

Macchine motrici: Trasformano energia naturale in lavoro meccanico
(idrauliche, termiche, elettriche)

operatrici { tecnologiche
per industrie varie
sollevamento e trasporto

Mecanismo sistema di organi atti a trasformare in movimento in un altro unico e determinato

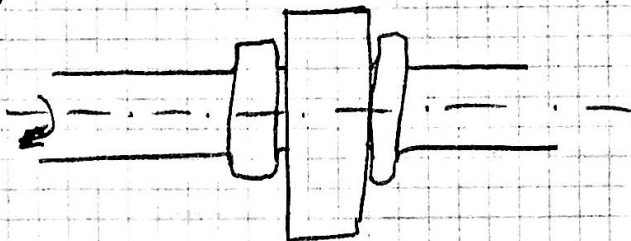
organi = parti della macchina $\Rightarrow$ { collegamenti fissi (viti...) / accoppiamenti liberi (cerniere)

Le superfici di contatto sono gli elementi cinematici di una coppia

Coppia insieme di due elementi cinematici il cui moto relativo è unico e determinato

coppie indipendenti (ad es. una prismatica)

coppie dipendenti quando deve esserci un'altra coppia perché non possa sussistere es.:



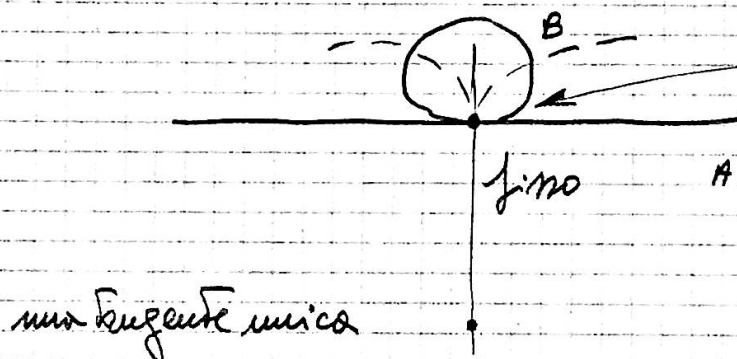
se non ci fossero i bordi non avrebbe 2 gradi di libertà e non si avrebbe più una coppia

Misura dei contatti

Ragionando per comodità sul "moto relativo" si ha

- 1) Velocità ^{relativa} di due P: a contatto nullo: rotolamento

la traiettoria del Pto di contatto presenta un represso

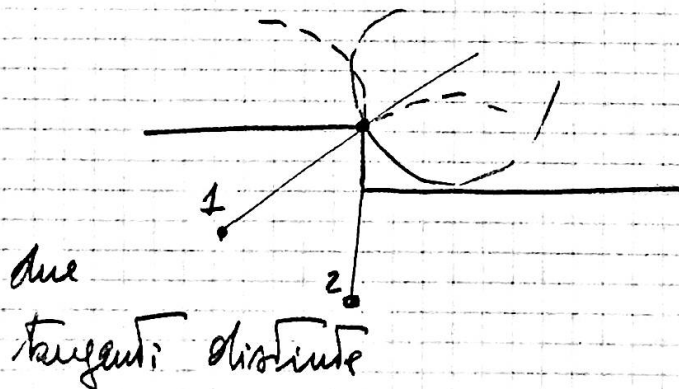


- 2) Velocità relative di due P: a contatto diversa ma contenute nel piano T_p comune strettamente

la traiettoria del Pto di contatto è T_p alla superficie
(slitta in una guida)

- 3) Vel. rel. di due P: a contatto diverse non nel piano T_p

moto la traiettoria ha un Pto angolare



Copie cinematiche elementari: sono costituite da elementi ②
rigidi con superfici di contatto identiche e combacianti:

① Prismatica

② Rotoidale $\left\{ \begin{array}{l} \text{rotante} \\ \text{spingente} \end{array} \right.$ Regione $\perp$ asse rotante
Regione $\parallel$ " "

③ Elicoidale a piano o cono direttore [Vite, madrevite]

Copie superiori per esclusione tutte le non elementari

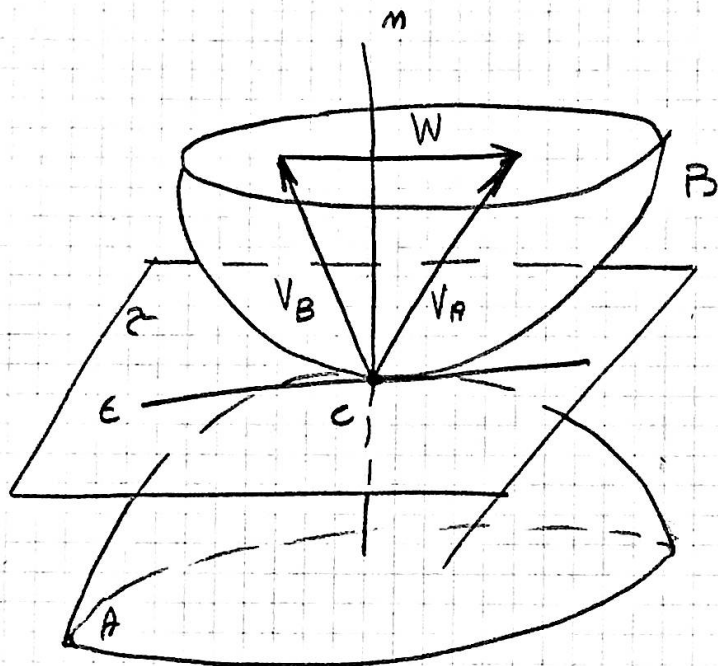
ad es. le non rigide (cinghie)

Il moto relativo è il risultante di

moto di strisciamento sul piano π comune

" " rotolamento attorno ad un asse giacente in quel piano

" " rotazione " " " " $\perp$ a " "



Perché non ci sia
compenetrazione o
distacco V_{Am} e V_{Bm}

devono essere uguali,
o anche $W = V_A - V_B$

deve essere $\parallel \tau$

① Coppie piane superfici cilindriche

il moto relativo è $\parallel$ ad un piano fissa
ed è una successione di rotazioni istantanee attorno ad assi
 $\perp$ al piano fissa [assi di istantanee rotazione]

centri di istantanee rot. : intersezione assi di istantanee rot.
col piano fissa

polare fissa luogo dei centri di istantanee rotazione considerato
solidale col profilo fissa

polare mobile idem considerato solidale col profilo mobile

NB le due polari rotolano solamente tra di loro
senza le primitive della coppia

(3)

② Coppie sferiche hanno un po o fino
o centro moto sferico

il moto e' una successione di rotazioni istantanee attorno a rette p uscenti da O

queste rette considerate solidali col membro fmo e col mobile fanno due coni detti primitivi con rotolamento puro

③ Coppie generali

il moto e' una successione di moti istantanei elicoidali attorno ad un as che muove continuamente di posizione

Il luogo degli as e' una rigata

{ rigata fma
rigata mobile

|| tra esse non si ha strascinamento in senso normale ma solo lungo la generatrice di contatto

piu' coppie collegate fanno una catena cinematica

meccanismo : catena cinematica con un membro fmo detto Telaio

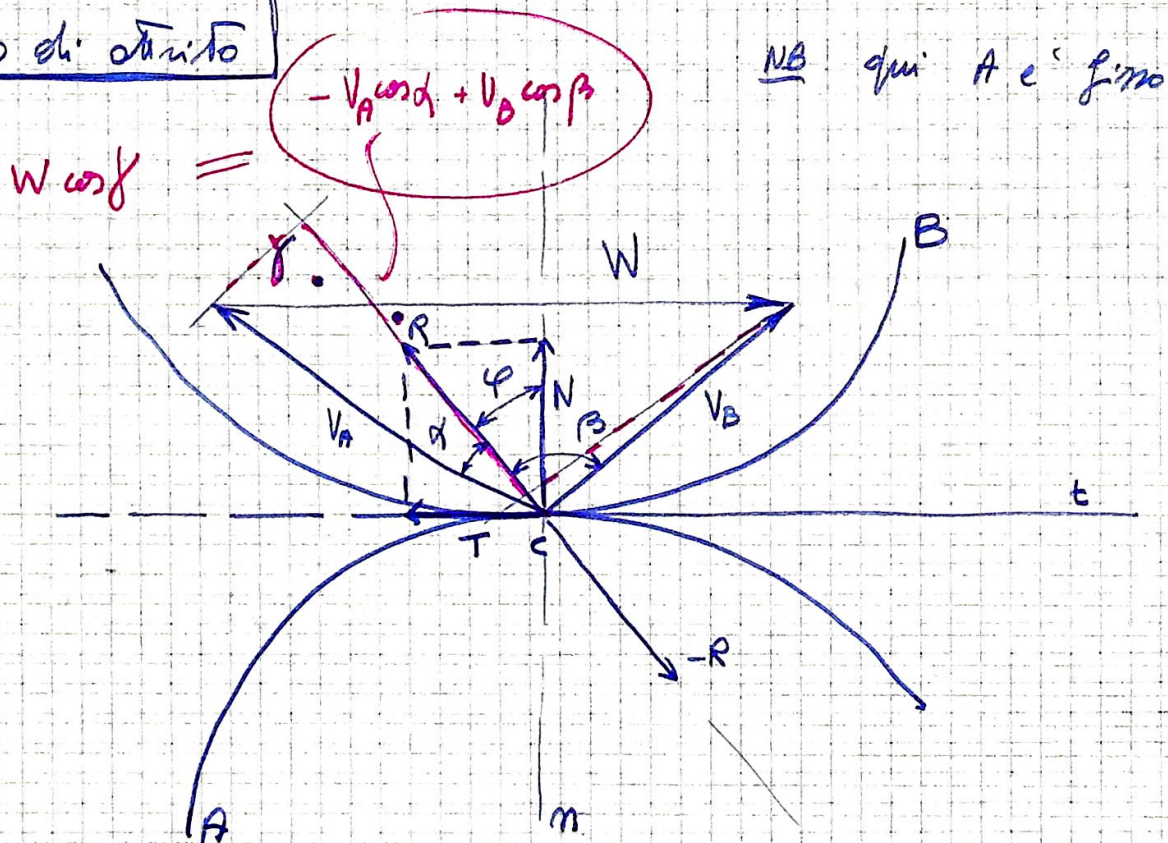
Attrito radente e sue forme

l'azione è uguale alla reazione ma contraria $\rightarrow$

$\rightarrow$ le forze interne sono uguali due a due, giacenti sulla stessa retta ed opposte.

ci interesseremo le azioni di contatto

lavoro di attrito



i lavori compiuti da R e $-R$ sono ~~per~~

R per le variazioni degli spaz. lungo R

gli spaz. sono $V_A \cdot dt$ e $V_B \cdot dt$

quindi i lavori sono

$$R V_B \omega \beta \, dt \\ - R V_A \omega \alpha \, dt$$

$\Rightarrow$

$$L_p = R \underbrace{(V_B \omega \beta - V_A \omega \alpha)}_{W'' \cos \gamma} \, dt = R W \cos \gamma \, dt$$

ma $\cos \gamma = \sin \varphi \rightarrow L_p = R W \sin \varphi \, dt =$

$$= \cancel{T} W \, dt = (N \, f_{\varphi}) W \, dt = (f N) W \, dt$$

dove $\boxed{f = f_{\varphi} = \frac{T}{N}}$

φ angolo di attrito

Se il po di contatto non è un po il lavoro fornito è l'integrale dei lavori elementari in linee el. o su superfici el.

definiamo: pressione specifica

$$p_m = \frac{N}{\ell} \quad (\text{per carico lineare})$$

$$p_m = \frac{N}{S} \quad (\text{per carico superficiale})$$

L'attrito dipende da

- condizioni locali: superfici, natura materiale, lubrificazione, geometria incisa
- lubrificazione
- condizioni dinamiche (pressione specifica, velocità, temperatura)

Attrito

① Seco

superfici asciutte - lubrificazione nulla
ingranamento reciproco asperità

segue la legge sperimentale di Coulomb Morin

② Untoso

superfici appena unite (epilaminari)

contatto indiretto superfici

è importante la oleosità: attitudine a produrre
adsorbimento

- dipende e dal lubrificante e dal materiale

non legge per f_c

③ viscoso o fluido superfici non parallele $\Rightarrow$

$\Rightarrow$ presenza del "meato" film lubrificante

e' importante la viscosità

che segue la legge di Reynolds

$\exists$ casi di semi-seco e semi-fluido

On la deviazione e' una proprietà di difficile definizione e misurazione

Attrito fra superfici asciutte

Legge di Coulomb e Morin

- ① il coefficiente di attrito allo strisciamento dipende dalla natura dei materiali a contatto e dallo stato di levigatezza ~~delle~~ delle superfici
- ② e' indipendente dalla velocità e dall'estensione delle superfici a contatto

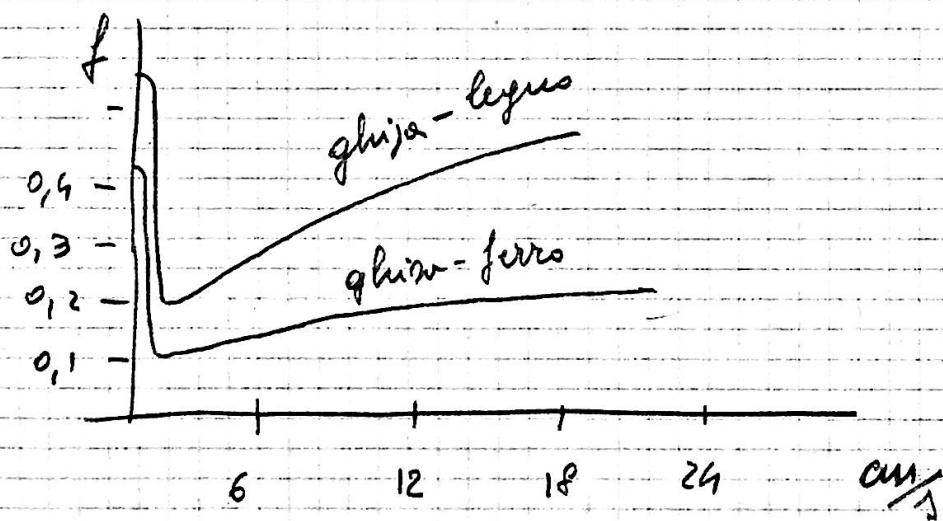
$$\Rightarrow T = f \cdot N \quad T \text{ dipende solo da } N$$

cio' non vale se ν e' piccola (spunto iniziale dove f e' 2 ÷ 2,5 volte di piu' che dopo)

