preparazione delle anime

↓

Modello di anima: CASSA D'ANIMA

• Si posiziona anima in forma



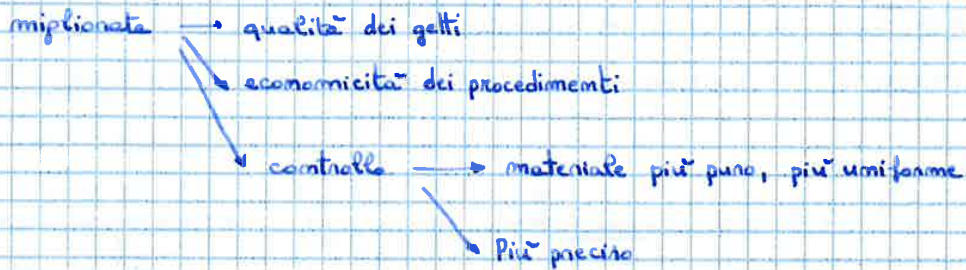
Come eseguiti processi di fusione in azienda

- Forma transitoria → In terra — Prezzo fino bassissimo → Piccole serie
- Forma permanente → In metallo
Stampi molto costosi → Grandi serie

FORMA TRANSITORIA

Molto antica

↓
Evoluzione della formatura in terra



Naturale

Sintetica — miscela controllata di materiali refrattari (sabbie)

(Sabbie mescolate a silicati e altro)

↓ Non fondono ad alte T.
(di solito 2000°C)

Formata da

- SILICE granulata (Refrattario)
- Legante → Per tenere insieme forma (coesione)
 - ARGILLOIDE → Con compressione meccanica
 - RESINE FENOLICHE → Con riscaldamento
- Additivi → Sost. distaccante di solito → per estrarre modello
 - ↓ Grafite
 - Correggono caratteristiche del materiale da fondente

→ metodi differenti di solidific. della forma

Processo di formatura in terra sintetica (indurim. MECCANICO)

→ Formatura con staffe meccanizzate

Anche
Fen pezzi enormi

→ No limiti dimensionali

Im base a dimensione di staffe

Si scava una fossa in fondaria

↓
COLATA in FOSSA

• Qualità di superfici base → Servono grani fini per permeabilità

E anche dettagli non realizzabili

↳ Pesti granolami

- legante → BETONITE

→ 10% : formatura a verde (senza essiccazione)

- Additivi < 2% della terra

→ 4% : formatura a secco

→ Amido / Farina di cereali / Pesti polverizzate

Processo al CO₂

(indurim. CHIMICO)

↳ gassosa

- Indurenti : Ammidide carbonica → Non inquinante

- leganti : Silicato di sodio (retro solubile)

↓
Ma la terra non è riutilizzabile come in indurim. meccanico,

↓
riutilizzab. al 100%

- Precisione molto superiore a metodi meccanici

- Processo automatizzabile facilmente

- Additivi : resine ureiche e fenoliche

SHELL HOLDING (Fusione in guscio sottile)

↳ Grani molto piccoli → Forma ROBUSTA

↓
Sottile

↓
molto dettagliata

MODELLO in acciaio

↳ Costa MOLTO

Lo ricopro con un copercchio

- Modelli riscaldati a 300°C (con corrente elettrica)

- Imietto tra copercchio e modello terra di fondaria

com resina fenolica come legante

↓
In pressione

↳ Riempie tutte cavità e dettagli

↓
modello non si danneggia perché in acciaio

↓
E poi si solidifica

Caratteristiche

- Ritiro della cera e della lega → Devo tenerne conto in dimensionamento
 - ↳ Doppio ritiro
- Non adatto a grosse dimensioni
 - ↳ Ordine del Kg (max 5 kg)
- Per produrre modelli in cera
 - ↳ STAMPO IN ACCIAIO → Lento e costoso → Adatto per piccola e media serie
- Si ottiene una precisione ottima e finitura superficiale ottima
- Colate con qualsiasi tipo di lega

Metodo POLICAST → Rapido e poco costoso

Modello in polistirolo → Versato subito metallo fuso

↓
A contatto con metallo il polistirolo evapora

Precisione inferiore

↳ Perché polistirolo può includersi in metallo e anche superfici sono meno precise

