NUMERO: 1738A - ANNO: 2015

A P P U N T I

STUDENTE: Paradisi Gaia

MATERIA: Elementi costruzione di macchine, Teoria + esercizi + temi esame svolti - prof. Brusa, Sesana

COLLEGAMENTI FILETTATI

$$\Delta C_v = C \frac{\delta_p}{\delta_v + \delta_p}$$

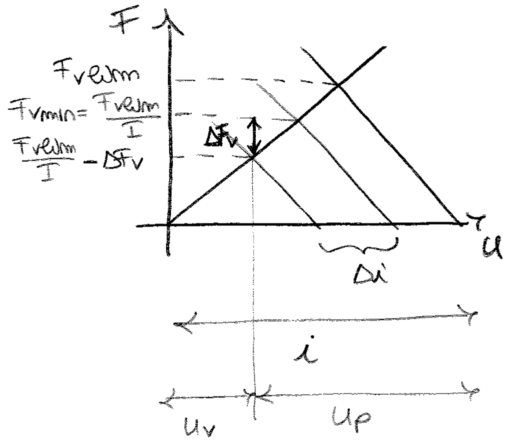
carico residuo sul pezzo → $= F_{m_{eim}} - \Delta C_p = F_{min\,p}$

classe di resistenza 10,9 ⇒ $R_{eH} = 90\% \; (10 \cdot 100)$

Incertezze / Accoppiamenti:

$$\boxed{I = \frac{F_{v\,eim}}{F_{v\,min}}}$$

$$\Delta i = \Delta F_v (\delta_v + \delta_p)$$



$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau^2} = \sigma_a \sqrt{1 + 3k^2} = \sigma_a \cdot 1{,}3$$

$$M_{serraggio} = \frac{F_{v\,eim}}{2} \left(\frac{P}{\pi} + d_m \frac{\tan\varphi}{\cos\alpha} + d_t \tan\varphi_s \right)$$

$\tan\varphi$ → attrito; α → 30°; $\tan\varphi_s$ → attrito sottotesta

VERIFICA A FATICA

$\sigma_{eim} \le 0{,}9\, \sigma_D$ → GRAFICO

$$\begin{cases} \sigma_a = \dfrac{F_{max} - F_{min}}{2} \\ \sigma_m = \dfrac{F_{max} + F_{min}}{2} \end{cases}$$

$$CS = \frac{\sigma_{eim}}{\sigma_a}$$

VERIFICA STATICA

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \le R_{p02}$$

$$\sigma_{id} = \sigma_a \sqrt{1 + 3k^2} = \sigma_a \cdot 1{,}3 \le R_{p02}$$

$$CS = \frac{R_{p02}}{\sigma_{id}}$$

CUSCINETTI

$$L_{10} = a_1 a_{SKF} \left(\frac{C}{P}\right)^p \qquad L_{10h} = \frac{L_{10TOT} \cdot 10^6}{60 \cdot \omega}$$

ω → rpm

$p = 3$ SFERE

$p = 10/3$ RULLI

CARICO DINAMICO EQUIVALENTE $P = X \cdot F_r + Y F_a$ X, Y tabulati

se $\frac{F_a}{F_r} \leq e = f(f_0 F_a / C_0)$

$\Rightarrow P = F_r$

$$L_{10m} = \frac{1}{\sum \frac{U_i}{L_{10mi}}} \quad \text{MLN} \qquad \frac{1}{L_{10TOT}} = \sum \frac{U_i}{L_{10mi}}$$

L_{10mi} → L_{10}

↓

$$L_{10h} = \frac{L_{10TOT} \cdot 10^6}{60} \left(\sum \frac{U_i}{n_i}\right)$$

U_i = frazioni di durata nelle condizioni di carico i $= \frac{n_i}{n_{TOT}}$

CALCOLO STATICO

$P_0 = X_0 \cdot F_r + Y_0 F_a$ → verifica statica $\frac{C_0}{P_0} \geq CS$

CARICO MINIMO → $P_{min} = 0{,}01\, C$ sfere

$P_{min} = 0{,}02\, C$ rulli

$i_{effettivo} = i_{min} - \Delta i^R - \Delta i^T - \Delta i^\omega$

$\Delta i^R = 2 \cdot 0{,}4 \left(R_a^{alb} + R_a^{anello}\right) \qquad R_a^{anello} = 0{,}4\, \mu m$

$\Delta i^T = D_C (\alpha_m - \alpha_a) \Delta T$ → se albero acciaio $\Delta i^T = 0$

$$\Delta i^\omega = \frac{d \rho\, \omega^2 d_{e\,anello}^2}{4E}$$

VELOCITÀ LIMITE DI SCALETTAMENTO → $\omega^2 = \dfrac{4E\left(i_{min} - \Delta i^R - \Delta i^T\right)}{d \rho\, d_{e\,anello}^2}$

CONTATTO HERTZIANO

ellisse di contatto $\begin{cases} a = a^* \gamma \\ b = b^* \gamma \end{cases}$ $\gamma = \sqrt[3]{\frac{3}{2} \frac{F}{2(\alpha x+\alpha y+\beta x+\beta y)} \left(\frac{1-\nu_\alpha^2}{E_\alpha} + \frac{1-\nu_\beta^2}{E_\beta} \right)}$

a^* e b^* funzione di $\cos\tau = \frac{|(\alpha x-\alpha y)+(\beta x-\beta y)|}{\alpha x+\alpha y+\beta x+\beta y}$ $0 \le \cos\tau \le 1$

$p_{MAX} = \frac{3}{2}\frac{F}{\pi ab}$ $p_{medio} = \frac{F}{\pi ab}$ → area ellisse

SFERA - SFERA

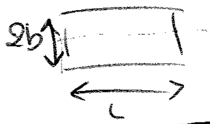
$\cos\tau = 0$ $a^* = b^* = 1$

$p_{MAX} = \frac{3}{2}\frac{F}{\pi a^2}$

$p_{med} = \frac{F}{\pi a^2}$

CILINDRO - CILINDRO

$\cos\tau = 1$ $a^* \to \infty$ $b^* \to 0$



$b = \sqrt{\frac{4F}{\pi L\, 2(\alpha y+\beta y)}\left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1}+\frac{1-\nu_2^2}{E_2}\right)}$