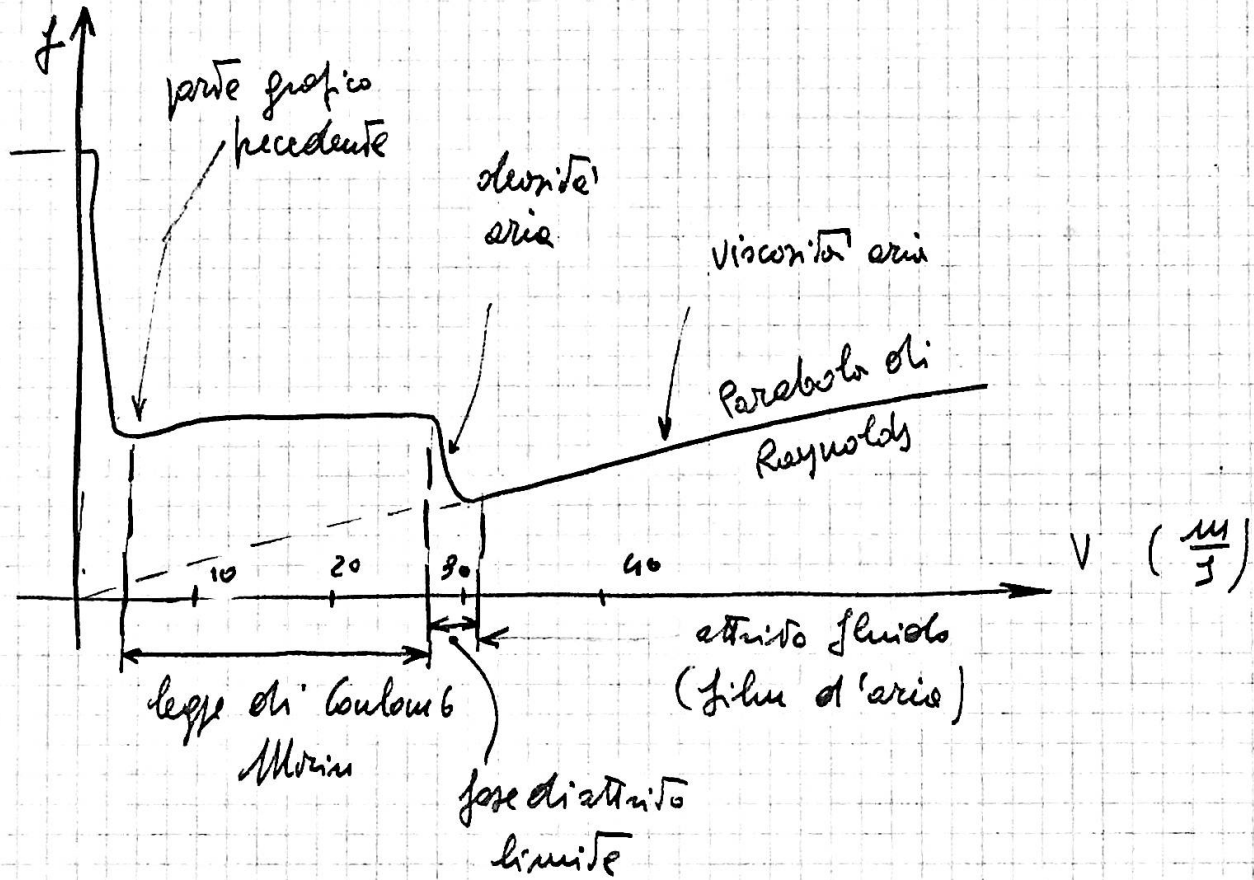
$$\text{va bene per } 0,5 \leq \nu \leq 5 \quad \frac{m}{s}$$

per velocita' piu' elevate prima diminuisce, poi aumenta ancora

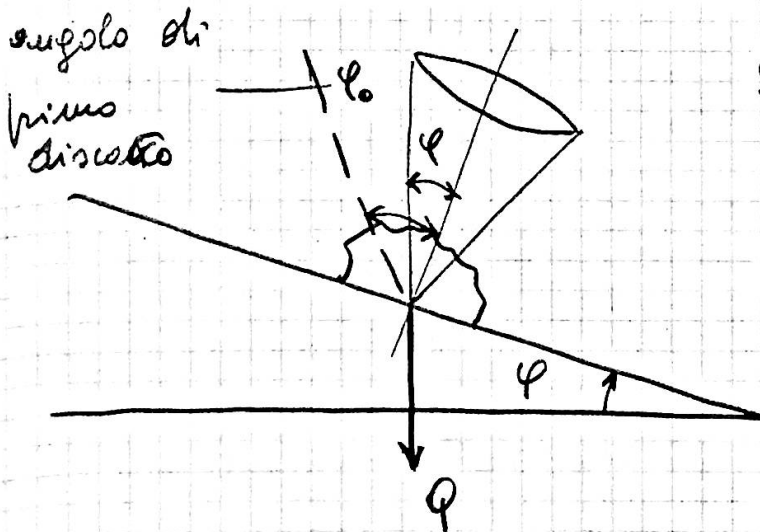
L'esperienza dice



si tratterebbe un grafico con un maggior campo di ν velocità.



metallo su metallo	$f = 0,15 \div 0,3$
" " legno	$f = 0,3 \div 0,4$
ferro su metallo	$f = 0,35 \div 0,5$



1) retta di Q dentro il cono:
no fermo

2) sul cono $v = \text{cost}$

3) fuori accelera

NB il cono e' circolare se il mezzo e' omogeneo (No per il legno)

Atrito mutuo

constatazioni:

- una goccia si distende tanto più quanto più debole è la tensione superficiale dello olio rispetto alla superficie

- la pellicola oleosa è difficile da staccare meccanicamente → la superficie è unta

untuosità: aderenza lubrificanti alle superfici

oleosità: attitudine a favorire il fenomeno di untuosità

≠ centri attivi: (valenze non soddisfatte) con notevole affinità per i metalli

centro attivo: gruppo carbossilico

(con Wood)

l'untuosità aumenta col grado di omogeneità, col volume molecolare, con l'anisotropia della molecola

Se epilamini sono solidi (non c'è moto relativo atomi)

(con Trillet)

① la oleosità è allo stato latente (c'è solo quando l'olio viene a contatto col materiale)

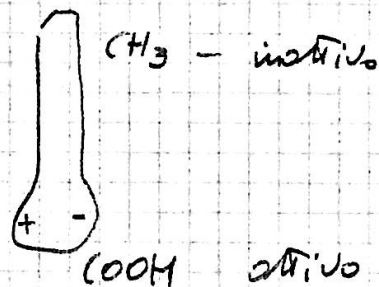
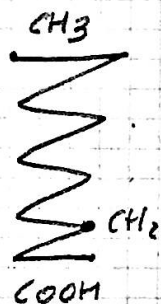
molecola attiva

mol. non attiva

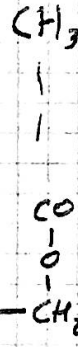
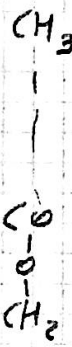
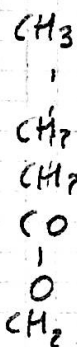
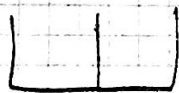
Quel senso

(+) (-) dipolo (7)

le molecole sono di questo tipo:



oppure

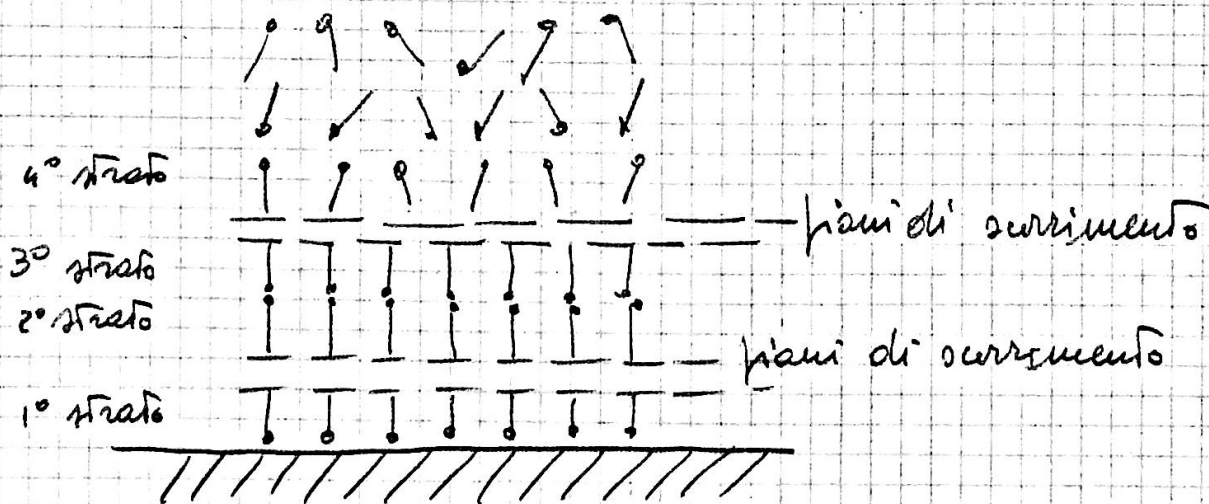


Gruppi metilici
(inattivi)

Radicali
glicerici
(attivo)

Costituzione epilaumina

si formano strati monomolecolari adsorbiti dalla superficie
(dovuti al campo emanato dalla superficie)



altezza molecola $30 \text{ \AA} = 30 \cdot 10^{-7} \text{ mm}$

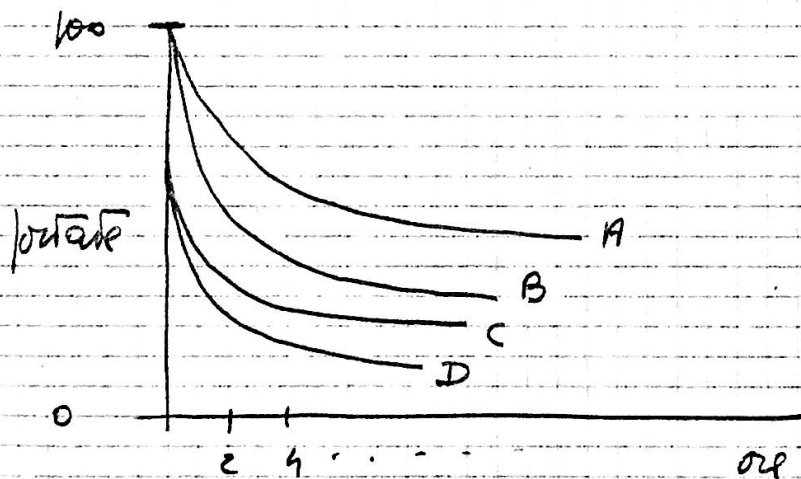
epitamine $\cong 100 \text{ \AA}$

l'epitamine si può rompere per compressione

" " " " lacerazioni per graffi di superficie

È il fenomeno di "Clogging" (ostruzione molecolare)

Con foro di $3/10 \text{ mm}$ si hanno i seguenti grafici
della portata



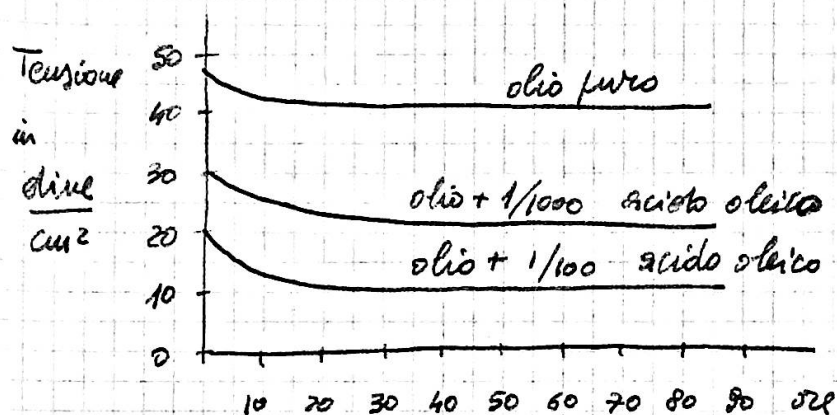
A vetro

B manguesse

C stone

D ferro puro o acciaio

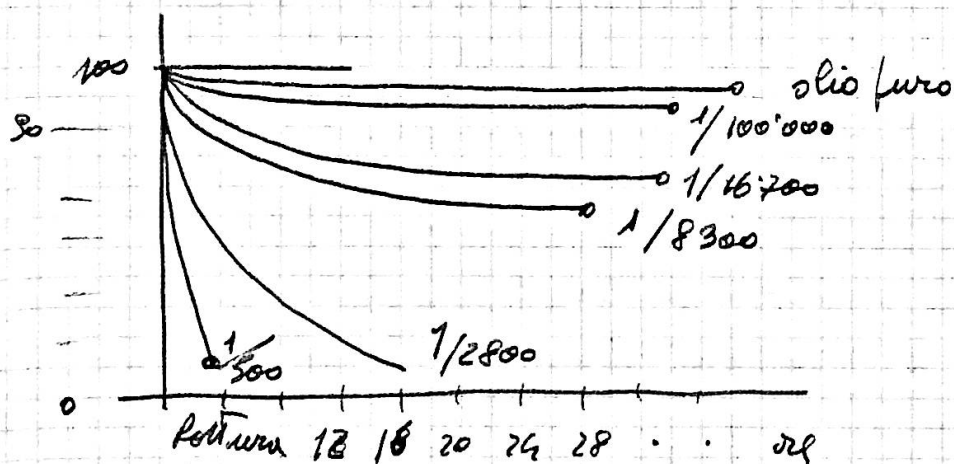
Se mettiamo una goccia d'olio su acqua e misuriamo la tensione superficiale osserviamo



l'olio si diffonde sull'acqua formando uno strato adsorbito
questo metodo è molto sensibile (rivela la presenza di $1/100'000$ di attivante)

l'alterazione di un olio si manifesta anche con una diminuzione della tensione interfacciale

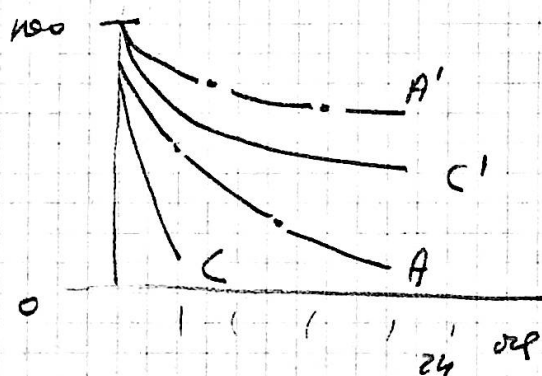
Il Trillat ha fatto i seguenti grafici sperimentalmente (una parte sono fatti per interpolazione)



peso un olio ad es. $\frac{1}{3000}$ si butta in una sfera di metallo
che adsorbe una parte di molecole attive $\rightarrow$ l'olio rimane

improvvisamente; nel grafico stesso (magari per interpolazione) la nuova curva - $\Rightarrow$ posso calcolare il n° di mol. adsorbite

- o l'esperienza è significativa se fatta con un filtro, componente indispensabile per i motori: esso improvvisamente l'olio di componenti attivi -



con un filtro si passa da

$C \rightarrow C'$

$A \rightarrow A'$

analoghi risultati si hanno per filtrazione per capillarità con uno stoppino

Gli idrocarburi paraffinici formano una epilamina per influenza elettrostatica, ma essa è piuttosto debole $\Rightarrow$