(Pezzi spesso fatti per strati)

Ma per gravità DA L'ALTO ¹

↓
I primi schizzi lottando contro metallo solidificano subito (prima di altro materiale che arriva dopo)

Soluzioni: ↓ Si fa entrare dolcemente inclinando la forma
↓
CON BASCULAMENTO
↳ Creano difetti nel getto

• Colata in sorgente ² → È quella che dà meno problemi

↓
Si fa salire dal basso il metallo fuso

- Fondo è ultimo a solidificare

Oppure Colata Laterale ³

Se voglio perdere meno tempo possibile (con gravità 1 min.) ci vuole forza

PRESSOFUSIONE

↓
• In Pressione → da 0,7 a 700 MPa
→ Ci mette poco
→ Sicura di riempire tutti gli spazi

(PRESSO COLATA)

Macchine enormi → Stampa mobile + stampa fissa → Per ridurre tempi di lavorazione

↳ Molto energia per tenere chiusi gli stampi
↓
Grana spinta metallo-statica

↓
Permettono rapida rimozione del getto

Molto più grossa di forma normale

Imiezione

Sistema a Camera calda

→ Metallo tenuto fuso
→ Veloce ma solo per materiali molto bene fondenti

Sistema A Camera Fredda

→ Mat. colato fuso e solo al momento in cui mi serve

Solidificazione rapida grazie ad un sistema refrigerante

↳ E poi getto estratto con un estrattore

Limiti

• Impossibilità di lavorare sopra del ferro (T. di fusione troppo elevata)

• Consistente porosità del getto dovuta alle turbolenze durante l'imiezione del getto

Modulo C:

Processi di deformazione plastica

Processi - Sono moltissimi

- Lavorazioni a caldo
- Lavorazioni a freddo
- Lavorazioni a semicaldo

A CALDO

Materiale scaldato prima di lavorazione

$\alpha T < T_m$ → Acciaio $\approx 1100 - 1200^\circ C$
poco

- Bassa resist. meccanica
- Annullam. di inclusioni.
- dipende da velocità di deformaz. → ^{Comp.}Visco-plastico
- Ricristallizzazione

Vantaggi:

- Permette grosse deformazioni
- Presse sono semplici → realizzano forme complesse
- Forze da applicare ridotte

Svantaggi

- Materiale va scaldato → costa energia
 - Lunghi tempi per scaldarlo → Bisogna farlo molto prima e dopo accendersi che macchina sia libera
- Sicurezza → Rischio a $1100^\circ C$
 - Problemi di trasporto all'interno di azienda
 - Pizzi a $200 - 300^\circ C$ → Colore neutro (Sembrano freddi)
- Con aumentare di T → Aumenta v di ossidazione → Fe_2O_3
 - Patina fragile che si stacca → Si perde 1-2-3% di materiale
 - dimensioni vanno maggiorate al 4-5% non so quanto
- Max: Tolleranza di 1-2 mm → Si ottiene una **BASSA PRECISIONE**

A TIEPIDO (SEMI-CALDO)

(Warm)

≈ 300°C

$$\approx \frac{T_m}{2}$$

→ Buona precisione e finitura superficiale

→ Anche per grandi deformazioni

↳ Si partano al limite lavoraz. a freddo

↳ Aumenta deformabilità e diminuisce resistenza

↳ Ma senza arrivare a visco-plasticità

↳ materiale ha comportamento critico

Applicazioni

- Per semiconduttori di automobili

↳ piunti a tulip → grossi e molto deformati

→ Pezzo non richiede ulteriori lavorazioni → (Come a freddo)

↳ dove non è richiesta specifica rugosità superficiale

V di ossidazione più lenta

↳ Ma comunque si cerca di lavorare in atmosfera riducente

↳ Forno attaccato a macchina (Amb. riducente)