$p_{MAX} = \frac{2F}{\pi L b}$ $p_{med} = \frac{F}{2Lb}$

STATO DI TENSIONE:

$\sigma_{id} = R_{eH}$ cedimento

- SFERA-SFERA $0{,}62\, p_{MAX} = R_{eH}$ $p_{RIF} = \frac{4F}{\pi d^2}$ → d sfera
- CILINDRO-CILINDRO $0{,}60\, p_{MAX} = R_{eH}$ $p_{RIF} = \frac{F}{Ld}$ → rullo

SOLIDI ASSIALSIMMETRICI

VON MISES

$\sigma_{id} = \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{(\sigma_r-\sigma_c)^2+(\sigma_c-\sigma_z)^2+(\sigma_z-\sigma_r)^2}$

$\left[\sigma_{id} = \sqrt{\sigma^2+3\tau^2}\right]$

TUBO SPESSO $\frac{s}{r_i} > 0{,}1$ → LAMÉ

TUBO SOTTILE $\frac{s}{r_i} \le 0{,}1$ → Mariotte eq. radiale! $\sigma_c = p_i \frac{D_i}{2s}$

ANELLO SOTTILE ROTANTE

Porta tutto in m

$u = r \cdot \varepsilon_c = r \cdot \frac{\sigma_c}{E}$

$\sigma_c^{\omega} \cong \rho\, \omega^2 \frac{D_e^2}{4}$ (ω → rad/s)

$\sigma_r = 0$
$\sigma_z = 0$

GIUNTI + INNESTI

1

- **GIUNTO RIGIDO A MANICOTTO**
  - Manicotto cilindrico che unisce i 2 alberi tramite chiavette
  - Rivestire il giunto con astuccio cilindrico in lamiera di acciaio (fissato sul manicotto con viti mordenti)

  → INCONVENIENTE: il baricentro del giunto è al di fuori dell'asse di rotazione degli alberi (causa chiavette). Eccentricità che produce forze centrifughe e vibrazioni in esercizio

- **GIUNTO RIGIDO A GUSCI**
  - Manicotto cilindrico realizzato in 2 gusci che vengono premuti contro i 2 alberi tramite bulloni
  - Gioco tra i 2 gusci per consentire il serraggio del giunto sull'albero.
  - Teste dei bulloni e dadi a scomparsa x sicurezza
  - Trasmissione della coppia grazie all'attrito sulle superfici di albero e manicotto
  - Linguette (in caso di coppie elevate)

- **GIUNTO RIGIDO A DISCHI**
  - 2 dischi con mozzi calettati su 2 alberi diversi e bloccati con chiavette o linguette. Dischi collegati con bulloni.
  - centratura dei dischi → collare di centratura (lavorazione sui 2 dischi)
  - anello di centraggio

  → se il gambo delle viti è calibrato e fori alesati la coppia è trasmessa dalle forze di TAGLIO nei bulloni.

GIUNTI ELASTICI METALLICI — l'elemento che collega le 2 parti del giunto è elastico (METALLO)

- piccoli disallineamenti assiali e angolari tra gli alberi
- introducono problemi dinamici associati allo smorzamento dell'albero in rotazione.

→ rispetto a ELASTOMERICI:
- sopportano T maggiori
- lubrificazione
- smorzamento minore delle vibrazioni.

- **BIBBY**
  - Nastro di acciaio avvolto a serpentina su 2 mozzi solidali agli alberi da collegare.
  - Involucro esterno contiene grasso o lubrificante

- coppia trasmessa per taglio

3

→ l'elem elastico permette correzioni di grande entità con spostam assiali che compensa le dilatazioni termiche degli alberi / sia radiale che angolari.

GIUNTI ARTICOLATI

costituiti da elementi rigidi accoppiati tra loro cinematicamente.

- consentono: spostam // tra gli assi
  spostam angolari
  spostam arbitrari

- NON OMOCINETICI
- OMOCINETICI

- GIUNTO DI OLDHAM

Trasmissione del moto tra assi // non coincidenti

- il disco centrale si sposta lungo le scanalature e crea un'eccentricità
  ⇒ sottoposto a forza centrifuga che si scarica sui supporti degli alberi generando VIBRAZIONI

NO per alte velocità di rotazione

OMOCINETICO

- GIUNTO DI CARDANO (HOOKE)

Trasmissione del moto tra assi concorrenti consentendo spostam angolare β.

NON OMOCINETICO

[2 giunti cardanici collegati da un albero rendono il giunto OMOCINETICO se i 2 assi sono complanari con $\beta_2 = \pm \beta_1$

- GIUNTO RZEPPA

OMOCINETICO

- Formato da campana con superficie interna sferica con piste con asse circolare ed eccentriche rispetto alla sup sferica
  + anello interno con superficie sferica con piste con asse circolare eccentriche rispetto al centro della superficie
  + sfere che trasmettono la coppia. + gabbia contenente le sfere
  + cuffia di tenuta del lubrificante.

- GIUNTO A TRIPODE

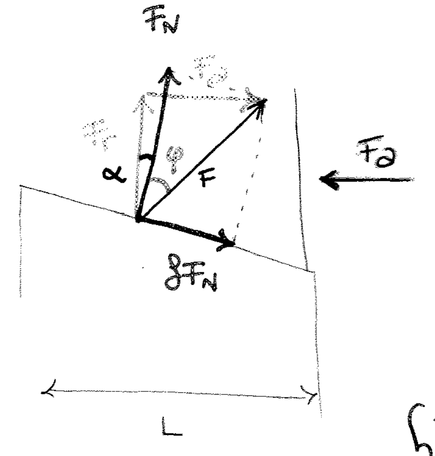
si può utilizzare per angolo + piccoli tra gli assi
3 perni sono solidali tra loro e all'albero motore. I perni sostengono rulli sferici che sono in contatto con scanalature cilindriche ricavate in una campana solidale all'albero condotto.