$\Rightarrow$ si rende necessaria la attivazione degli oli minerali

si aggiunge tanto attivante quanto basta per formare la epilamina. Eccesso è dannoso perché le molecole attive sono instabili e sono facili a ossidazione e irradiazione

attivanti

acido oleico

esteri di acidi organici

nitrili alifatici

nitrato-aromatici

ammine

composti dello zolfo

no (9)

gli idrocarburi di una stessa serie pur differendo molto per n_{H} pesanti, finché hanno molte somiglianze chimicamente

- stabilità chimica
- alto indice di viscosità (puole cadute di viscosità all'aumentare di n)
- attività o polarità molecolare (sinonimo di elevata oleosità)

elementi strutturali importanti

grado di saturazione della molecola (è a favore della stabilità ma contro la oleosità)

Tenore in idrogeno (favorisce la stabilità e l'indice di viscosità)

conformazione catena atomica se aperta è più stabile (influisce sulla stabilità)

i paraffinici abbondano in Pennsylvania

i naftenici " " California (Gulf Coast)

le olefine

hanno il tenore in H_2 dei naftenici ma sono inga-
ture a catena aperta: sono un ottimo compro-
messo

gli asfalti sono i peggiori:

catena chiusa
basso tenore in idrogeno
insaturazione

Miglioramento superfici

1) attivazione con sulfurazione e carburazione

- lo zolfo si può mettere nell'olio o nella parete
- per operazioni di taglio si usa olio sulfurato emulsionato in H_2O
- si può mettere ~~olio~~ grafite colloideale nell'olio:
colui i vari e già da se' e' un lubrificante solido

2) nitrurazione con piccole percentuali di cromo

Additivi per lubrificanti

[a] antiossidazione (si formano perossidi molto attivi)

si usano composti aromatici con zolfo e fosforo

[b] antiacidità (prevengono reazioni catalizzate dalle limature sospese nell'olio)

si usano passivatori che formano uno strato isolante
sulle parti metalliche

si usano composti aromatici dello zolfo e del fosforo

[c] anticorrosione

(i' diventa soprattutto agli acidi prodotti dalla ossidazione o dalla combustione dei carburanti) ⁽¹⁰⁾

infezionano alle sostanze corrosive di toccare il metallo

[d] pro indice di viscosità

si usano polimeri alifatici che formano una struttura molecolare a rete - Se T aumenta i polimeri si allungano aumentando la difficoltà di movimento dell'olio -

Se T diminuisce succede il contrario

[e] detergenti

HD (Heavy Duty)

staccano dalle superfici i depositi carboniosi e le laccine portandoli in sospensione fine

si usano composti organici di metalli alcalini

[f] antischiuma

(molto usati in lubrificazione a perdite)

si usano polimeri ad alto peso molecolare

[g] pro carichi elevati (EP estreme pressioni)

si usano composti dello zolfo, cloro, fosforo, piombo $\rightarrow$

si formano uno strato di solfuri

molto usati per gli ingranaggi

[i] antiurto

tutto ciò che aumenta la viscosità

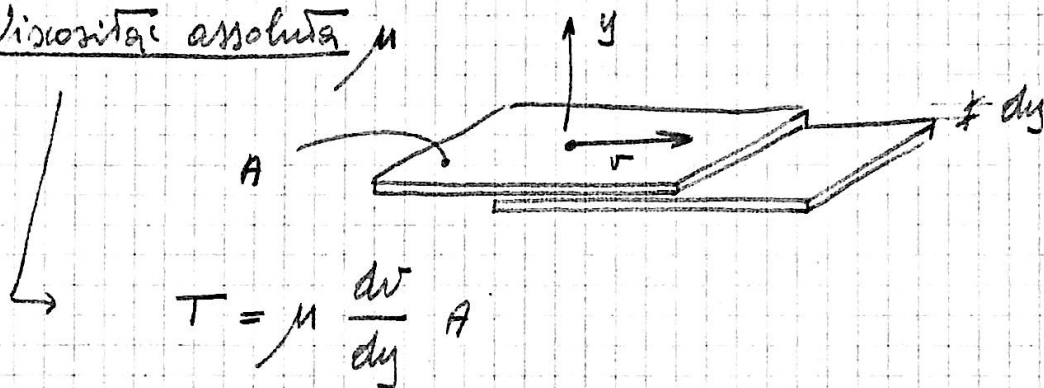
Atto fluido o Viscoso

filo da pochi centesimi di mm a pochi decimi

pellicola $\approx$ centomillesimo di mm

Viscosità

Viscosità assoluta μ



$$T = \mu \frac{dv}{dy} A$$

in mks $\frac{\text{Kg} \cdot \text{sec}}{\text{m}^2}$ o $\frac{\text{dine} \times \text{sec}}{\text{cm}^2} = \text{poise}$ o il centipoise

$$\mu = [L^{-1} M T^{-1}]$$

per misurare μ si usano viscosimetri assoluti

- Poiseuille (liquido attraverso capillari / si fonda sulla legge di Poiseuille)
- Hefler a caduta di sfera in un tubo con diam. poco maggiore (si mis. il tempo di caduta)

$$\frac{\mu}{\rho} = \text{viscosità cinematica} [L^2 T^{-1}]$$

nel cgs si esprime in stokes (o in centistokes)

nei calcoli molto usato e' il $\frac{m^2}{s} = 10000 \text{ stoke}$

(11)

per la pratica si usa la viscosita' relativa (per confronto con un campione)

a) si misura in gradi Engler = rapporto tra il tempo di colata di 200 cc di H_2O a $20^\circ C$ e quello di 200 cc di olio alla temperatura T (l'apparecchio e' standardizzato)

b) si misura in gradi Saybolt = tempo di colamento di 60 cc di olio a quella T

Le tabelle che consentono il passaggio da l'uno o l'altro la piu' importante formula e'

$$\mu = \left(0,00074 E^\circ - \frac{0,00064}{E^\circ} \right) \gamma$$

γ peso specifico

$$\mu \left[\frac{kg \cdot sec}{m^2} \right]$$

Viscosimetro di Engler

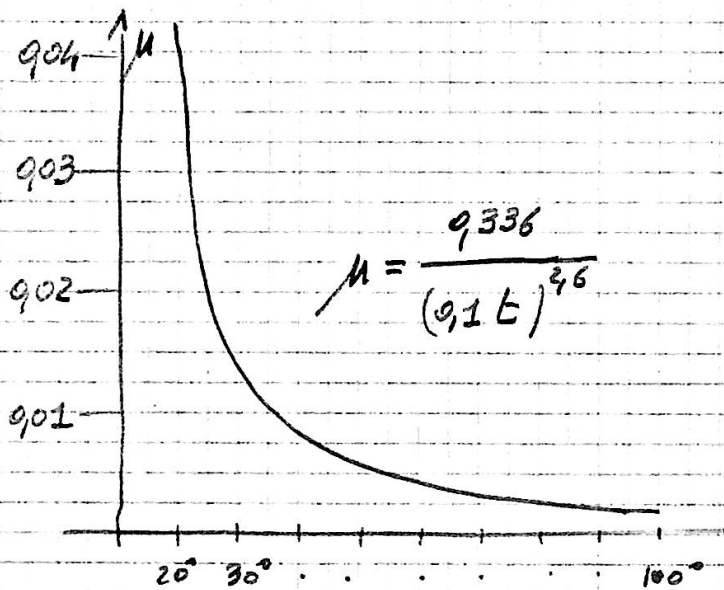
- 1) Tra funde diamo il giusto livello
- 2) Tra have che non devono differire piu' di $\frac{1}{2}$ secondo
- 3) il bagno di acqua si tiene leggermente piu' caldo
- 4) $T \approx 50 \div 52$ secondi
- 5) l'olio deve essere filtrato con un filtro 1000 mglie/cm²

per $T > 100^\circ$ di una kilolo o centilina.

Viscosità e Temperatura

per gli oli la diminuzione è più rapida alle basse e moderate temperature e più lenta verso le alte

in grafico



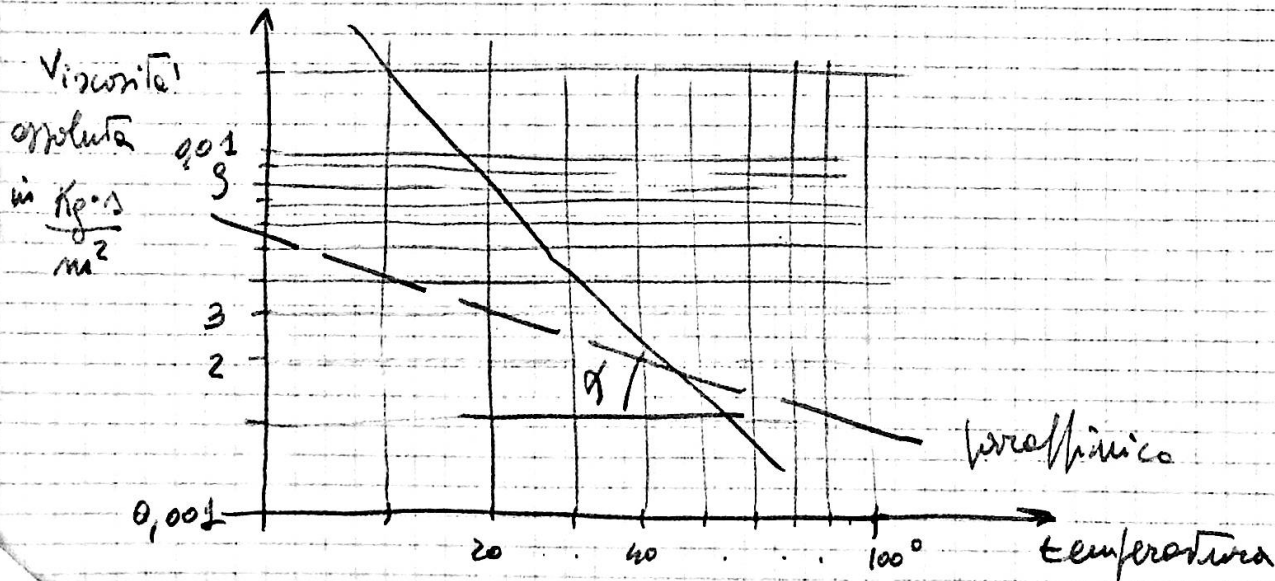
in generale

$$\mu = \frac{i}{(0.1t)^{2.6}}$$

i dipende dall'olio

in un diagramma logaritmico si ha una retta con $\alpha \approx 68^\circ$

in realtà α non è cost. ma dipende dalla natura e provenienza e dal processo di raffinazione



fin' la retta e' giusta fin' e' preferibile l'olio

Indice di viscosita'

1) diciamo $U = \text{viscosita' a } 100^\circ \text{ F in Saybolt}$

" $V = \text{" " } 210^\circ \text{ F " "}$

2) l'olio e' tanto migliore quanto fin' ruota e' $\frac{U}{V}$

3) preso un olio paraffinico (Pennsylvania) di viscosita' H a 100° F
e V a 210° F , esso e' caratterizzato da $\frac{H}{V}$

4) preso un olio naftenco (Gulf Coast) con L secondi a 100° F
e V secondi a 210° F , esso ha un rapporto $\frac{L}{V}$

definiamo indice di viscosita'

$$I = 100 \frac{\frac{L}{V} - \frac{U}{V}}{\frac{L}{V} - \frac{H}{V}} = \boxed{100 \frac{L - U}{L - H} = I}$$

U variabile in gioco

$\Rightarrow$ il paraffinico ha $I = 100$

" naftenco ha $I = 0$

NB si possono avere anche valori negativi (se $U > L$)

Polo di viscosità e altezza polare degli oli

Abbiamo una

$$\log \cdot \log (v + 0,8) = m (\log T_1 - \log T) + \log \log (v_1 + 0,8)$$

v = viscosità cinematica alla temp. T

v_1 " " " " " T_1

in un diagramma $\log T$, $\log \log (v + 0,8)$ si ha una
retta.

si ha:

① oli della stessa serie si incontrano in un po alla
sinistra del diagramma
(la sua ordinata è l'altezza polare)

② i vari oli delle varie serie stanno su una retta (retta dei poli)

⇒

a) oli della stessa serie hanno stesso polo e altezza
polare, possono differire per inclinazione

b) oli di serie diverse possono differire per altezza
polare e costante di inclinazione

- nella stessa serie sono preferibili quelli con minor coeff. angolare
- in serie diverse, quello che è fornito di viscosità ad una data temperatura, presenterà minor alterazione.

Questo metodo non è generale (vale con viscosità inferiore a 20 centistokes a 50°C) non vale per oli raffinati con solventi selettivi.

Viscosità e pressione

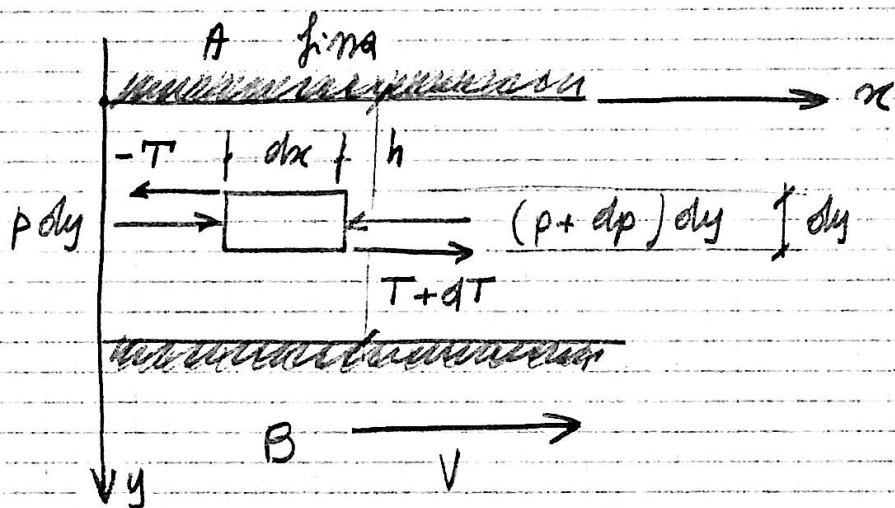
con η p aumenta molto. Si sente η $p \approx 300 \text{ Kg/cm}^2$
gli oli minerali sono più sensibili degli altri.