↳ Stampato immediatamente uscito dal forno

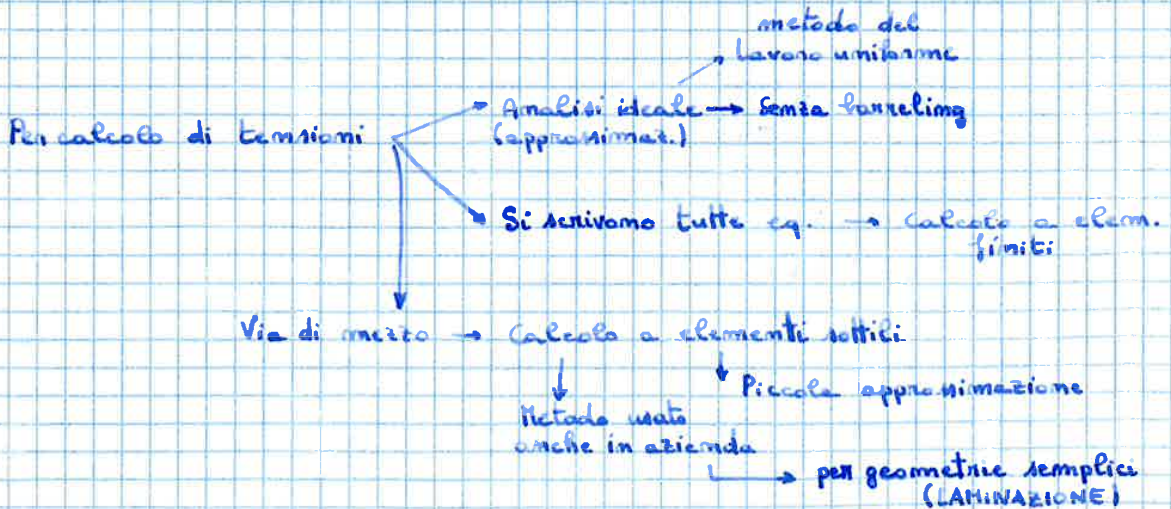
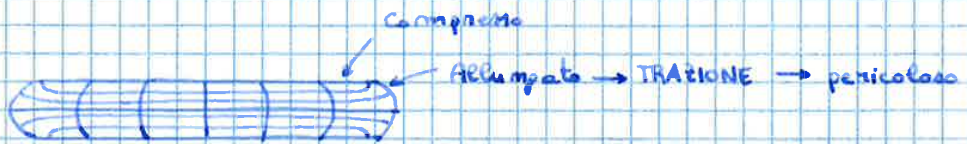