DIMOSTRAZIONI TEORIA ECDM

(1)

- CALETTAMENTO MOZZO-ALBERO

Accoppiamento conico (relazione tra pressione e forza assiale)



F_N segue la direzione della pressione

F data dalle forze normali F_N (pressione) e da quelle di attrito

$f = Tg\varphi$ coefficiente di attrito

$F_N = p \cdot A_\ell = p\,\pi D_m L$ (Area laterale; D_m diametro medio)

$F = F_N / \cos\varphi$

$$\begin{cases} F_a = F \operatorname{sen}(\alpha+\varphi) \\ F_r = F\cos(\alpha+\varphi) \end{cases}$$

Data la forza F_a:

$$p = \frac{F_a \cos\varphi}{\pi D_m L \operatorname{sen}(\alpha+\varphi)} \approx \frac{F_a}{\pi D_m L\, Tg(\alpha+\varphi)}$$

la pressione aumenta se riesco ad avere φ + piccolo (< attrito) a parità di F_a
→ LUBRIFICANTE
[Non abbassando troppo α perché difficile realizzazione]

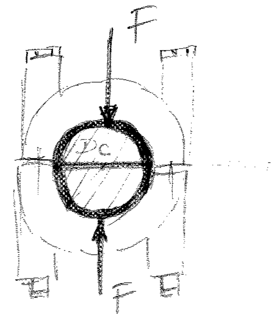
(Relazione fra pressione e momento trasmissibile)

$\boxed{\text{INPUT} \to M_t \Rightarrow p \Rightarrow F_a}$

$$M_t = (\pi D_m L)\,\mu\, p\, \frac{D_m}{2}$$

- CALETTAMENTI MOZZO-ALBERO → $\boxed{\text{VEDI ANCHE ALTRI FOGLI}}$

collegamenti per serraggio con bulloni



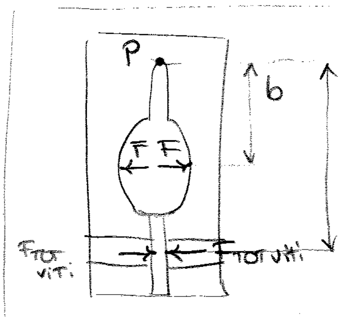
$$M_t = \int_0^{2\pi} dT\, r = 2\pi r^2 L f p \qquad p = \frac{2M_t}{\pi D_c^2 \cdot L \cdot f}$$

$$F = F_{tot\,viti} = p \cdot D_c\, L \geq \frac{2M_t}{\pi D_c f}$$ forza di serraggio risultante che deve essere fornita dalle viti

Data la pressione ammissibile il mom trasmesso deve essere

$M_t \leq 2\pi r^2 L f\, p_{amm}$

$F_{tot\,viti} = p_{amm} D_c L$



$F_{tot\,viti} \cdot a = F \cdot b$

$p = \dfrac{F}{D_c L}$

$p = \dfrac{F_{tot\,viti} \cdot a}{D_c\, b\, L} \leq p_{amm}$

FESSURA DIAMETRALE

→ sostituendo $N = \frac{8M}{3\pi f r} = \frac{16M}{3\pi f d}$

n = numero bulloni Tb tiro su ogni bullone $T_b = \frac{N}{n} = \frac{16M}{3n\pi f d}$

→ per calcolare la forza di serraggio richiesta per i bulloni.

- GIUNTO DI CARDANO o di HOOKE

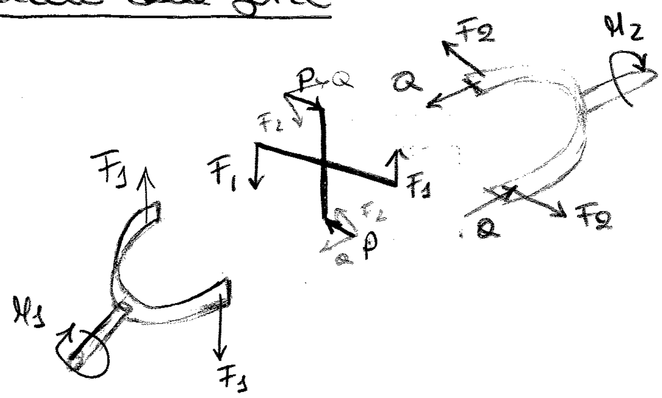
$$\frac{\Omega_2}{\Omega_1} = \frac{\cos\beta}{1 - \operatorname{sen}^2\beta \cdot \operatorname{sen}^2\theta_1}$$

Ω_1, Ω_2 velocità angolari dei 2 alberi
θ_1 rotazione albero 1

$$M_2 = M_1 \frac{\Omega_1}{\Omega_2} = M_1 \frac{1 - \operatorname{sen}^2\beta \cdot \operatorname{sen}^2\theta_1}{\cos\beta}$$

M_1 su albero 1 è costante
M_2 su albero 2 durante la rotazione varia.

calcolo delle forze



$\boxed{\theta_1 = 0}$

$Ph = F_1 h \Rightarrow P = F_1$

$F_2 = P\cos\beta$

$Q = P\operatorname{sen}\beta$

$M_2 = F_2 \cdot h = Ph\cos\beta$

$M_1 = F_1 \cdot h$

$$\Rightarrow F_1 = \frac{M_1}{h} \qquad F_2 = \frac{M_1\cos\beta}{h} \qquad Q = F_2 \operatorname{tg}\beta = \frac{M_1}{h}\operatorname{tg}\beta$$

$$\boxed{Qh = M_{f2}}$$

- INNESTO A FRIZIONE a dischi

Dimensionamento e calcolo

$$F = \int p(r)\,dA = \int_{r_i}^{r_e}\int_0^{\phi} p(r)\, r\, d\phi\, dr \qquad M_s = \int f\, p(r)\, dA \cdot r = \int_{r_i}^{r_e}\int_0^{\phi} f\, p(r)\, r^2\, d\phi\, dr$$

La soluzione dipende dall'ipotesi sulla distribuzione della pressione p

Hp → La riduzione di spessore h dovuta all'usura nell'unità di tempo è costante e indipendente dal raggio

LEGGE DI ARCHARD

$$\frac{dh}{dt} = \frac{C_u}{H}\, p(r)\, \omega r = \text{cost} \Rightarrow p(r) = \frac{\text{cost}}{r}$$

$$p(r) = p_{max}\frac{r_i}{r}$$

la pressione è inversam. proporz. al raggio

- ATTRITO AL SOTTOTESTA

$$\dots + d_t \, Tg\varphi_s$$

→ coeff attrito sottotesta-pezzo

- II PIANO INCLINATO → filetto (dente)

$$\cancel{\mu} \to \varphi' \qquad Tg\varphi' = \frac{Tg\varphi}{\cos\alpha} \qquad \alpha = 30°$$

- CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

$$M_T^* = \frac{F_v}{2}\left(\frac{p}{\pi} + d_m \frac{Tg\varphi}{\cos\alpha}\right)$$

$$A_n = \frac{\pi d_n^2}{4} \qquad W_t = \frac{\pi d_n^3}{16}$$

$$\sigma_a = \frac{4F_v}{\pi d_n^2} \qquad \tau = \frac{16 M_T^*}{\pi d_n^3}$$

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau^2} = \sigma_a \sqrt{1 + 3\left(\frac{\tau}{\sigma_a}\right)^2}$$

$$\frac{\tau}{\sigma_a} = \frac{16 M_T^*}{\pi d_n^3} \cdot \frac{\pi d_n^2}{4F_v} = \frac{4}{d_n \cdot F_v} \frac{F_v}{2}\left(\frac{p}{\pi} + d_m \frac{Tg\varphi}{\cos\alpha}\right) = \frac{2}{d_n}\left(\frac{p}{\pi} + d_m \frac{Tg\varphi}{\cos\alpha}\right)$$

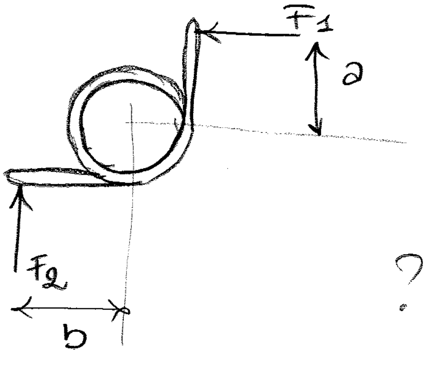
$$\sigma_{id} = \sigma_a \sqrt{1 + 3\left[\frac{2}{d_n}\left(\frac{p}{\pi} + d_m \frac{Tg\varphi}{\cos\alpha}\right)\right]^2} = \sigma_a \sqrt{1 + 3k^2}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{id}}{\sqrt{1+3k^2}} \approx \frac{\sigma_{id}}{1,3} \qquad \sigma_{a\,amm} = \frac{X R_{p02}}{\sqrt{1+3k^2}} \qquad X = 0,9$$

$$F_{v\,amm} = \sigma_{a\,amm} \cdot A_n$$

- MOLLE A ELICA DI TORSIONE

Nel montaggio possono interferire lateralmente ⇒ perno centrale con gioco (perchè quando forza aumenta diametro interno diminuisce)



$$M = F_1 a = F_2 b$$

$$\sigma = K_i \frac{32M}{\pi d^3} \ (\text{circolare}) \qquad \sigma = K_i \frac{6M}{bh^2} \ (\text{rettang.})$$

K_i → fattore di forma dipendente dalla curvatura

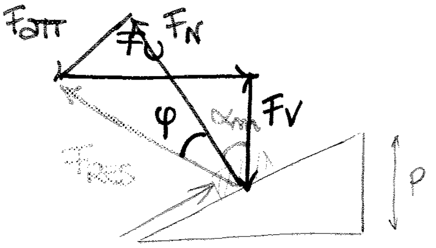
? deform.

$$\varphi = \frac{M}{EJ} \cdot L \qquad L = \pi n D$$

TEORIA (Dimostrazioni)

COLLEGAMENTI FILETTATI

- Momento di serraggio



F_u, F_v componenti momento serraggio

Fres forza resistente all'avvitamento (si oppone a momento serraggio)

$$M_T = F_u \frac{d_m}{2} = \frac{F_v}{2}\left[d_m Tg(\alpha_m + \varphi)\right]$$

$$F_u = F_v Tg(\alpha_m + \varphi)$$

$Tg\varphi = \mu$ (coeff d'attrito)

FILETTO TRIANGOLARE → secondo piano inclinato

$\alpha = 30°$ (inclinaz fianco filetto)

$$Tg\varphi' = \frac{Tg\varphi}{\cos\alpha}$$

VEDI ANCHE MOMENTO DI SVITAMENTO

$$M_T = \frac{F_v}{2}\left[d_m Tg(\alpha_m + \varphi') + \underbrace{d_t Tg\varphi_s}_{\text{attrito sottotesta}}\right]$$

- Resistenza del fusto

$$M_T^*(\text{fusto}) = \frac{F_v}{2}\left[d_m Tg\alpha_m + d_m Tg\varphi'\right] = \frac{F_v}{2}\left(\frac{p}{\pi} + d_m\frac{Tg\varphi}{\cos\alpha}\right)$$

sezione minore → d nocciolo

$$A_n = \frac{\pi d_n^2}{4} \qquad W_t = \frac{\pi d_n^3}{16}$$

$$\sigma_a = \frac{4F_v}{\pi d_n^2} \qquad \tau = \frac{16 M_T^*}{\pi d_n^3}$$

VON MISES → $\sigma_{id} = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau^2} = \sigma_a\sqrt{1 + 3\left(\frac{\tau}{\sigma_a}\right)^2}$

$$\frac{\tau}{\sigma_a} = \frac{\cancel{16}^{4} M_T^*}{\cancel{\pi} d_n^{\cancel{3}}} \cdot \frac{\cancel{\pi} \cancel{d_n^2}}{\cancel{4} F_v} = \frac{\cancel{4}^{2}}{d_n \cancel{F_v}} \cdot \frac{\cancel{F_v}}{\cancel{2}}\left(\frac{p}{\pi} + d_m\frac{Tg\varphi}{\cos\alpha}\right) = \frac{2}{d_n}\left(\frac{p}{\pi} + d_m\frac{Tg\varphi}{\cos\alpha}\right)$$

$$\sigma_{id} = \sigma_a\sqrt{1 + 3\left[\frac{2}{d_n}\left(\frac{p}{\pi} + d_m\frac{Tg\varphi}{\cos\alpha}\right)\right]^2} = \sigma_a\sqrt{1 + 3k^2}$$

$$= \sigma_a \cdot 1{,}3$$ (in più c'è la torsione)