Teoria Idrodinamica

1) si suppone che il movimento avvenga per folde parallele
cioè in moto laminare

2) i due strati estremi hanno le velocità delle superfici

Pressione e grad p lungo il meato B



a) l'estensione lungo z non ha importanza
(si suppone indep. da z) supponiamo di prendere $z=1$

b) supponiamo $p = \text{cost}$ in una sezione $\Rightarrow$

$\Rightarrow p$ è funzione solo di x

le forze in gioco sono $p dy$ $(p + dp) dy$

con risultante $- dp dy$

con Petroff

$$T = \mu \frac{dx}{dy} \frac{dw}{dy}$$

(14)

$$T + dT = \mu \frac{dx}{dy} \frac{dw}{dy} + \frac{d}{dy} \left(\mu \frac{dx}{dy} \frac{dw}{dy} \right) dy =$$

$$= \mu \frac{dx}{dy} \frac{dw}{dy} + \mu \frac{d^2 v}{dy^2} dx dy$$

con risultante

$$\mu \frac{d^2 v}{dy^2} dx dy$$

facendo il bilancio

$$- dp dy + \mu \frac{d^2 v}{dy^2} dx dy = 0$$

da cui

$$\boxed{\frac{dp}{dx} = \mu \frac{d^2 v}{dy^2}}$$

$\frac{dp}{dx}$ = gradiente di pressione

a) se $\frac{dp}{dx}$ è nullo

v varia in ogni sezione linearmente
(diagramma triangolare)

b) integrando

$$\frac{d^2 v}{dy^2} = \frac{p'}{\mu}$$

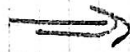
$$\frac{dv}{dy} = \frac{p'}{\mu} y + \text{cost}$$

$$v = \frac{p'}{2\mu} y^2 + \text{cost} y + \text{cost}$$

con le condizioni al contorno

$$\text{in } y=0 \quad v=0$$

$$y=h \quad v=V$$



$$\Rightarrow \cos \sigma = \frac{V}{h} - \frac{\rho'}{2\mu} \frac{h^2}{h} = \frac{V}{h} - \frac{\rho' h}{2\mu}$$

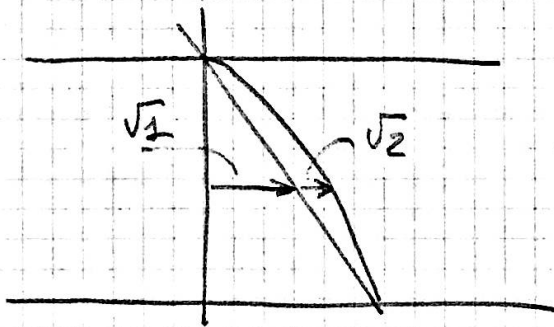
$$v = \frac{\rho'}{2\mu} y^2 + \left(\frac{V}{h} - \frac{\rho' h}{2\mu} \right) y = \underbrace{\frac{V}{h} y}_{v_1} - \underbrace{\frac{\rho'}{2\mu} (h-y)y}_{v_2} \quad *$$

$$v_1 = \frac{V}{h} y = \text{velocità di trascinamento}$$

$$v_2 = \frac{\rho'}{2\mu} (h-y)y = \text{velocità di regresso}$$

come si vede dalla * se $\rho' > 0$ v_2 va sottratta

" $\rho' < 0$ v_2 si somma



portata $Q = S V_m$ ma qui $S = h \cdot 1 = h \Rightarrow$

$$Q_1 = h \frac{V}{2}$$

$$Q_2 = h \frac{2}{3} W$$

dove $W =$ max val. velocità di regresso che si ha per $y = \frac{h}{2}$

l'ordinate media di un segmento parabolico e' $y = \frac{2}{3}$ della
ordinate max (W) $\Rightarrow$ ~~l'ordinate media~~ ^{V_m} e' $\frac{2}{3} W$

quando $y = \frac{h}{2}$ si ha $W = \frac{1}{8\mu} p' h^2$

allora $Q_2 = h \frac{2}{3} W =$

$$Q = Q_1 - Q_2 = \frac{hV}{2} - \frac{p'h^3}{12\mu} \quad \text{ricavando } p'$$

$$p' = \frac{dp}{dx} = - \frac{6\mu}{h^2} \left(\frac{2Q}{h} - V \right) = \frac{6\mu}{h^2} \left(V - \frac{2Q}{h} \right)$$

$$p' > 0 \quad \Leftrightarrow \quad V > \frac{2Q}{h}$$

cioè finché $V_m = \frac{V}{2} > \frac{Q}{h}$

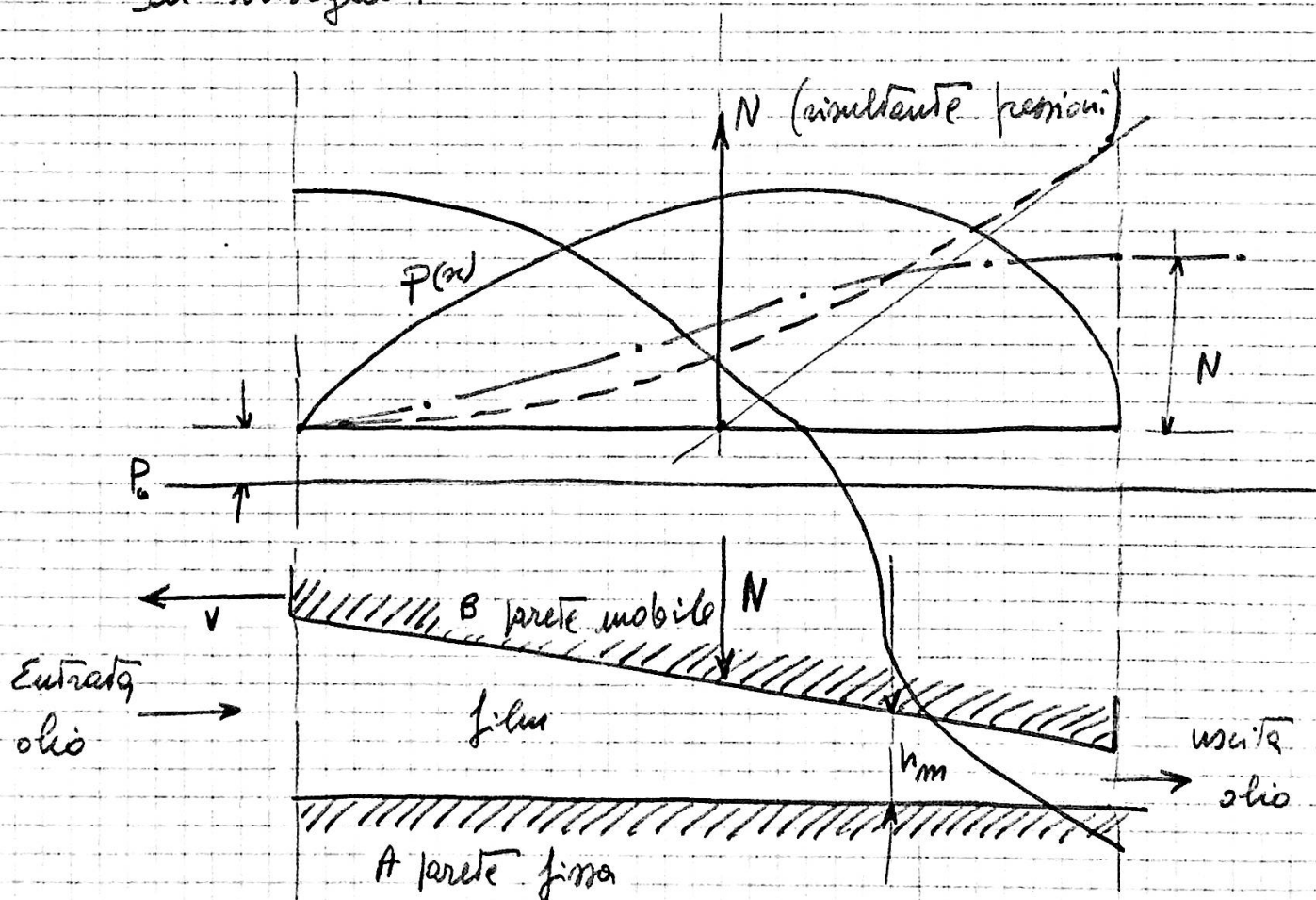
- supponiamo le pressioni all'ingresso e all'uscita uguali $\Rightarrow$
- fra 0, l (l lunghezza canale) p avrà un max
 - l'area sotto i gradienti deve essere nulla

infatti $\int p' dx = P(l) - P(0) = 0$

inoltre $N = \int p(x) \cdot dx \cdot 1$

per trovare la rete di azione si integrano e si intersecano le 2 estreme

In disegno:



quanto detto può verificarsi in un modo con la cost solo
e Q è variabile con x , infatti poiché $V = \text{cost}$ poiché

$$p' = \frac{64}{h^2} \left(V - \frac{2Q}{h} \right)$$

$Q = \text{cost}$
 $h = \text{cost}$ non possono
coesistere

poiché si avrebbe $p' = \text{cost}$, cioè p lineare in $x \Rightarrow$

$$\Rightarrow p_{\text{iniziale}} \neq p_{\text{finale}}$$

dalla figura si vede che p' è crescente in y

poiché $y \propto \frac{1}{h}$ deve essere :
 $\left\{ \begin{array}{l} p' \text{ è decrescente in } h \\ p' \text{ è crescente in } Q \end{array} \right.$

e si vuole un esemplare come quello in figura (con $p_i = p_f$)

la soluzione che si esote è quella di diminuire h
osserviamo che gli alberi rotanti si dispongono naturalmente in
questa posizione.

Moto libero nei meati a spese variabili

troviamo dove la pressione è max:

$$p' = \frac{-6\mu}{h_m^2} \left(\frac{2\varphi}{h_m} - v \right) = 0$$

da cui $\varphi = \frac{V h_m}{2}$

notiamo in $p' = \frac{6\mu}{h^2} \left(v - \frac{2\varphi}{h} \right)$ in cui

$$p' = \frac{dp}{dx} = - \frac{6\mu V}{h^2} \left(\frac{h_m}{h} - 1 \right)$$

ricordiamo che l'area racchiusa dal diagramma delle velocità esprime la portata (se la profondità è 1)

notiamo che $Q = \frac{V}{h} y - \frac{1}{2\mu} p' (h-y)y$

si vede che se $p' = 0$ (cioè $h = h_m$) il diagramma delle velocità è triangolare

* in particolare $p' = - \frac{6\mu V}{h^2} \left(1 - \frac{h_m}{h} \right)$

indici minime h''

Coefficiente di attrito cinetico fra superfici in lubrificazione fluida

si ha $\frac{1}{f_c} = \frac{T}{N}$

vediamo di trovare T e N

$$p(x) = \int_0^x \frac{dp}{dx} dx = -6\mu V \int_0^x \frac{1}{h^3} \left(\frac{h_m}{h} - 1 \right) dx$$

rendiamo adimensionale l'integrale ponendo $x = \xi l$ e moltiplicando per $\frac{h_m^2}{h_m^2}$:

$$p(\xi) = - \frac{6\mu V l}{h_m^2} \underbrace{\int_0^1 \frac{h_m^2}{h^2} \left(\frac{h_m}{h} - 1 \right) d\xi}_{B^2}$$

si ha $p(\xi) = - \frac{6\mu V l}{h_m^2} B^2$

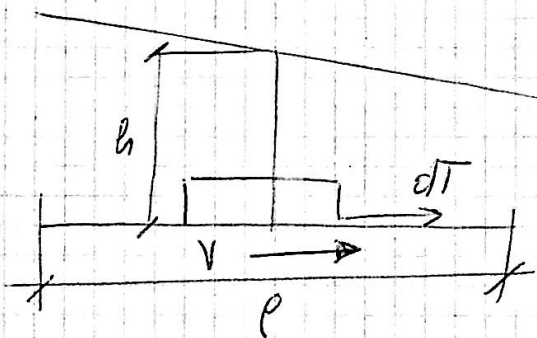
calcolo di N

$$N = \int_0^l p(x) dx = - \frac{6\mu V l}{h_m^2} \int_0^l B^2 = - \frac{6\mu V l^2}{h_m^2} \bar{B}^2 \quad *$$

NB $\bar{B}^2$ è un valore efficace

Calcolo di T

con Petroff.



$$dT = \mu \left(\frac{dv}{dy} \right)_{y=h} dx$$

derivando la $v(y)$ che avevamo: $\frac{dv}{dy} = \frac{V}{h} - \frac{p'}{2\mu} (h - 2y)$

calcolandola per $y=h$ $\left(\frac{dv}{dy} \right)_{y=h} = \frac{V}{h} + \frac{p'h}{2\mu}$

ostituendo nella $\circ$

$$dT = \mu \left(\frac{V}{h} + \frac{p'h}{2\mu} \right) dx = \mu \left[\frac{V}{h} - \frac{3V}{h} \left(\frac{h_m}{h} - 1 \right) \right] dx = \frac{\mu V}{h} \left(4 - 3 \frac{h_m}{h} \right) dx$$

poniamo $x = \xi l$ per rendere adimensionale l'integrale

$$T = \frac{\mu V}{h_m} \int_0^{h_m} \frac{h_m}{h} \left(4 - 3 \frac{h_m}{h} \right) dx = \frac{\mu V l}{h_m} \int_0^1 \frac{h_m}{h} \left(4 - 3 \frac{h_m}{h} \right) d\xi$$

dove $T = \frac{\mu V l}{h_m} C$

$$\Rightarrow \frac{1}{C} = \frac{T}{N} = - \frac{h_m}{6\mu} \frac{C}{B^2}$$

ricavo $\frac{h_m}{l}$ dalla $*$ e sostituisco

$$f_c = \frac{C}{B^2} \sqrt{\frac{\mu V}{N}}$$

Potendo $A = \frac{C}{B^2} \sqrt{\mu}$ si ha

?

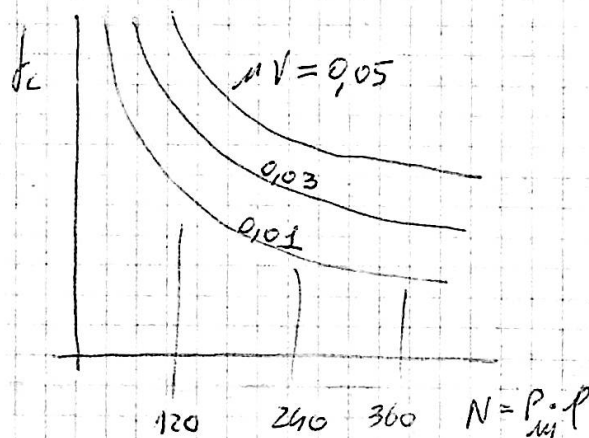
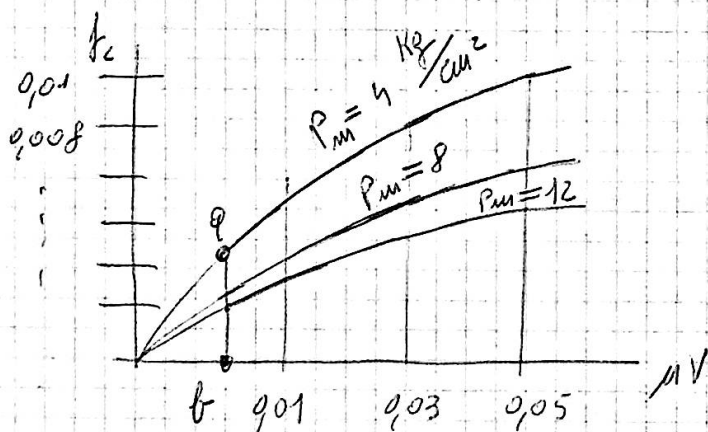
$$f_c = A \sqrt{\frac{\mu V}{N}} \quad \text{formula di Regucoldy}$$

poiché la profondità è unitaria $N = P_m \cdot l \rightarrow$

$$f_c = A \sqrt{\frac{\mu V}{P_m l}}$$

di solito si grafica con $\frac{f_c}{N}$

$\frac{f_c}{\mu V}$



di qui si deduce che

al crescere del carico diminuisce il coefficiente di attrito, μ , μV ;