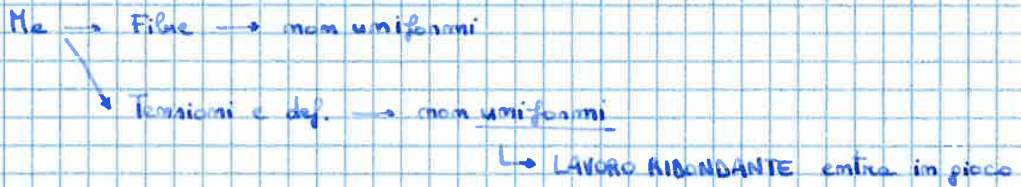
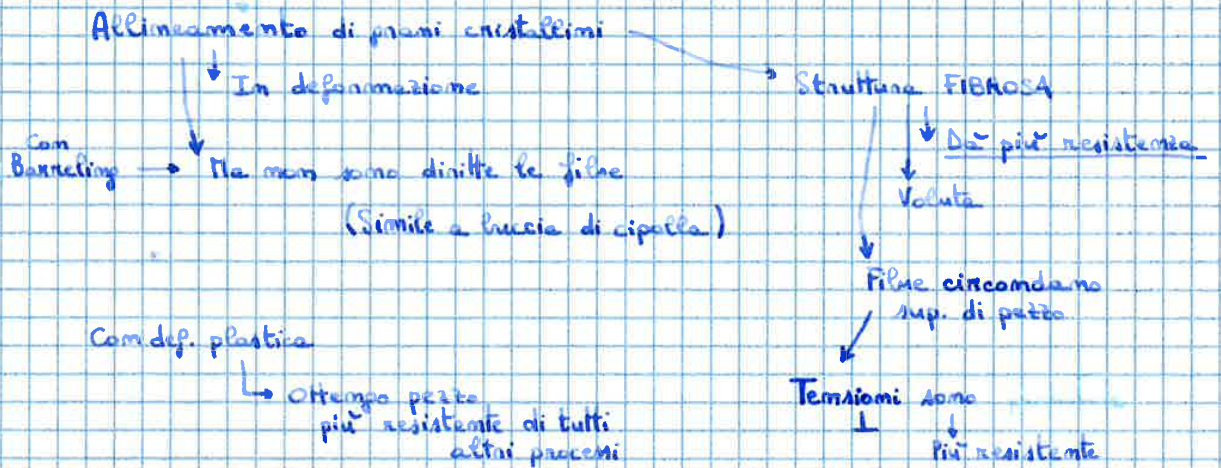
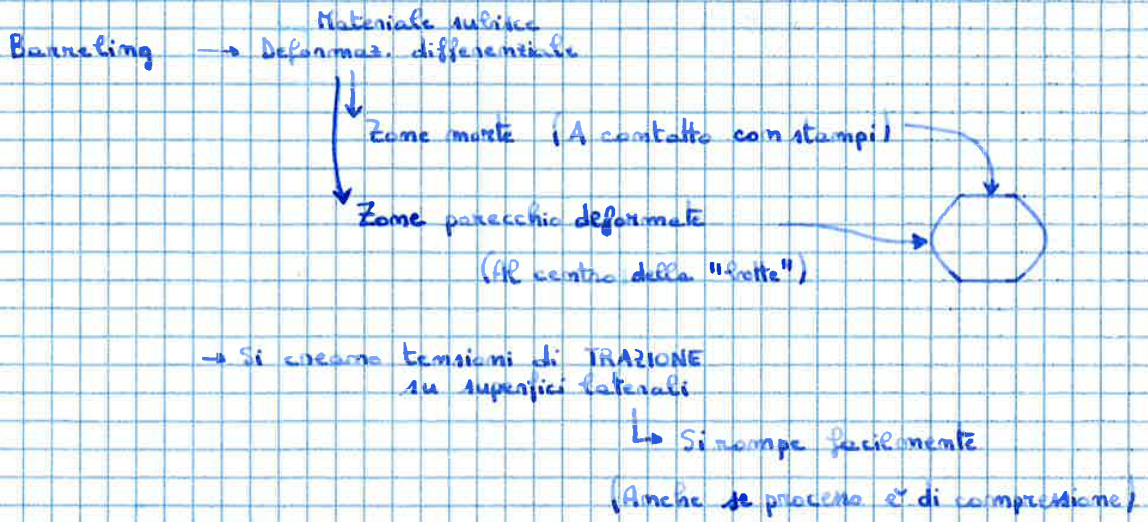
↳ Non ha tempo per ossidarsi