3

$$e = \frac{M_s}{p_{max}} \quad \text{efficacia}$$

$$\rho = \frac{r_e}{r_i}$$

valore ottimale:

$$\frac{de}{d\rho} = 0 \qquad \rho = \sqrt{3}$$

$$r_e = 1{,}7 r_i \qquad r_m = 0{,}78 r_e$$

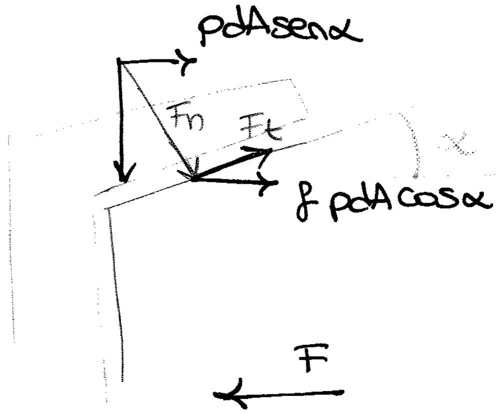
FRIZIONE MONODISCO

$$M_s = 2 f F r_m$$

FRIZIONE MULTIDISCO

$$M_s \simeq z f F r_m$$

- INNESTI A FRIZIONE CONICI



$$F = \int_A p(\operatorname{sen}\alpha + f\cos\alpha)\, dA$$

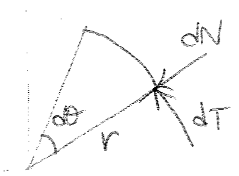
$$\int_A p\, dA = \frac{F}{\operatorname{sen}\alpha + f\cos\alpha}$$

$$M_s = \int_A f\, p\, dA \, \frac{r_e + r_i}{2} = \frac{f F}{\operatorname{sen}\alpha + f\cos\alpha} \, \frac{r_e + r_i}{2}$$

$$e = \frac{M_s}{F} \sim \text{ottimizzato } \frac{de}{df} = 0 \Rightarrow \operatorname{Tg}\alpha = 1 - f$$

COLLEGAMENTI MOZZO-ALBERO

- Trasmissione del momento torcente



$$dN = p\, r\, d\theta \cdot b$$

$$dT = f\, dN = f\, p\, r\, d\theta\, b$$

$$r = \frac{D_c}{2}$$

pressione di forzamento minima perché si trasmetta momento torcente

$$M_t = \int_0^{2\pi} dT \cdot r = 2\pi r^2 b f p \Rightarrow p = \frac{M_t\, 2}{D_c^2\, b f \pi}$$

(5)

$$= -p\,\frac{1}{E}\,\frac{r}{1-\left(\frac{Di}{De}\right)^2}\left[1-\nu-\left(\frac{Di}{D}\right)^2(1+\nu)\right]$$

?

CAVO $u_a = -p\,\frac{De}{2}\,\delta_a$

PIENO $u_a = -p\,\frac{De}{2}\,\frac{(1-\nu)}{E}$

- Tensioni e spostamento radiale nel mozzo

$p_i = p \quad p_e = 0$

$$\sigma_r = -p\,\frac{\left(\frac{Di}{D}\right)^2-\left(\frac{Di}{De}\right)^2}{1-\left(\frac{Di}{De}\right)^2} \qquad \sigma_c = p\,\frac{\left(\frac{Di}{D}\right)^2+\left(\frac{Di}{De}\right)^2}{1-\left(\frac{Di}{De}\right)^2}$$

$$u_m = p\,\frac{D}{2E}\,\frac{(1+\nu)\left(\frac{Di}{D}\right)^2+(1-\nu)\left(\frac{Di}{De}\right)^2}{1-\left(\frac{Di}{De}\right)^2} = p\,\frac{D_{mi}}{2}\,\delta_m$$

- Pressione di forzamento

$$i = 2\left(|u_{ae}|+|u_{mi}|\right) = p\left(\delta_a D_{ae} + \delta_m D_{mi}\right)$$

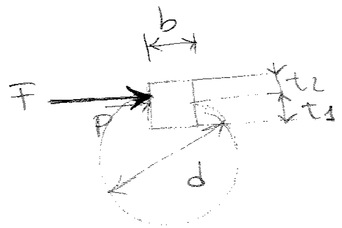
$$\Rightarrow p = \frac{i}{\delta_a D_{ae}+\delta_m D_{mi}} \qquad D_{mi} \approx D_{ae} \approx D_c$$

$$\Rightarrow p = \frac{i}{D_c(\delta_a+\delta_m)}$$

ACCOPPIAMENTO CONICO

SERRAGGIO CON BULLONI

- Calcolo della lunghezza della linguetta



$$F = \frac{2M_t}{d} \qquad p = \frac{F}{t_2 L}$$

Il calcolo della lunghezza viene svolto limitando la pressione ammissibile sui fianchi.

$$p = \frac{F}{t_2 L} = \frac{2M_t}{d\,t_2 L} \leq p_{amm}$$

$$L \geq \frac{2M_t}{d\,t_2\,p_{amm}}$$

$p_{amm} = 45 \div 65$ MPa (acciaio - ghisa)

$p_{amm} = 75 \div 115$ MPa (acciaio - acciaio)

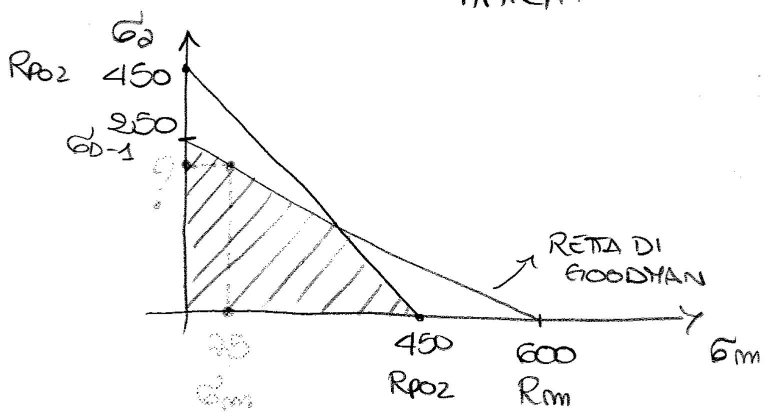
ECDM

ESERCITAZIONE 1

- ESERCIZIO 1

Haigh a vita illimitata $\rightarrow N = 2 \cdot 10^6$ cicli
Per un materiale avente limite di fatica alternato $\sigma_{D-1} = 250$ MPa
$R_{p02} = 450$ MPa e $R_m = 600$ MPa.
Calcolare poi la tensione limite di fatica σ_D = ?
in caso di $\sigma_m = 75$ MPa.