al crescere di μV (quindi di V), aumenta f_c e il carico esterno

ma anche se f_c diminuisce non diminuisce il lavoro prodotto:

la potenza è

$$L = T V = f_c N V = A \sqrt{\frac{\mu V}{N}} N V = A \sqrt{\mu V^3 N}$$

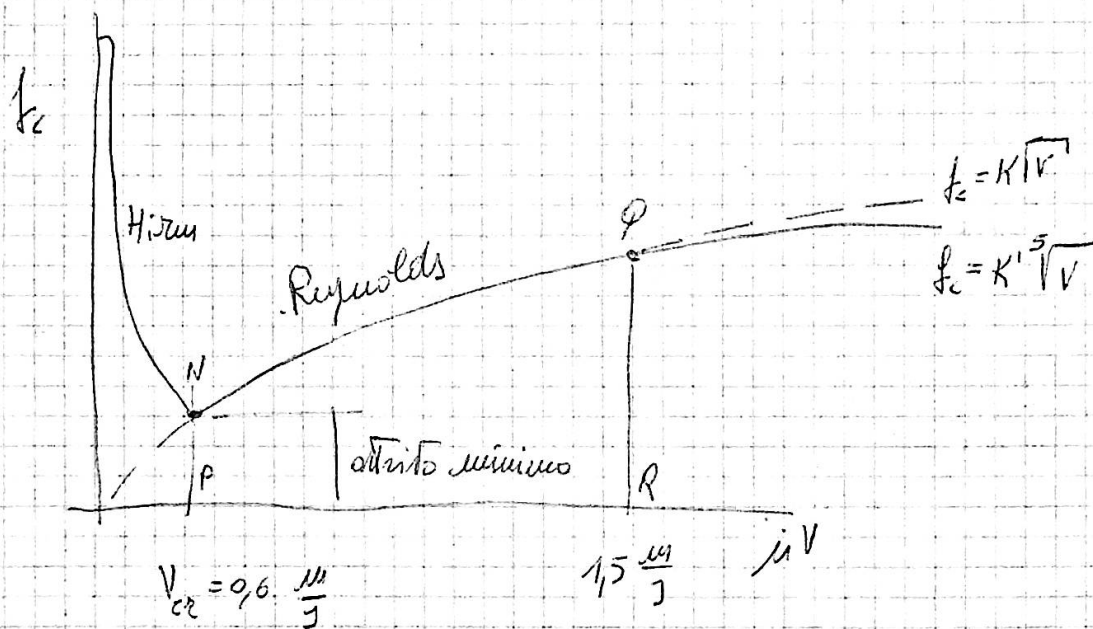
(19)

NB la legge di f_c non vale più per piccoli valori di μV

in pratica per dimensionalità motivi deve essere $V > 0,6 \frac{\mu}{J}$

0,6 è detto valore critico

L'esperienza permette di completare il grafico



per $V > 1,5 \frac{\mu}{J}$ si usa $f_c = 0,0043 \sqrt[5]{V}$

è pericoloso mantenere un regime troppo vicino a quello di f_c minimo per non rischiare di cadere per qualche irregolarità nella parte di regime ~~non~~ fluttuante instaurato o subire.

Anche l'aria (si è dimostrato) comporta come un olio per alte velocità.

Lubrificazione a granaio

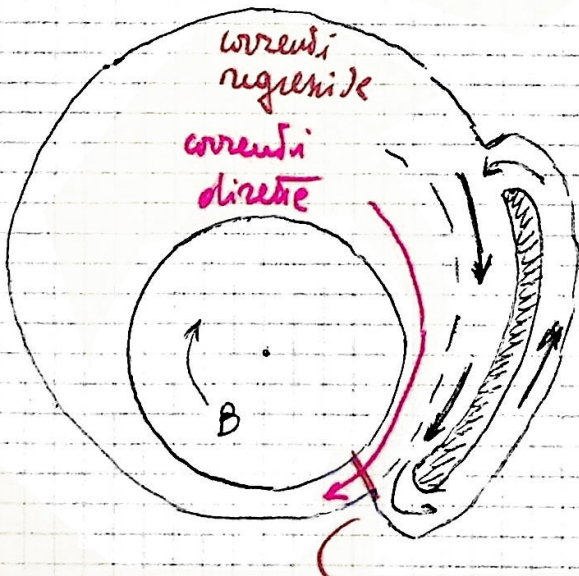
si usa

- 1) quando non si può usare olio
- 2) con superfici grossolane
- 3) superfici esposte al fulmineo
- 4) quando non deve scivolare lubrificante (filare...)
- 5) quando si hanno temperature di funzionamento elevate

Modo di agire del granaio

Si è scoperto che segue bene le leggi della Terrin idrodinamica (il moto avviene per folle parallele)

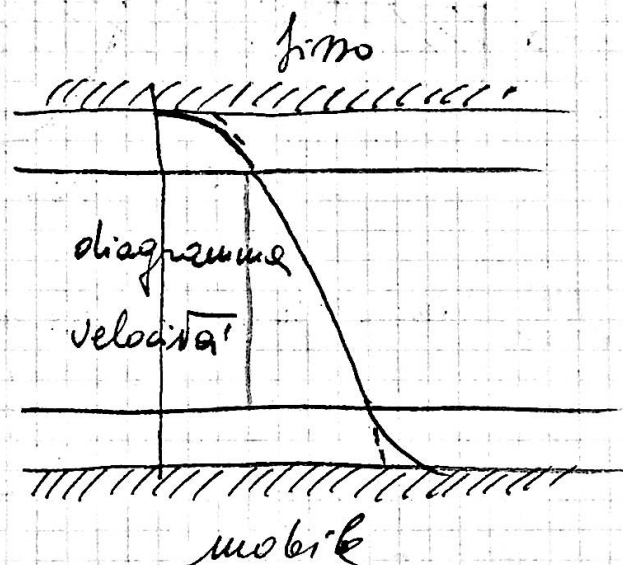
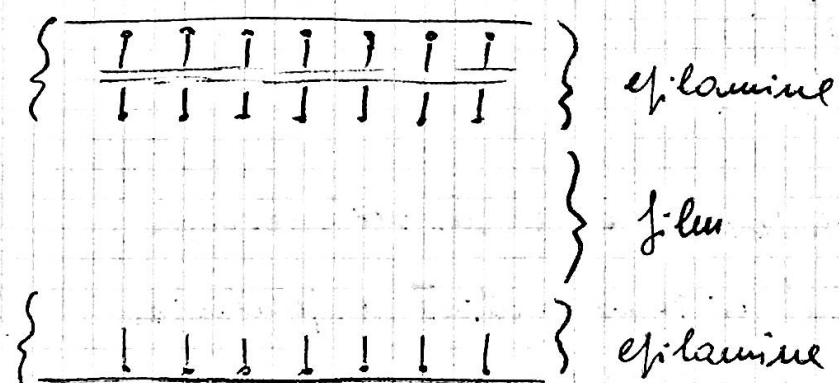
Si segue questa via e si fa una forte convergenza per ottenere un film portante e si crea uno sfogo per le correnti repressive (in figura)



h" in modo che poi solo la diretta

Partecipazione mutua al regime fluido

ad un esame approfondito si vede che succede così



si può dire che l'instabilità riduce la viscosità vicino alle pareti $\rightarrow$ in pratica si ha una diminuzione del coefficiente di attrito

Lubrificazione coppia cinematiche elementari

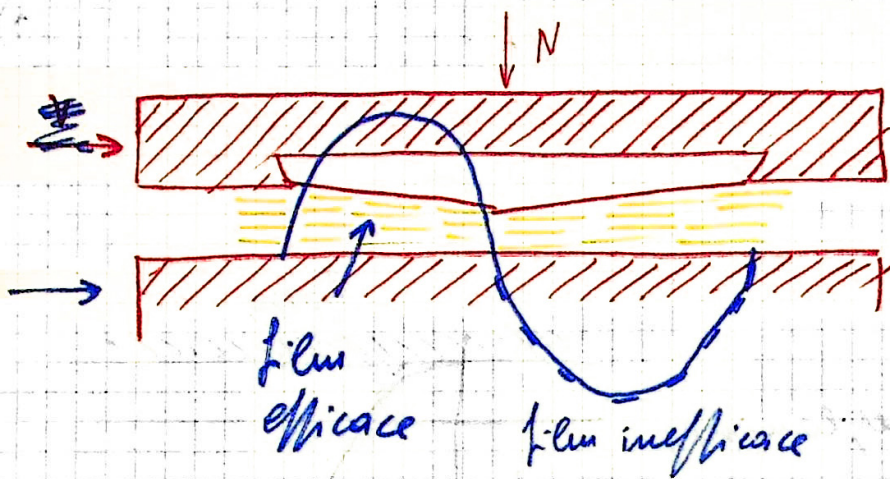
① Prismatica le superfici sono parallele $\rightarrow$ regime laminare

$$0,05 < f_c < 0,1$$

$$P_m < 4 \div 6 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

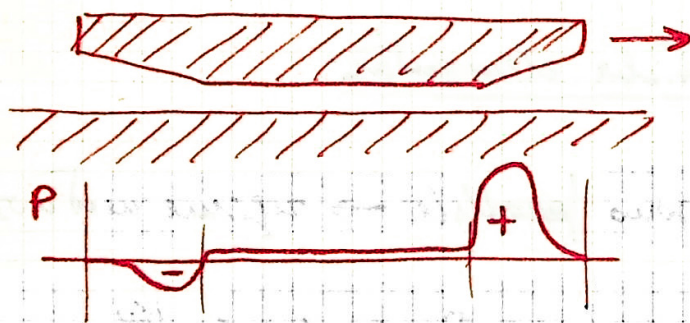
se c'è raffreddamento si può arrivare a $P_m = 10 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$

Vediamo i rimedi



NB la depressione che si dovrebbe avere in molte sezioni in pratica non si ha perché ci sono perdite e perché si formano vapori d'olio -

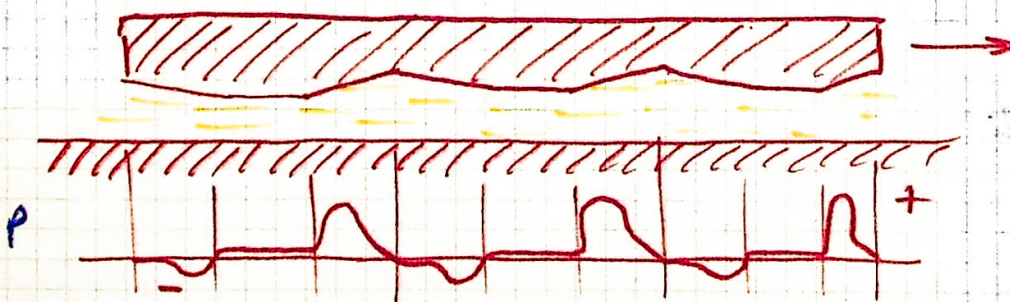
Questa soluzione non è ottima perché si hanno troppi lubrificanti nel sistema, questa va molto meglio -



qui si può avere

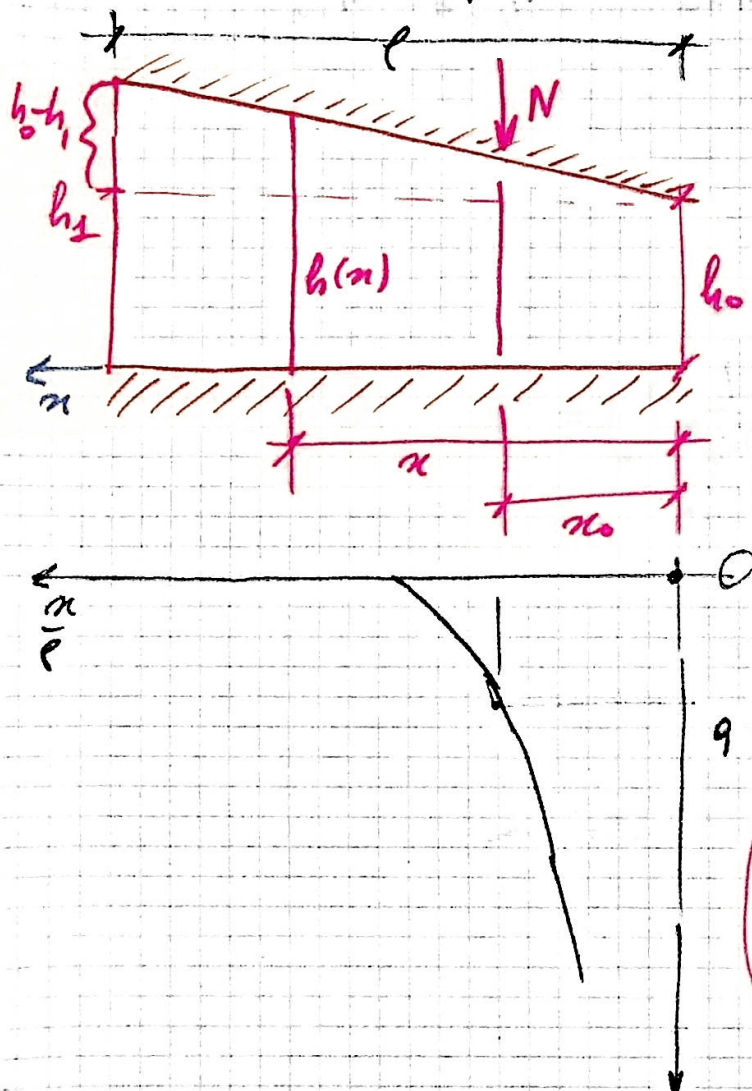
$$15 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

È un altro tipo di questo



Studiamo l'equilibrio. Per averlo è necessario che N (21)
sia uguale e contraria alla risultante delle pressioni interne.