Svantaggi

→ Conosciuti da pochi

→ Macchinari simili a stampaggio a freddo

→ Solo pezzi assialsimmetrici (non troppo complessi)

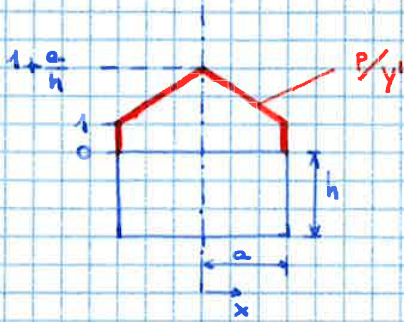


Attriti per adesione

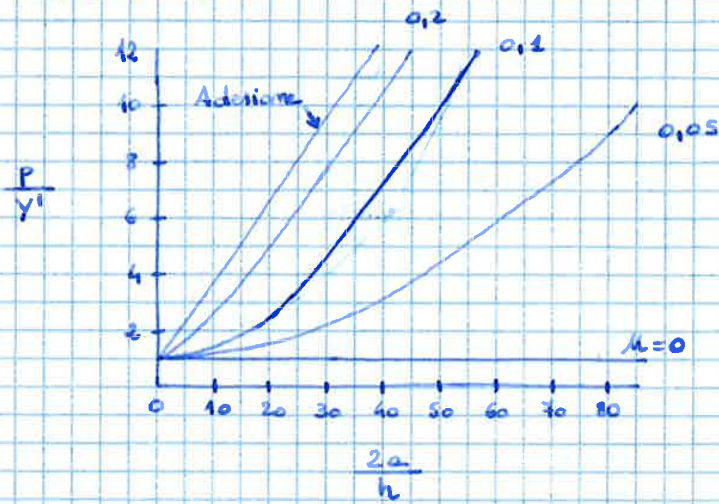
↓ Coefficiente degli attriti

↳ È lineare → Una retta

$$p = \gamma' \left(1 + \frac{a-x}{h} \right)$$



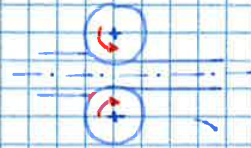
Effetto dell'attrito



LAMINATOIO A DUO SEMPLICE

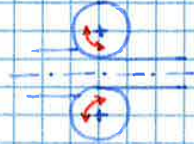
Uso a caldo di solito

↳ Eliminazione necessaria



LAMINATOIO A DUO REVERSIBILE

↳ Può invertire verso di laminazione



LAMINATOIO A QUARTO

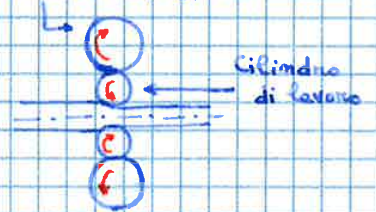
Molto usato - A Freddo

- Più rullo è piccolo → Meno forza impiegata

↳ MA
Si deforma sotto azione di forza

↳ Si appoggia sopra un rullo più grosso per non far deformare il rullo più piccolo

Cilindro di appoggio



METODO SENDZIMIR

Per lamiere sottili (FOGLI)

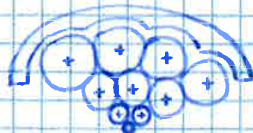
[Piatto - Lamiera - Foglio]