HAIGH



$\sigma_D = ? \rightarrow \sigma_m = 75$ MPa

incognita

$$\frac{\sigma_m}{R_m} + \frac{\sigma_a}{\sigma_{D-1}} = 1$$

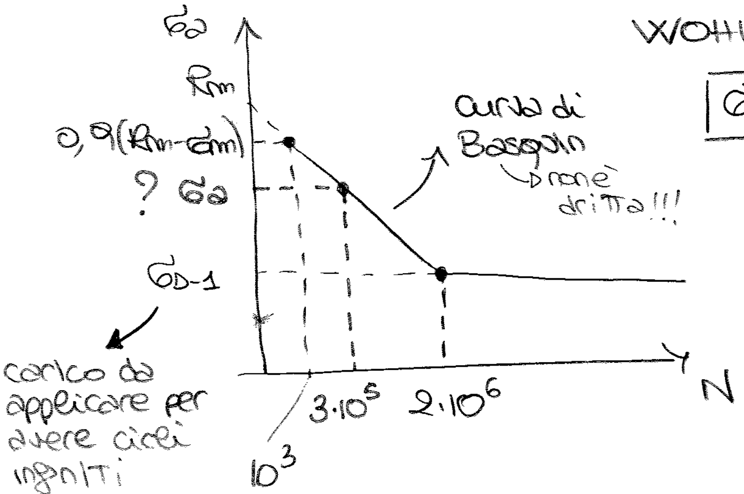
$\sigma_a = 218,75$ MPa

- ESERCIZIO 2

Materiale con $\sigma_{D-1} = 450$ MPa per $N = 2 \cdot 10^6$ cicli
$K = 7,5$ (esponente curva di Wohler)
Calcolare la tensione limite alternata corrispondente a
$N = 3 \cdot 10^5$ cicli $\qquad \sigma_a = ?$

WOHLER

$\boxed{\sigma_m = \text{cost} = 0}$



$\sigma_{D-1}^K \cdot N = \text{cost}$

$\text{cost} = 450^{7,5} \cdot 2 \cdot 10^6$
$= 1,585 \cdot 10^{26}$

$\sigma_a^K \cdot N = \text{cost}$

$$\sigma_a = \sqrt[K]{\frac{\text{cost}}{N}} = 579 \text{ MPa}$$

③

$\sigma_a^{\ k} \cdot N_3 = \text{COST}$

$$N_3 = \frac{\sigma_a^{\ k}}{\text{COST}} = \frac{420^{10,244}}{4,767 \cdot 10^{31}} = 6,4 \cdot 10^4 \text{ cicli}$$

- ESERCIZIO 4

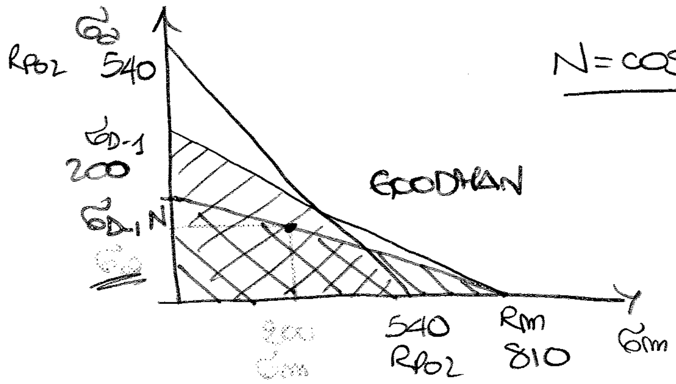
Diagramma di Haigh per vita a termine → a vita illimitata !!

$N = 5 \cdot 10^5$ cicli

per materiale $\sigma_{D-1} = 200\,MPa$ $R_{P02} = 540\,MPa$ e $R_m = 810\,MPa$

calcolare la tensione limite alternata con $\sigma_m = 200\,MPa$.

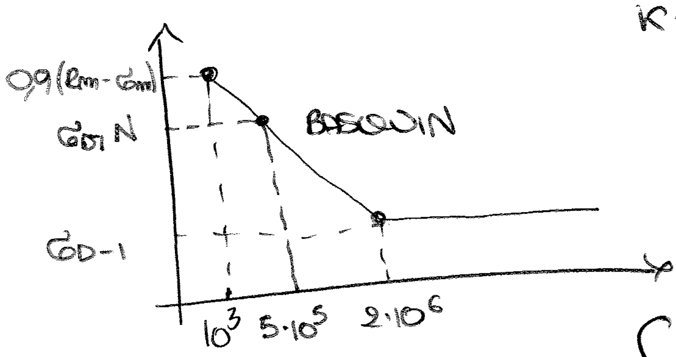
HAIGH



$N = \text{COST} = 5 \cdot 10^5$

$\sigma_{D-1N} = ?$ $N = 5 \cdot 10^5$ cicli CON WOHLER

WOHLER



$K = 5,87$ (ricavato con le quadi)

$$\boxed{\sigma^K \cdot N = \text{COST}}$$

$$\begin{cases} \sigma_a^{\ K} \cdot 10^5 \cdot 5 = \text{COST} \\ \sigma_{D-1}^{\ K} \cdot 2 \cdot 10^6 = \text{COST} \end{cases}$$

$\sigma_a = \sigma_{D-1N}$

$$\sigma_{D-1N} = \sqrt[K]{\frac{\sigma_{D-1}^{\ K} \cdot 2 \cdot 10^6}{5 \cdot 10^5}} = 253,28\ MPa.$$

→ HAIGH

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_{D-1}} + \frac{\sigma_m}{R_m} = 1 \implies \sigma_a = 191\ MPa.$$

- ESERCIZIO 6

Rullino

$\sigma_{D-1} = 100\,MPa$ $\qquad$ $\sigma_{max} = 350\,MPa$

$R_m = 600\,MPa$ $\qquad$ $\sigma_{min} = 250\,MPa$

$R_{p0,2} = 460\,MPa$ $\qquad$ $\sigma_{rull} = -400\,MPa$

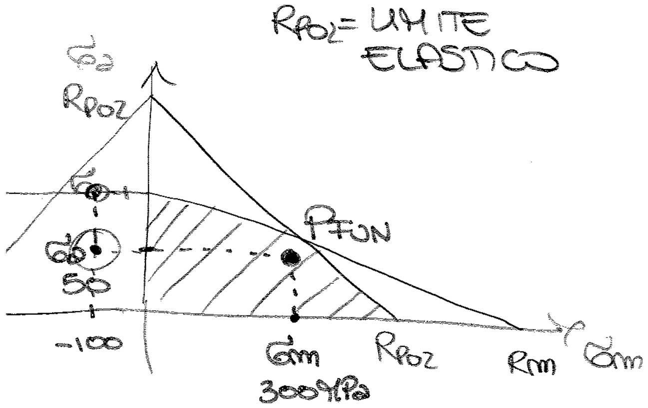
CS = ?