Studiamo in questo caso



poniamo $q = \frac{h_1 - h_0}{l_0}$

• equilibrio alla traslazione verticale

$$N = \int_0^l p(x) dx$$

• equilibrio momento: attorno ad O

$$N \cdot x_0 = \int_0^l p(x) \cdot x \cdot dx$$

ricordiamo che $\frac{dp}{dx} = \frac{\rho \mu V}{h^2} \left(\frac{h_m}{h} - 1 \right)$

sia $\frac{h_1 - h_0}{h_1 - h_0} = \frac{x}{l}$

NB il segno si è cambiato perché si è cambiata la direzione di x

Poiché $q = \frac{h_1 - h_0}{l}$ $\Rightarrow h = h_0 + q \cdot h_0 \cdot \frac{x}{l} = h_0 \left(1 + \frac{qx}{l} \right) \Rightarrow$

$$\Rightarrow dx = \frac{l}{qh_0} dh$$

Calcoliamo l'integrale

$$p(x) = \int_0^x \frac{dp}{dx} dx = \frac{\ell}{9h_0} \int_{h_0}^h \frac{dp}{dx} dh = \frac{\ell}{9h_0} 6\mu V \int_{h_0}^h \left(\frac{h_m}{h^3} - \frac{1}{h^2} \right) dh =$$

$$= \frac{6\mu V \ell}{9h_0} \left[\frac{1}{h} - \frac{h_m}{2h^2} \right]_{h_0}^h =$$

$$= \frac{6\mu V \ell}{9h_0} \left[\left(\frac{1}{h} - \frac{1}{h_0} \right) - \frac{h_m}{2} \left(\frac{1}{h^2} - \frac{1}{h_0^2} \right) \right] = 0$$

$$= \frac{6\mu V \ell}{9h_0} \left(\frac{h_m}{2} \cdot \frac{h^2 - h_0^2}{h^2 h_0^2} - \frac{h - h_0}{h h_0} \right) *$$

poiché per $h = h_1$ $p(x) = 0$ si ha

$$h_m = \frac{2h_1 h_0}{h_1 + h_0}$$

sostituendo nella * da' $p(x) = \frac{6\mu V \ell}{9h_0} \left[\frac{h_1 h_0}{h_1 + h_0} \cdot \frac{h^2 - h_0^2}{h^2 h_0^2} - \frac{h - h_0}{h h_0} \right]$

integrando si ottiene

$$N = \frac{6\mu V \ell^2}{9^2 h_0^2} \left[\ln(1+q) - \frac{2q}{2+q} \right]$$

$$N h_0 = \frac{6\mu V \ell^2}{9^2 h_0^2 (2+q)} \left[3q + \frac{q^2}{2} - (3+2q) \ln(1+q) \right]$$

e quindi

(22)

$$\frac{n_0}{\rho} = \frac{6q + q^2 - 2(3+2q) \ln(1+q)}{2q[(2+q) \ln(1+q) - 2q]}$$

il metodo pratico migliore è questo: si grafica $\frac{n_0}{\rho}$, si prende la distanza $n_0 \rightarrow$ si trova q

Coppia rotoidale piana lubrificata

- gioco fra perno e cuscinetto

gioco $g = z' - z$ gioco radiale

$y = \frac{z' - z}{z}$ gioco relativo

Applicazione teoria idrodinamica al perno rotante

ricerca legge di variazione di h altezza del mezzo in funzione di θ

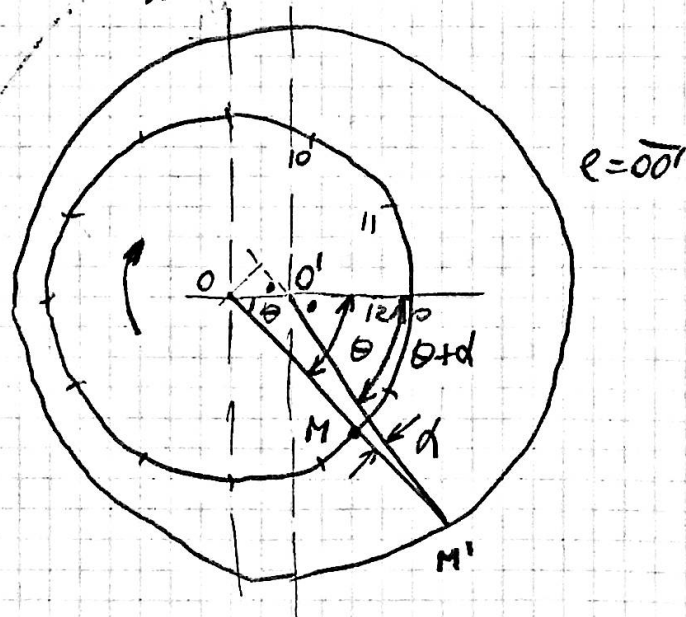
$$M'O = z' = M'O \cos \alpha - e \cos(\theta + \alpha)$$

poiché α molto piccolo:

$$\cos \alpha \approx 1$$

$$\cos(\theta + \alpha) = \cos \theta$$

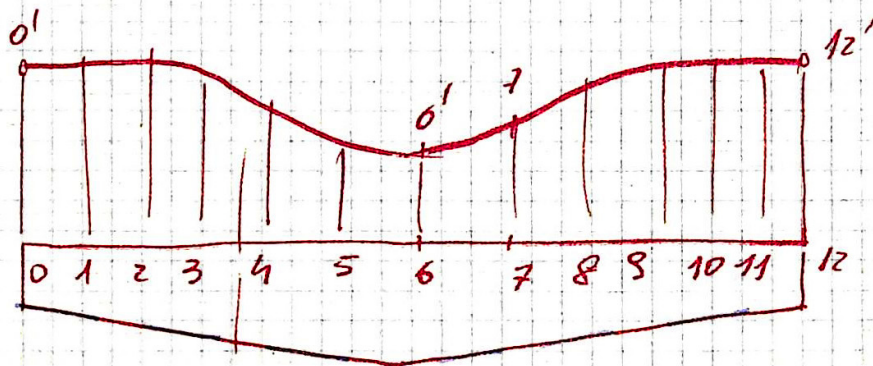
$$z' = M'O - e \cos \theta$$



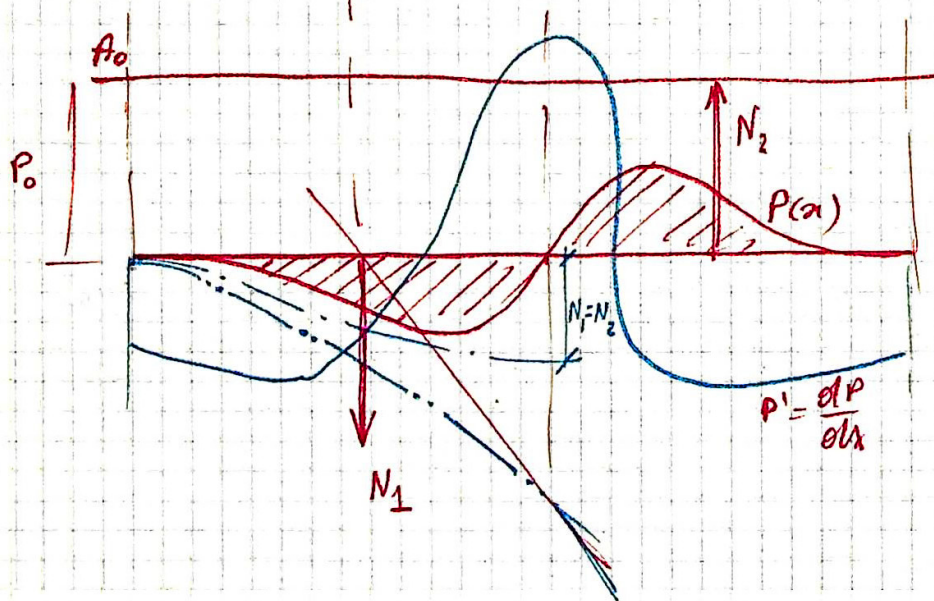
ma $M'O = h + r$ sostituendo

$$h = g + e \cos \theta \rightarrow$$

l'altezza del meato varia con legge cosinusoidale
 sviluppando la circonferenza del perno e graficando



viaggia con $\rightarrow$ se sono fermi sulla manifina



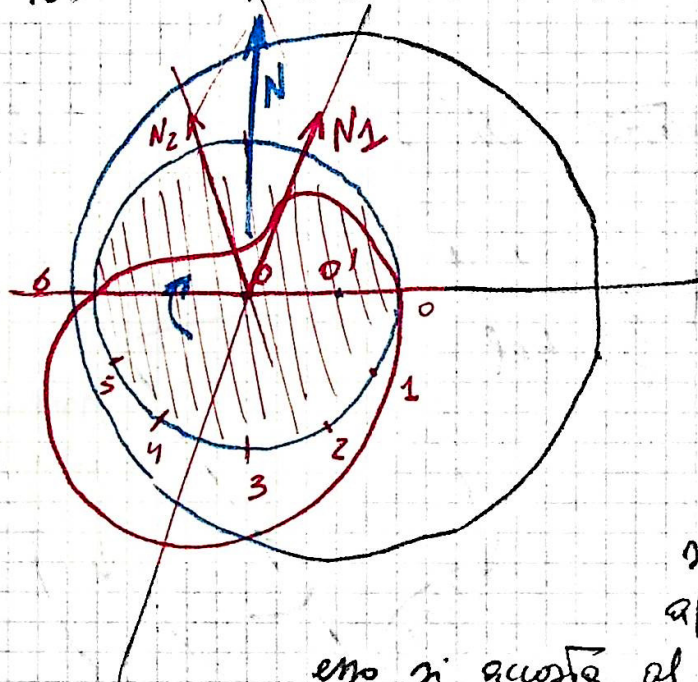
NA dato la forma molto affrettata si può approssimare
 il coseno al triangolo rettangolo con valori

$$(g+e) \quad \text{e} \quad (g-e)$$

quindi possiamo usare i risultati precedenti per lubrificazione (23) fluida -

Le pressioni sono positive nel tratto 0-6 negative altrove

Rappresentiamo con le pressioni: assumiamo il carico del perno come pressione p_0 , andiamo all'esterno se p sono positive ($p > p_0$) altrimenti allo interno, si ottiene



si ha che

sotto l'azione del carico N applicato al centro del perno

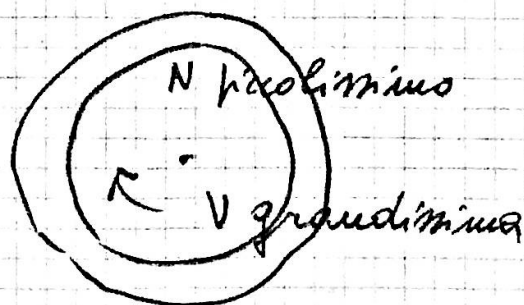
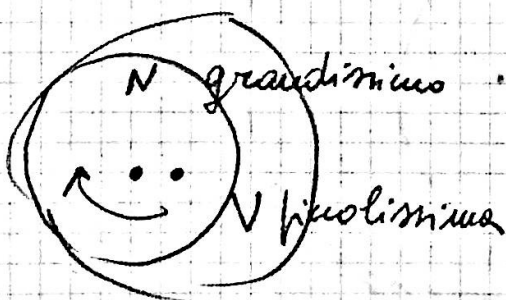
esso si muove al cuscinetto in direzione $\perp$ al carico

perché
$$p' = \frac{-6 \mu V}{h^2} \left(\frac{h_m}{h} - 1 \right)$$

ad eccentricità maggiori? corrispondono maggiori moduli dei gradienti $\rightarrow$

$\rightarrow$ di conseguenza anche delle pressioni e del carico $\rightarrow$

$\rightarrow$ a parità di velocità l'eccentricità aumenta allo aumentare del carico

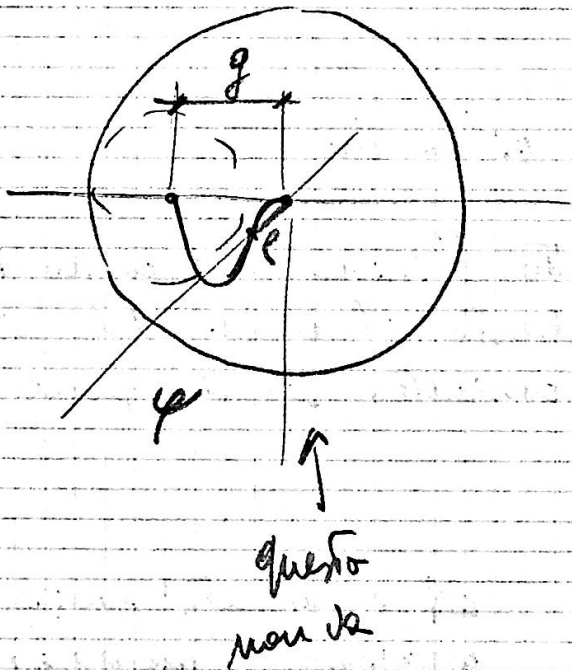


quelli della figura sono i due casi estremi

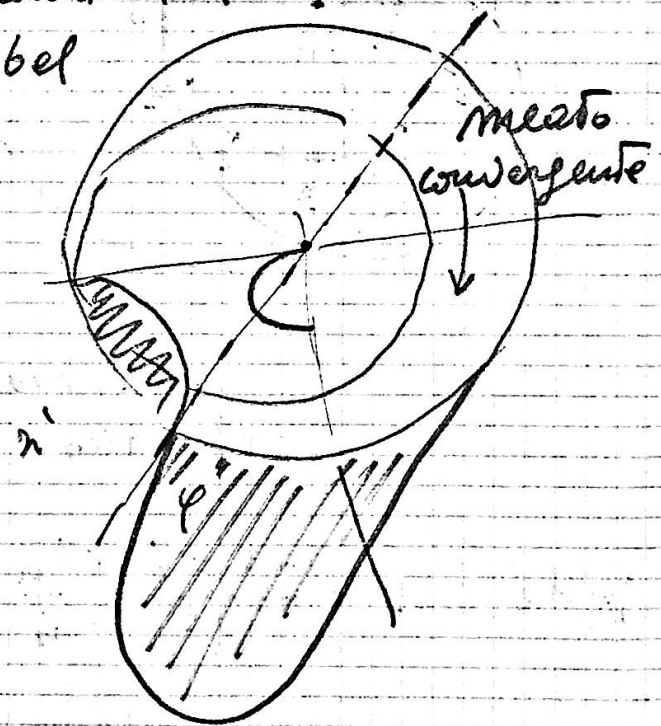
- 1) carico grandissimo e velocità piccolissima
- 2) " piccolissimo " " grandissimo

qui occorre una grande portata d'olio

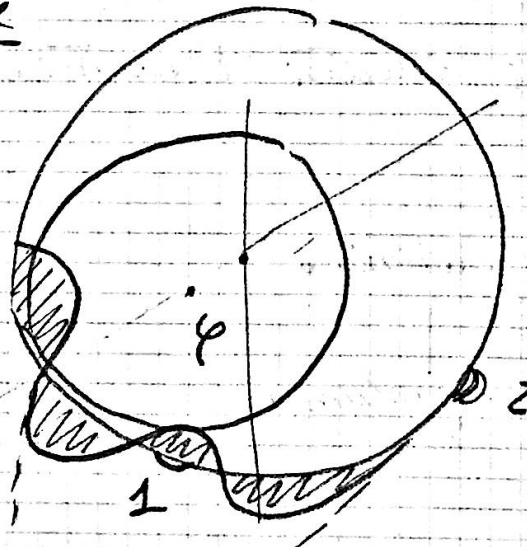
Ci sono varie ipotesi sulle traiettorie dell' olio del perno alle varie condizioni



secondo il
Lumbel

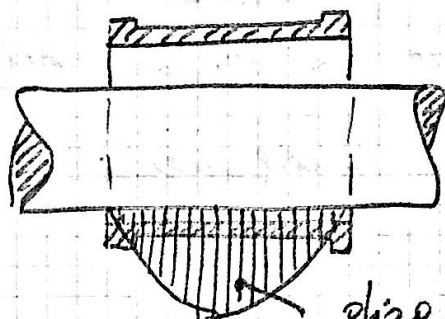


Influenza scalfature



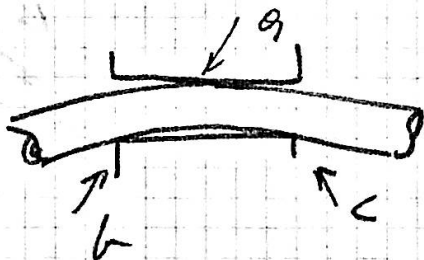
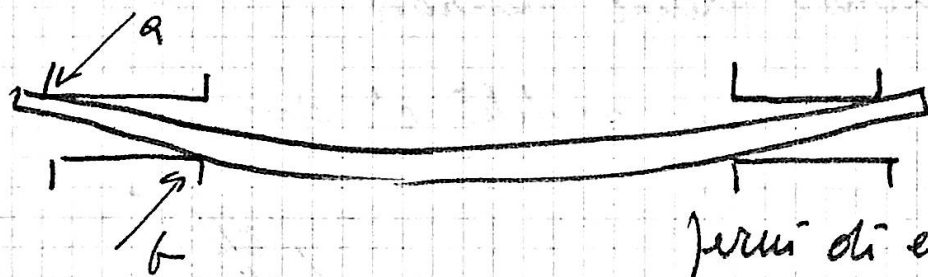
Influenza del rapporto $\frac{l}{d}$

se $\frac{l}{d}$ è piccolo si ha:



con cui la potenza è piccola

però se $\frac{l}{d}$ è troppo grande si hanno forti turbolenze nell'olio e si hanno questi inconvenienti