Serie di rulli d'appoggio → per dar rigidità

- rulli condotti
- rulli motore

- rulli di lavoro → Molto piccoli

Tutto in
galbia
di
laminazione



$$\dot{V} = v \cdot A = v \cdot h \cdot W = \text{cost.}$$

$$v_0 \cdot h_0 \cdot W_0 = v_1 \cdot h_1 \cdot W_1$$

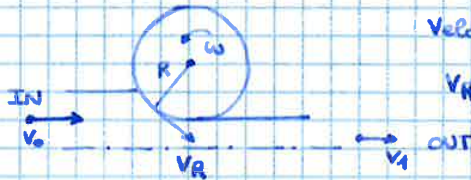
$$\frac{v_1}{v_0} = \frac{h_0}{h_1}$$

→ Riducendo spessore di uscita
↓
v di uscita aumenta

Se $h_1 = \frac{h_0}{2}$

$$v_1 = v_0 \cdot \frac{h_0}{h_1} = 2 v_0$$

- Rulli ruotano a velocità costante ω



Velocità periferica di rullo
 $v_R = R \cdot \omega$

PRECESSIONE →

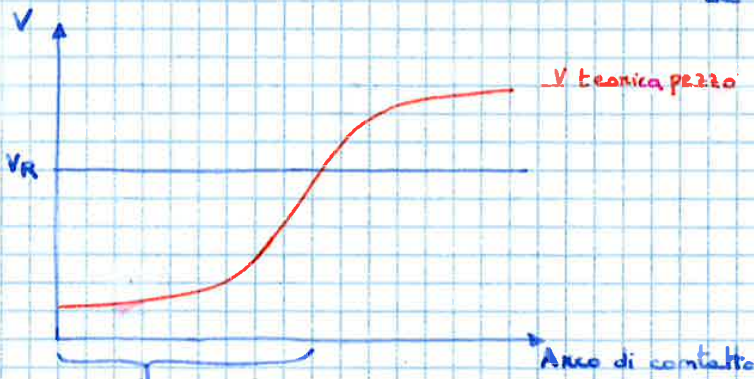
$$P_R = \frac{v_1}{v_R}$$

È circa 1,1 di solito

Rapporto tra v in uscita e v di rullo

v sono diverse → Materiale strisciante

↳ v di materiale aumenta progressivamente da ingresso a uscita



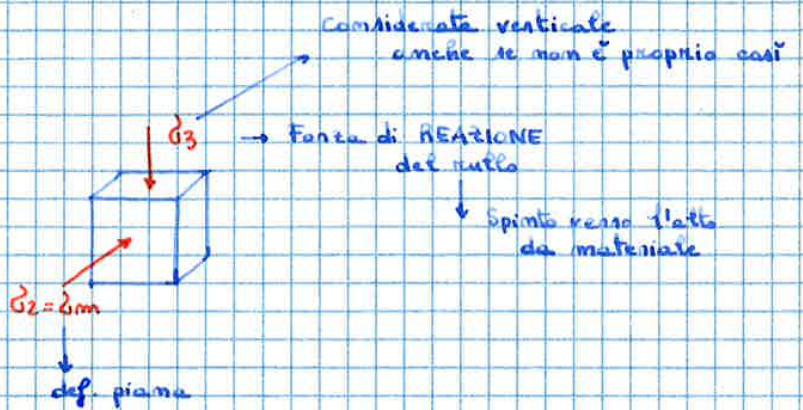
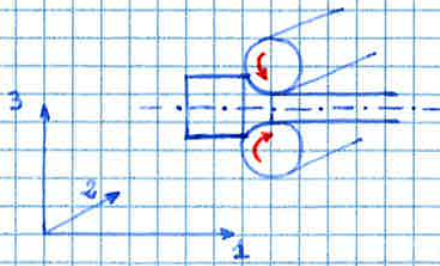
Rullo più veloce → Trascina materiale per attrito

→ In più Mat. acquista velocità per riduz. di spessore

Dopo incrocio → Rullo frena il materiale

↓
che però continua ad accelerare

Dimensionamento energetico



Se non c'è attrito $\rightarrow G_1 = 0$

Caso SENZA ATRITO

Pressione su sup. di rullo \rightarrow distribuzione uniforme

$$P_m = -G_3$$

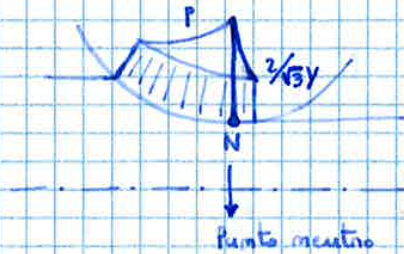
$$G_1 - G_3 = \frac{2}{\sqrt{3}} \gamma$$

Criterio di von Mises per ammassamento

$$P_m = \frac{2}{\sqrt{3}} \gamma$$

A causa di deformazione piana (Altrimenti $P_m = \gamma$)
(\downarrow Aiuta in resistenza)

CON ATRITO



(Calcolo con elementi sottili)

Integrando equazione differenziale si ottiene

$$P_m = \frac{2}{\sqrt{3}} \gamma \left(1 + \frac{1}{2} \frac{\mu L}{h_m} \right)$$

Con approssimazioni

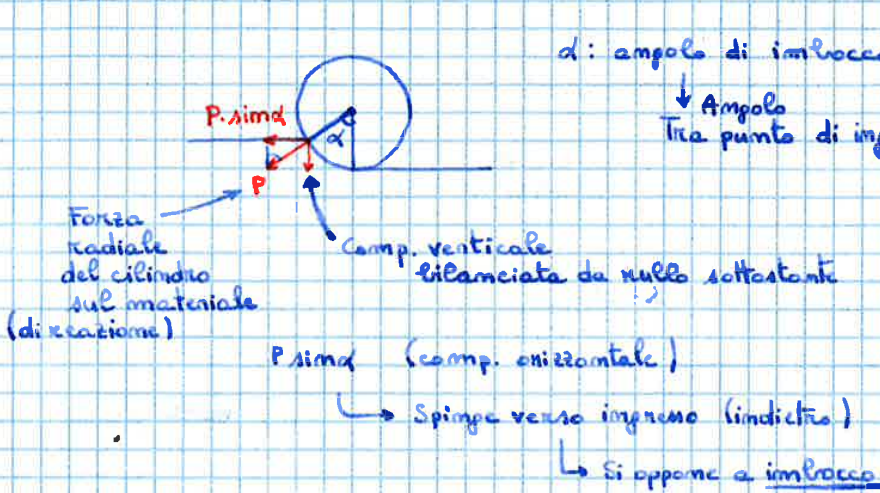
Maggiorazione dovuta ad attrito

Andam. lineare di pressione



h_m : spessore medio (con punto neutro a metà di arco di contatto) per approssimaz.