$\sigma_m = 300\,MPa$

$\sigma_a = 50\,MPa$

$$CS = \frac{LIM}{FUN} = \frac{\sigma_D}{\sigma_{a\,FUN}}$$

HAIGH



σ_m = COST

σ_a VARIA

La rullatura aggiunge una COMPRESSIONE di 400 MPa

$\sigma_m = -100\,MPa$ COMPRESSIONE

$$CS = \frac{\sigma_{D-1}}{\sigma_a^{FUN}} = \frac{100}{50} = 2$$

- ESERCIZIO 7

d = 30 mm · albero → mom flettente

$\left.\begin{array}{l} M_{fm} = 600\,Nm \\ M_{fa} = 200\,Nm \end{array}\right\}$ $\underline{\text{flessione}}$ $C_L = 1$ $\qquad$ $\left.\begin{array}{l} R_m = 1000\,MPa \\ R_{p02} = 800\,MPa \\ \sigma_{D-1} = 600\,MPa \end{array}\right\}$ ottenuta con prova di fatica a flessione rotante

→ P.FUN

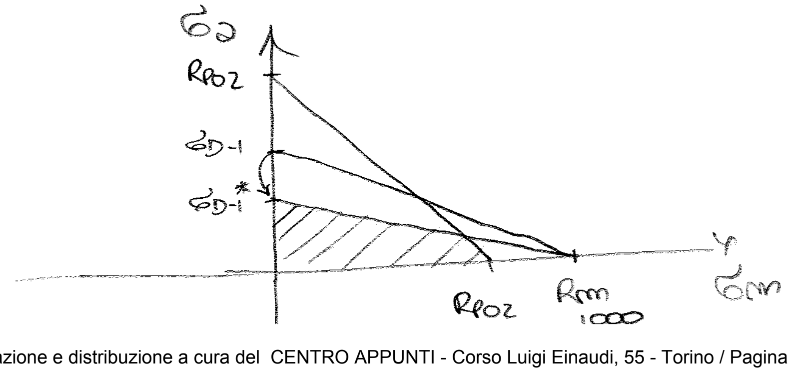
$R = 2\mu m$ (rugosità)

HAIGH?

CS = ?

σ_m COST

σ_a VARIA



- ESERCIZIO 8

Spallamento $D = 25\ mm$

$d = 20\ mm$

$r = 2\ mm$ (raccordo)

$R_m = 1180\ MPa$

$R_{p02} = 880\ MPa$

$\sigma_{D-1}^{f} = 480\ MPa$

$R = 2\ \mu m$

$CS = ?$

Momento flettente $M^F_{min} = 20\ Nm$

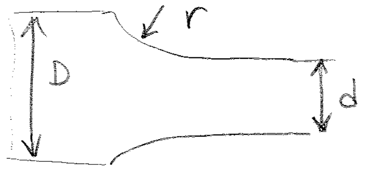
$M^F_{max} = 55\ Nm$

Sforzo normale $N_{min} = -30000\ N$

$N_{max} = -10000\ N$

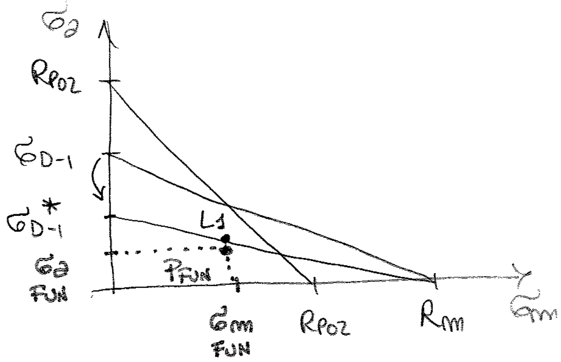
$\sigma_m = cost$

σ_a VARIA



$$CS = \frac{LIM}{FUN} = \frac{L_1}{P_{FUN}} = \frac{L_1}{\sigma_a^{FUN}}$$

$$\sigma_{D-1}^{*} = \frac{\sigma_{D-1}}{K_f} C_S C_d \overset{0{,}92}{C_F}$$



$$\begin{cases} M_f^{min} \rightarrow \sigma_{min}^{f} = \dfrac{M_f^{min}}{W_f} \\ M_f^{max} \rightarrow \sigma_{max}^{f} = \dfrac{M_f^{max}}{W_f} \\ N_{min} \rightarrow \sigma_{min}^{N} = \dfrac{N_{min}}{A} \\ N_{max} \rightarrow \sigma_{max}^{N} = \dfrac{N_{max}}{A} \end{cases}$$

$$W_f = \frac{\pi d^3}{32}$$

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

$7 \cdot 10^7 - 3{,}2 \cdot 10^7 = 3{,}8 \cdot 10^7 = 38\ MPa$

$$\left.\begin{aligned} \sigma_{max} &= \sigma_{max}^{f} + \sigma_{max}^{N} \\ \sigma_{min} &= \sigma_{min}^{f} + \sigma_{min}^{N} \end{aligned}\right\} \quad \sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} = -16\ MPa \qquad \sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} = 54\ MPa$$

$2{,}5 \cdot 10^7 \quad - 9{,}5 \cdot 10^7 = -7 \cdot 10^7 = 70\ MPa$

ESERCITAZIONE 2

ESERCIZIO 1

Albero $D = 25mm$ Torsione alternata $M_t = 250 Nm$

Intaglio $K_t^N = 1,5$ (fattore di forma in trazione) $C_L = 0,7$

$K_t^F = 1,9$ (fattore di forma in flessione) $C_L = 1$

$q = 0,9$

Materiale acciaio 50CrMo4 $R_m = 1100 MPa$

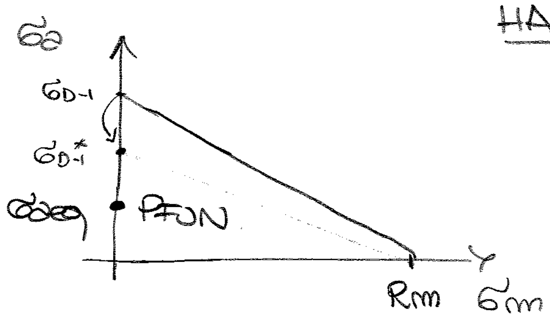
$\sigma_{D-1} = 550 MPa$ in prova di flessione rotante