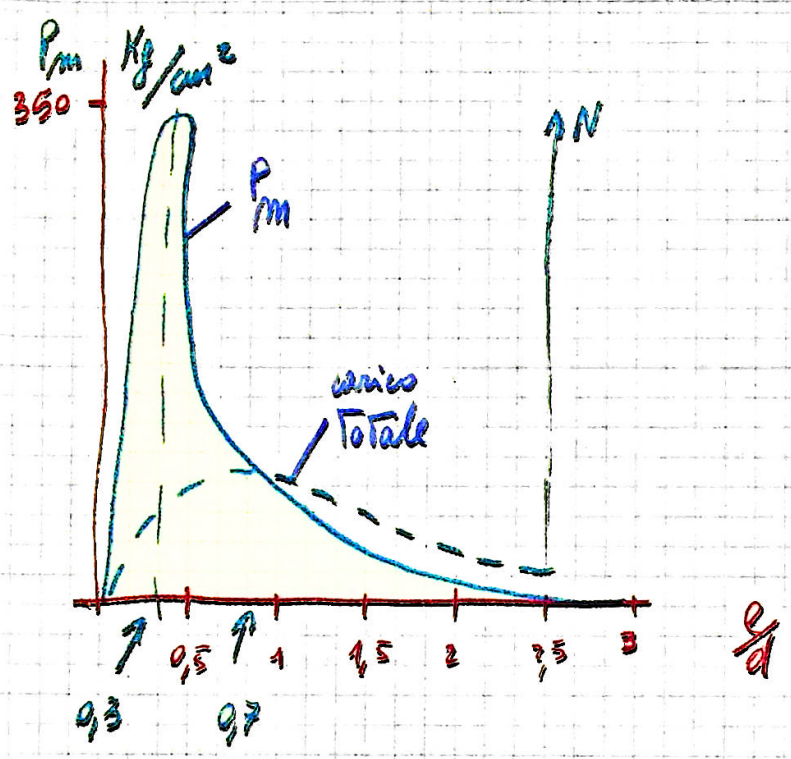
a, b, c contatti
ammissibili

Vediamo di trovare il miglior rapporto $\frac{l}{d}$ -

Facciamo due grafici e sovrapponiamoli, da cui si vede che l'ottimum sta tra $0,5 \div 1$ (med. 98)

uno è la curva di $P_m(\frac{l}{d})$

l'altra è " " di carico max ammissibile



Quando si usa $\frac{l}{d}$ molto grande è bene avere cone auto-orientanti, montando la trafilatura su sede sferica o su sede cilindrica

Coefficiente d'attrito perni portanti

$$f_c = A \sqrt{\frac{\mu V}{N}}$$

$$\text{ma } N = P_m \pi r \rightarrow$$

(P_m su mezzo arco.)

$$\rightarrow f_c = A \sqrt{\frac{\mu V}{P_m \pi r}}$$

calcolando $f_c = 1,7 \sqrt{\frac{\mu V}{P_m r}}$

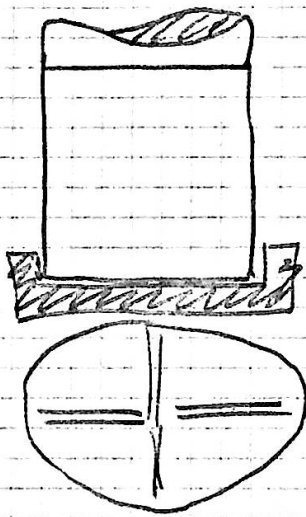
tenendo conto della terza dimensione con Jümbel

$$f_c = 1,7 \sqrt{\frac{f r + p}{p}} \sqrt{\frac{\mu V}{P_m r}}$$

formula che per $l=2r$ (molto comune) che'

$$f_c = 3,8 \sqrt{\frac{\mu v}{P_m r}} = 3,8 \sqrt{\frac{\mu \omega}{P_m}}$$

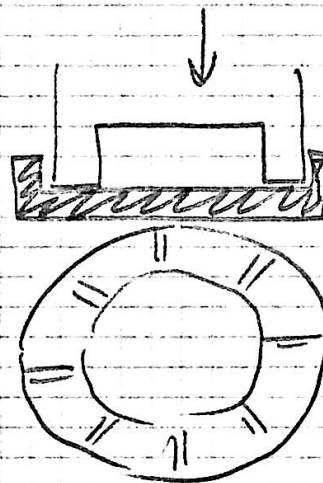
Coppia rotoidale spingente lubrificata



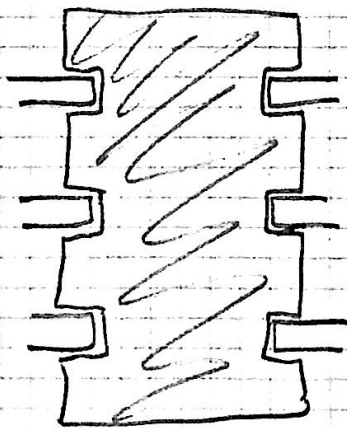
qui la pressione e' max al centro

→ forte logoramento →

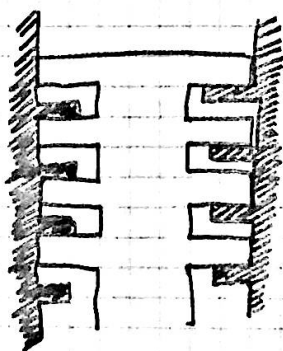
si usa quest'altro tipo



o quest'altro

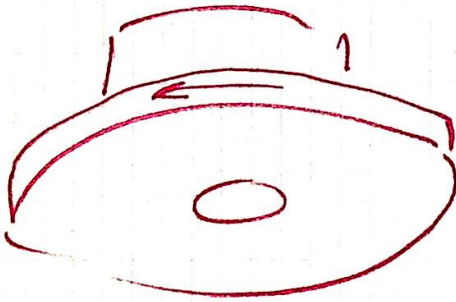


dentato con $4 \div 8$ kg/cm^2

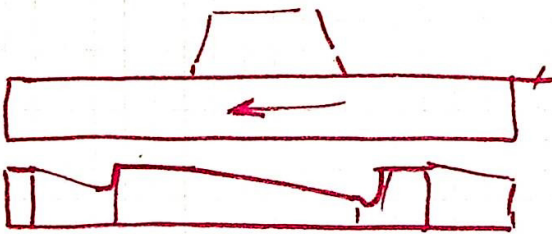
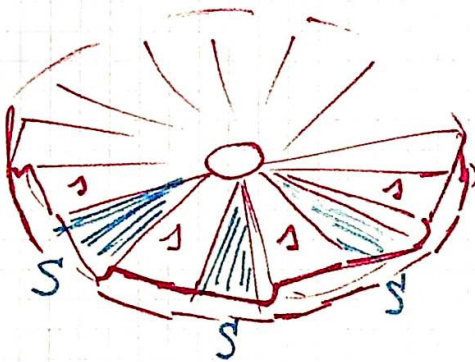


Sopporti Libbys

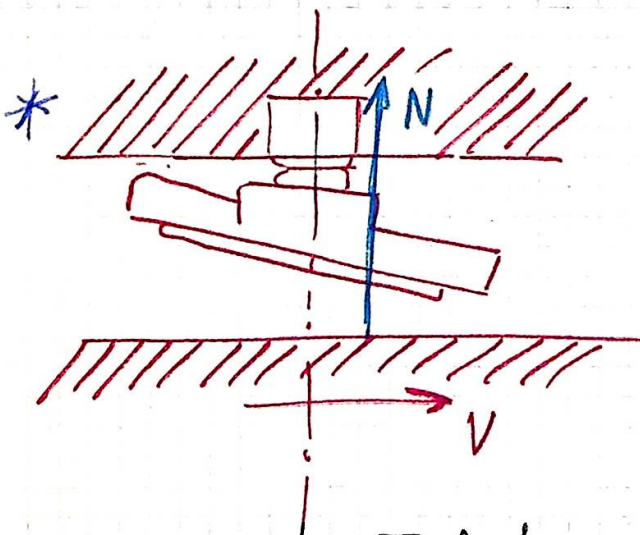
(26)



$$15 \div 20 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$



Sopporti Mitchell e derivati



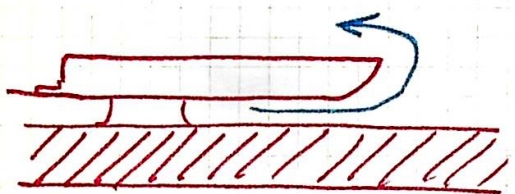
rimosso a

$$17 \div 20 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

non

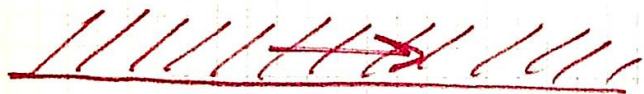
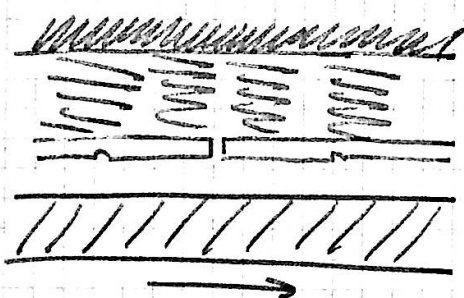
$$\text{soffocato anche } 250 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

* i portini sono tenuti fermi da una nocella che è alloggiata in un incavo -

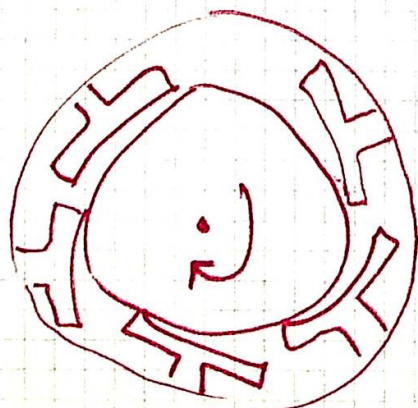
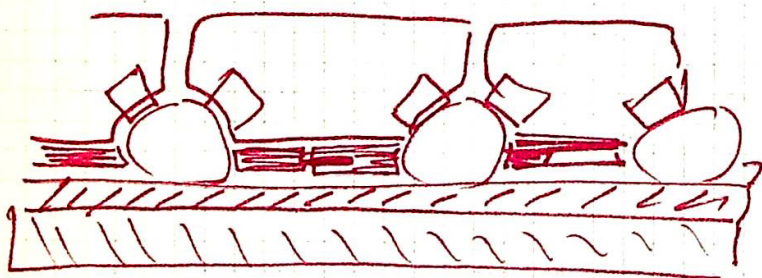


supporto charnilles
(si si flette elasticamente)

Supporto c. G. E.



Brown - Boveri



Tipo Michell

Coppia elicoidale lubrificata

(vite-madrevite)

(27)

mutuo (con molta velocità)

$$10 \frac{kg}{cm^2}$$

se la madrevite $> \geq d$ ci vuole una scanalatura che spinga lubrificante

ingrassio: e focolo, bagno d'olio

l'erosione si fa con (stampers)

Lubrificazione coppie cinematiche superiori

si può sperare nel regime fluido se ci sono le opportune condizioni

1) Convergenza superfici

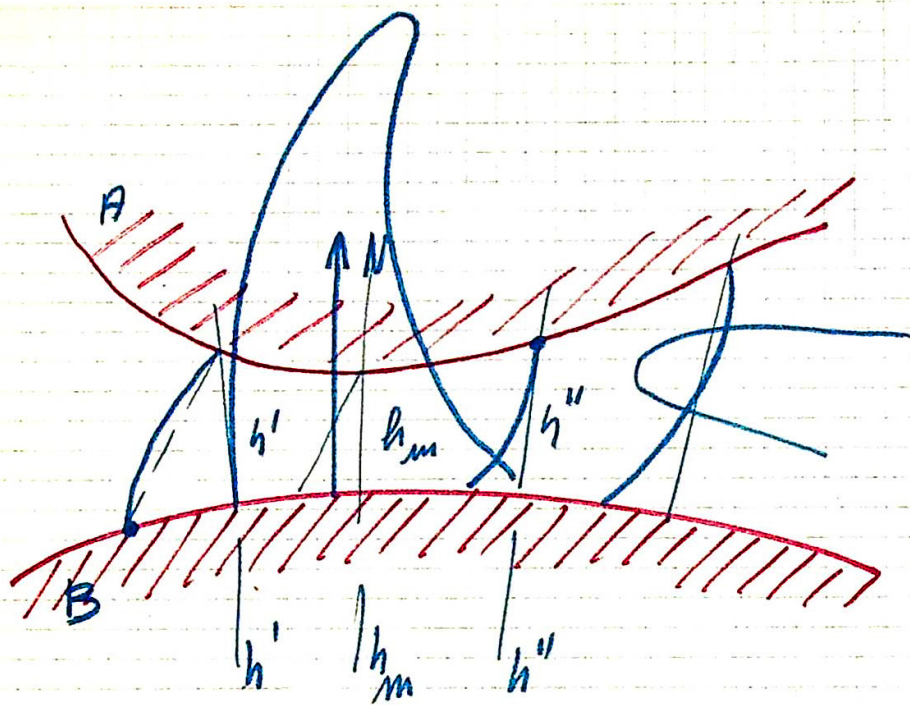
1) per le sfere c'è troppo

disperdimento laterale

2) per ingranaggi è spesso difficile (bisogna

avere un alto valore di $u \cdot V$)

ma anche se si ha il regime elastico si hanno gli inconvenienti che non presentiamo



il tratto utile di film, quello compreso tra h' e h''
 (dove non ci sono correnti di ritorno) è molto più
 breve $\rightarrow$ la portata è bassa

Valore del prodotto μV minimo affinché $\exists$ il film

con l'equazione $\mu V \geq 4^{-10} \frac{P_m}{\rho}$

• P_m pressione specifica in $\frac{kg}{m^2}$

sulla proiezione dell'area bagnata del film sul piano T_p

• ρ = il più piccolo dei raggi di curvatura

Lubrificazione eccentrica

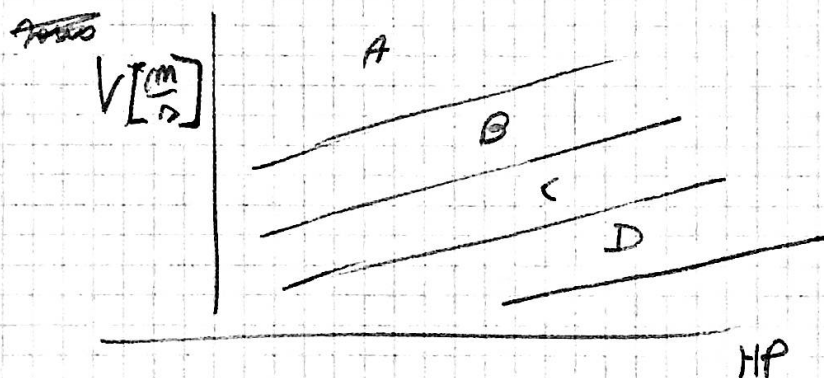
è necessario solo se c'è strisciamento
(è importante la oleosità)

Lubrificazione in pinnelli

è importante la scelta della viscosità

Capriccio la fa dipendere solo da $\left\{ \begin{array}{l} \text{Tempo in HP} \\ \text{e velocità periferica} \end{array} \right.$

fa diagrammi con queste due grandezze e traccia le linee a velocità cost (in grafico bilog sono rette)



a seconda di dove
si capite a
reglie l'olio
mediante una
Tabella annessa.