Condizione di imbrocco



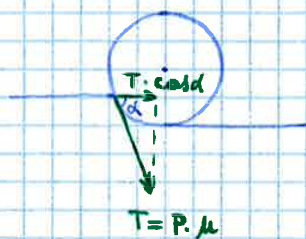
α di
 d: angolo di imbrocco (laminazione)

↓ Angolo
 Tra punto di ingresso e di uscita

↓ Pensato sulla
 verticale

(Anche se in realtà non è così per deformaz. di materiale)

Ma forza tangenziale di attrito si porta dietro il materiale



Comp. verticale → Bilanciata da attrito sulla

Comp. orizz. ($T \sin \alpha$)

↳ Trascina mat. verso uscita

Cond. d'imbrocco → affinché il materiale avanzi

$$\mu \cdot P \cdot \cos \alpha \geq P \sin \alpha$$

- Se sono uguali → No accelerazione
- Altrimenti → Accelera il materiale

$$\mu \geq \tan \alpha$$

Condizione di trascinamento

Mat. già entrato nei rulli

↓ Come prima le componenti orizzontali si devono bilanciare

- Ora però nel PUNTO NEUTRO → Angolo di apertura: α'
 ci troviamo

↓ In buona approssimazione $\alpha' = \frac{\alpha}{2}$

$$\mu \geq \tan \left(\frac{\alpha}{2} \right) \rightarrow \text{Serve meno attrito}$$

Cond. d'imbocco
 $\mu \geq \tan \alpha \approx \sqrt{\frac{\Delta h}{R}}$

$\mu^2 \geq \frac{\Delta h}{R}$

$\Delta h \leq \mu^2 \cdot R$

MASSIMA RIDUZIONE
 DI SPESSORE
 AMMISSIBILE

Ma industrialmente non viene rispettata

Dipende molto da CONDIZIONI di processo

Noi abbiamo fatto molte approssimazioni

Su base di questo principio

NON si usa lubrificante in laminazione

servono rulli grandi rispetto allo spessore del materiale

R grande

A volte fatti anche dentini su rulli

↑ aumentano μ
 Aumento trascinamento

Varie ed eventuali

Laminat. a caldo → RICRISTALLIZZANO i grani

grani più fini dopo la laminazione

↳ Tanti grani di piccole dimensioni

↑ resist. e propr. meccaniche migliori

I rimpatti venivano laminati

↑ mat. con caratt. meccaniche migliori

Colata era preferibile IN CONTINUO

Forma isotropica o fusa

metallo pastoso

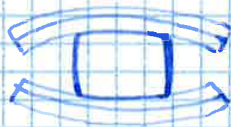
meno costosi ma qualità meccaniche inferiori

Ultimam. più usata per via del costo minore

↳ Grani grossi

Gb mi causa → avere forza di attrito maggiore
 ↓
 Ma diminuisce pressione
 ↓
 Si USA di norma in laminazioni a freddo → che necessitano pressioni maggiori

Rullo → Trave caricata al centro
 ↓
 Lungo 3 metri
 ↳ FLESSIONE (Elastica) → Al rullo non succede nulla
 ↳ Si flette di 2-3 mm (freccia max.)



Per materiale in laminat. → può cambiare molto spessore tra zona centrale e periferia

Si strappa o si ondula il materiale
 ↳ V. diverse → esterno più veloce

Per compensare effetto

1. Trattamento di CAMBER
 (Campamatura)

↳ Pareti vengono lornbate "TAVOLE"
 ↳ Superfici esterne dei rulli
 ↳ Sotto flessione diventano PIANE
 (freccia)
 Ma flessione dipende da CARICO

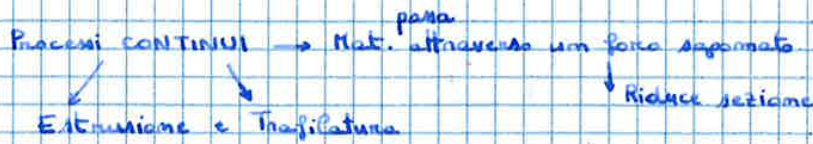
Si mette un camber che vada in media BENE
 ↳ In base a materiale
 ↳ In base a spessore ecc.

2. In più RULLI DI APPOGGIO → Molto più spessi → Impediscono flessione

3. Poi si aggiungono forze (bending)

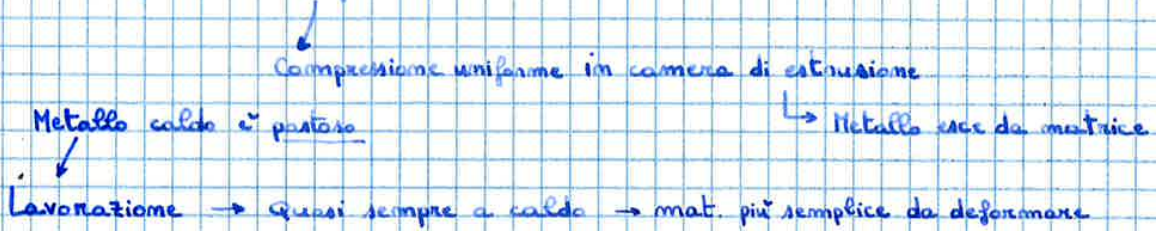
Da qualche mm a 1/10

Con cilindri idraulici detti di "bending"
 ↳ Per bilanciare piegatura di rullo
 ↳ o forzarla se necessario

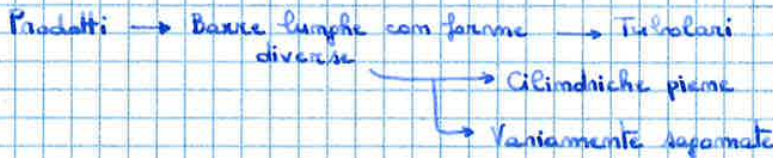
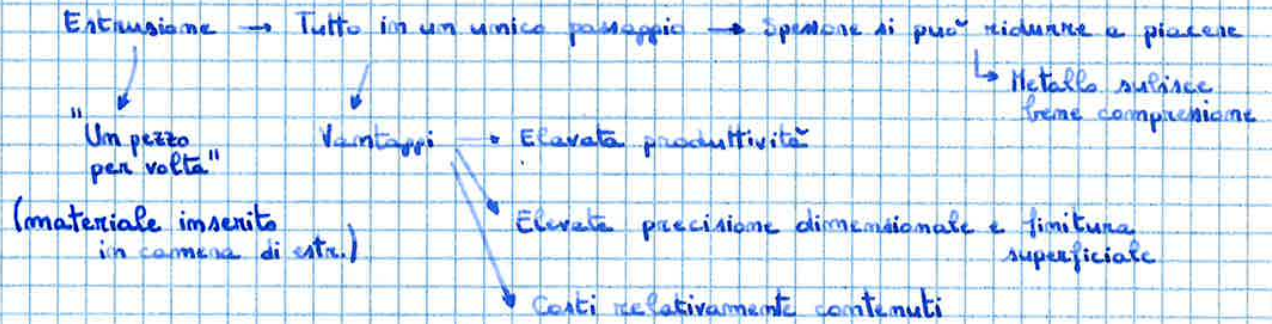


ESTRUSIONE

Come si fa uscire dentifricio dal tubetto



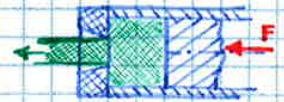
(Laminat. → Successione di passaggi successivi)



Estensione → **DIRETTA** → variabilità di materiale da zona a zona

Mat. in camera di estrusione

↳ Pistone lo fa uscire da foro sormato (MATRICE)



↳ Stessa direzione di conico e di materiale

INVERSA → Pistone rappresenta matrice anche

↳ Ha fori → materiale esce estruso in direzione opposta a moto di pistone (spintore)

Materiale più uniforme → No problema di zone morte

↳ **HA COSTA DI PIU'**

↳ Pistone / matrice molto costoso

↳ carichi dinamici
 ↳ serve duttile

↳ Caricata e usata una dev'essere

↳ Trattamenti differenziati