Si devono usare alcuni accorgimenti particolari

(vedi libro)

- gli ingr. devono essere di buona qual.
- " " a riduzione multipla si prende come v la più piccola
- " " speciali con P_m molto alte si prende la gradazione subito più viscosa
- per dentature larghe > 20 modulo " " " più fluida
- Tenere conto Temperature fuori del normale

Problemi sulle coppie cinematiche lubrificate in regime fluido

7 problemi diretto e problema inverso

1) diretto Date le caratteristiche geometriche (cioè di forma del meato) e di funzionamento (cioè i valori della velocità e del carico di una coppia cinematica lubrificata in regime fluido) determinare il lavoro di attrito e la temperatura del film quando sia prefissato ~~la gradazione~~ ~~di viscosità~~ ~~del lubrificante~~

2) inverso note le caratteristiche geometriche e di funzionamento della coppia, determinare la gradazione di viscosità del lubrificante ~~che~~ a contenere il coefficiente d'attrito (o il lavoro di attrito) entro limiti dati

ricordiamo che

$$\mu = \frac{A}{L^2 m}$$

la quantità di calore erogata è

$$Q = \frac{1}{427} f_c N V$$

ma $f_c = K \sqrt{\frac{\mu V L}{N}}$

L lunghezza superficie in senso $\perp$ al moto

K dipende dalla forma delle superficie

$$Q = \frac{K}{427} \sqrt{\mu N V^3 L} \quad \frac{Kcal}{s}$$

con l'equazione calorimetria

$$Q = K' (t - t_0)^n \cdot S$$

(29)

K' fattore di emissione specifica del calore

i lavori prodotti sono

$$L = K \sqrt{\mu N V^3 t}$$

$\frac{\text{Kcal}}{\text{s}}$

$$L = 427 K' (t - t_0)^n S$$

"

poniamo

$$B = K \sqrt{N V^3 t}$$

fattore di funzionamento

$$C = 427 K' S$$

" " emissione termica totale



$$\mu = \frac{A}{t^m}$$

$$L = B \sqrt{\mu}$$

$$L = C (t - t_0)^n$$

0

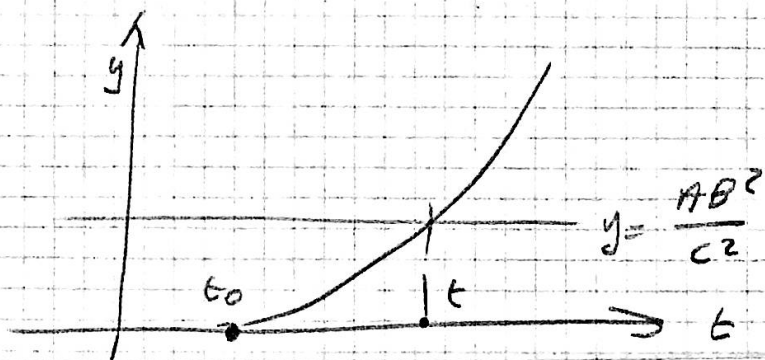
di qui per un dato B $\exists$ una sola coppia t, μ

NB $\exists$ un fenomeno di autoadeguamento dello stato

avvenuto lo 0 ho $t^m (t - t_0)^{2m} = \frac{A B^2}{C^2} = \text{cost}$

per trovare la relazione grafico $y = t^m (t - t_0)^{2m}$

e interseco con $y = \frac{A B^2}{C^2}$



quindi ho $\epsilon \rightarrow$ posso avere $\mu \rightarrow$ posso avere L

Vediamo di determinare m ed A

di un olio facendo due misurazioni di viscosità (con lo stesso nel piano logaritmico)

per esempio per $\epsilon_1 = 20^\circ$ $\epsilon_2 = 50^\circ \rightarrow$

$$\downarrow \quad \mu_1 = \frac{A}{\epsilon_1^m} \quad \mu_2 = \frac{A}{\epsilon_2^m} \quad \frac{\mu_1}{\mu_2} = \left(\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \right)^m \rightarrow$$

$$\rightarrow \log \frac{\mu_1}{\mu_2} = m \log \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \rightarrow m = \dots$$

noto m ricavo A : $A = \mu_1 \epsilon_1^m$ (od $A = \mu_2 \epsilon_2^m$)

per B e C $\exists$ una Tabella che li fornisce

per C applichiamo subito la legge di Sutherland

$$\eta = 17 \eta' (\epsilon - \epsilon_0)^{1,3}$$

$$\text{cioè } K' = 17 \eta' \quad n = 1,3$$

$\exists$ una Tabella che dà η'

Esempio di soluzione del problema diretto

(30)

$$d = 0,05 \text{ m}$$

$$l = 0,13 \text{ m}$$

$$N = 400 \text{ Kg}$$

$$n = 300 \text{ giri/s}$$

$$V = \frac{\pi d n}{60} = 0,785 \text{ m/s}$$

$$t_0 = 10^\circ \text{C}$$

con esperienze in laboratorio ($t_1 = 20^\circ \text{C}$) $\mu_1 = 0,007$

($t_2 = 50^\circ \text{C}$) $\mu_2 = 0,00157$

$$\rightarrow M = 1,64 \quad A = 0,852 \quad \text{qui } a' = 2,5$$

$$B = 27$$

$$C = 0,1 \quad [\text{vedi Tabelle}]$$

$$\frac{A B^2}{C^2} = 69400$$

quindi qui vale $t^{1,64} (t - 10)^{2,6} = 69400 \rightarrow t = 20,8$

$$\mu_t = \frac{0,852}{20,8^{1,64}} = 0,0066 \quad \rightarrow L = B \sqrt{\mu_t} = 27 \sqrt{0,0066} = 2,18 \frac{\text{Kg m}}{\text{s}}$$

$$f_c = 5,37 \sqrt{\frac{\mu V e}{N}} = 5,37 \sqrt{\frac{0,0066 \cdot 0,785 \cdot 0,13}{400}} \approx 0,007$$

• K si ricade da $B = K \sqrt{N V^3 f}$

Esempio di soluzione del problema inverso

$$d = 0,05 \text{ m}$$

$$N = 400 \text{ Kg}$$

$$V = \frac{\pi d^4}{60} = 0,785 \text{ m/s}$$

$$l = 0,13 \text{ m}$$

$$n = 300 \text{ giri/min}$$

$$t_0 = 10^{\circ}$$

scegliamo n / $f_c \leq 0,007$

$$L_{\text{max consentito}} = f_c N V = \dots = 2,19 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{s}}$$

$$n = \frac{L^2}{B^2} = \text{perché } B \text{ è lo stesso} = \frac{2,19^2}{272} = 0,00656 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{m}^2}$$

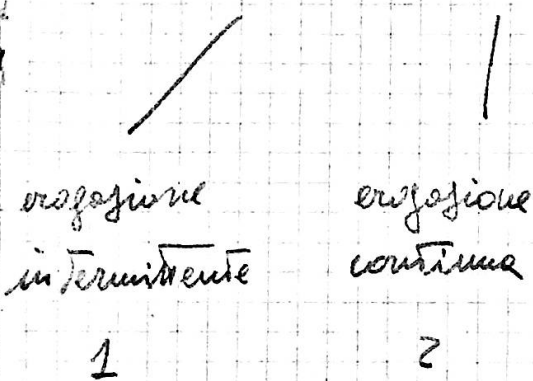
$$\text{inoltre } (t - t_0)^{1,3} = \frac{L}{C}$$

$$t = t_0 + \left(\frac{L}{C}\right)^{\frac{1}{1,3}} = 10 + \left(\frac{2,19}{91}\right)^{\frac{1}{1,3}} = 20,8$$

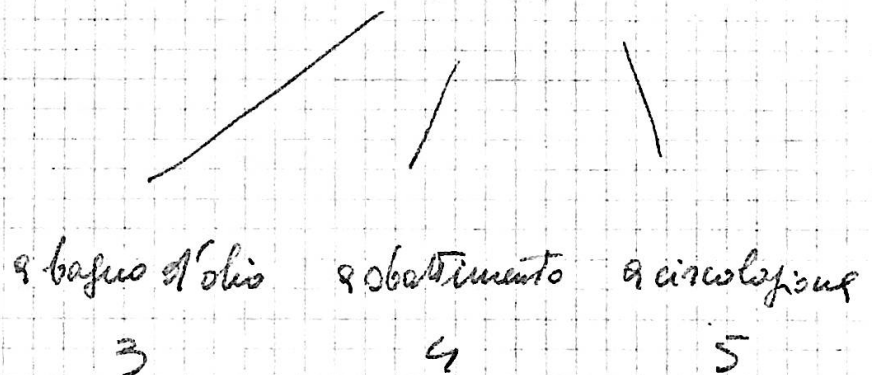
perché $n = 1,3$ e $C = 91$ come prima

se si hanno di con gli stessi valori si sceglie quello col miglior indice di viscosità.

a tutta perdita



a recupero

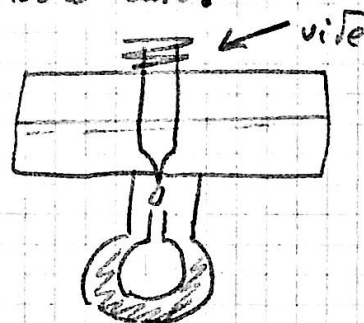


A tutta perdita

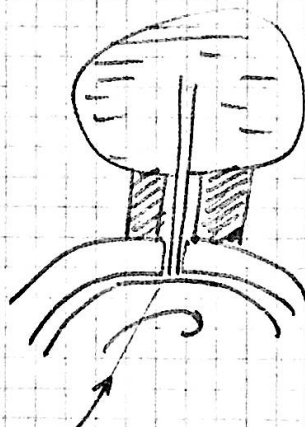
1) manuale (tutte perdite, cattivo funzionamento).

a gocce visibile

la perdita si regola con la vite (l'olio deve essere molto puro, senza molto Δt)

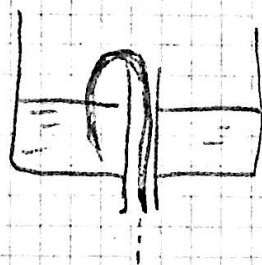


2) a bottiglia



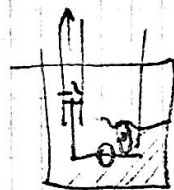
l'agitazione meccanica della macchina fa sollecitare bollicine d'aria e fa calare l'olio

a stoppino



funziona per capillarità
si regola la perdita stoppando lo stoppino (non si può molto viscosi)

analogo lo storico a Temperatura o a luna



storici meccanici a pressione (ad es. tipo Delvac vedi libro 191)

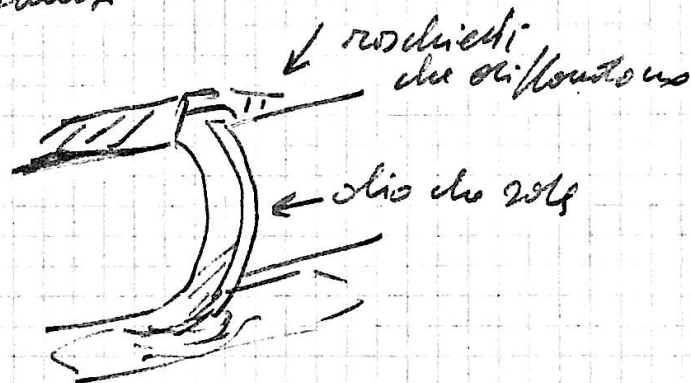
A Recupero

3) a bagno d'olio

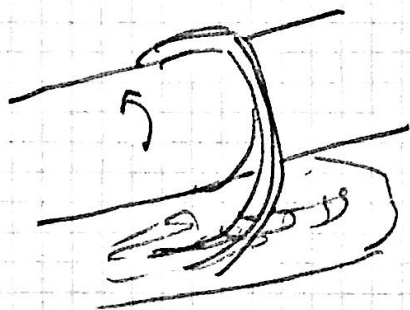
a) tutto immerso (supporti spinti e in verticali)

b) immersioni lente: minimizzare

c) a calore



d) ad anello



va bene per movimenti
non molto veloci

e) a catena idem con la catena

4) a sbristamento specie per alberi a manovella
e per ingranaggi dritti.

l'azione meccanica lo spruzza tutto attorno e forma
una nebbia

5) a circolazione per gravità o forata (9,5 ÷ 25 dl)

va bene in qualunque condizione specie per regimi lenti

sono necessari i filtri (10000 ÷ 17000 $\mu\text{m}^2/\text{cm}^2$)

il filtro sta dopo la pompa sulla tubazione di mandata
ed è preceduto da valvola (o si ottura il filtro)

NB agisce bene anche come refrigerante

Requisiti di relativamente al sistema di lubrificazione
ugualmente nei tutti prelievi si ha lubr. continua →
sono necessari di molto olio.

nel caso di circolazione invece l'olio deve essere più stabile
perché è più sollecitato (film), inoltre deve avere buona
attività lubrificante a prendere e cedere calore.

Sistemi di lubrificazione a grasso

escluso il cuscinetto Worlop sono tutti a tutta perdita

•) con la spola o pennello

•) scatole di grasso e improprietà: 3 perdite

a vite

a molla

NB la vite si fissa di tanto
in tanto per compiere l'oscil-
lazione che spinge il grasso

qui la perdita è $\approx \frac{1}{10}$ att.

•) a pistola (Lecalemit)

Cuscinetti auto-lubrificanti

sono superiori, si improprietano al olio all'inizio $\rightarrow$

1 quando sono in opera lo cedono - Da fermi lo recuperano

non si possono lavorare a Taglio: i Tagli otturano i fori

si hanno solo per fusione