$C_F = 1$

$C_S = 1$

$CS = ?$

HAIGH



$$CS = \frac{LIM}{PFUN}$$

$\boxed{\sigma_m = 0}$ → non ho infl.

$$M_t \rightarrow \tau = \frac{M_t}{W_t} = \frac{M_t}{\frac{\pi d^3}{16}} = \frac{250}{\frac{\pi \cdot 0{,}025^3}{16}} = 81,52 MPa$$

$$\sigma = \frac{M_f}{W_f} = \frac{M_f}{\frac{\pi d^3}{32}}$$

$$\sigma_a = ? \Rightarrow \sigma_{aeq} = \sqrt{\cancel{\sigma^2} + 3\tau^2} = \sqrt{3}\,\tau =$$

$= 141,2 MPa$

TRAZIONE

$$\sigma_{D-1\,(1)}^* = \frac{\sigma_{D-1}}{K_{f1}} \cancel{C_S C_F} C_L = \frac{550}{1,45} \cdot 0,7 = 265,5 MPa$$

K_{f1} → dipende se scelgo K_t^N, K_t^F scelgo la + cautelativa!

+ CAUTELATIVA perché + basso

$$K_f = 1 + q(K_t - 1)$$

FLESSIONE

$$\sigma_{D-1\,(2)}^* = \frac{\sigma_{D-1}}{K_{f2}} \cancel{C_S C_F} C_L = \frac{550}{1,81} \cdot 1 = 303,87 MPa$$

$\sigma_{D-1\,(traz)}^* = 265,5 MPa$

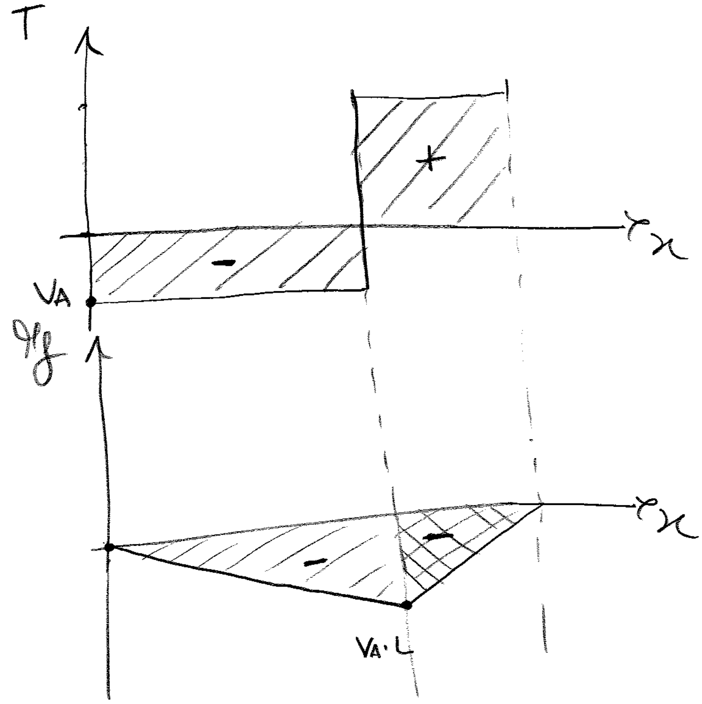
$$CS = \frac{\sigma_{D-1}^*}{\sigma_{aeq}} = \frac{265,5}{141,2} = 1,88$$

$$\begin{cases} V_A + T = V_B \\ N = 0 \\ M_f + V_A\, x - V_B\,(x-L) = 0 \end{cases}$$

$M_f = V_B(x-L) - V_A x$

L'effetto di taglio è trascurabile rispetto agli altri! → in teoria dovrei fare tutti e 2 e poi calcolare la σ_{eq}

La derivata del momento flettente è il taglio!



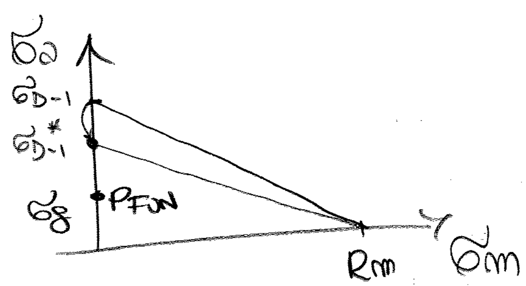
τ è trascurabile

$M_f(B) = V_A \cdot L = 450$ Nm

$$\sigma_f = \frac{M_f}{W_f} = \frac{M_f}{\frac{\pi d^3}{32}} = \frac{450 \cdot 32}{\pi \cdot (38 \cdot 10^{-3})^3} = 83{,}6\ \text{MPa}$$

d^3 → d minore

$\boxed{\sigma_m = 0}$



$$\sigma^*_{D-1} = \frac{\sigma_{D-1}}{K_f}\, C_F\, C_S\, \cancel{C_L}$$

C_F: da grafico 0,95

C_S: da grafico 0,85

K_t → da grafico $\frac{D}{d} = 1{,}2$ $\frac{r}{d} = 0{,}04$

$K_t = 2 \Rightarrow K_f = 1 + q(K_t - 1)$

$q = 0{,}9$ → da grafico $= 1 + 0{,}9(2-1) = 1{,}9$

$$\sigma^*_{D-1} = \frac{450}{1{,}9} \cdot 0{,}95 \cdot 1 = 225\ \text{MPa}$$

0,85

ESERCIZIO 6

Costruire WÖHLER ($\sigma_m = 0$)

$\sigma_{D-1} = 250\ MPa$ ($N \geq 2 \cdot 10^6$)

$R_m = 600\ MPa$

$\sigma_{a,1} = 450\ MPa$ $\quad n_1/N = 0{,}08$

$\sigma_{a,2} = 380\ MPa$ $\quad n_2/N = 0{,}24$

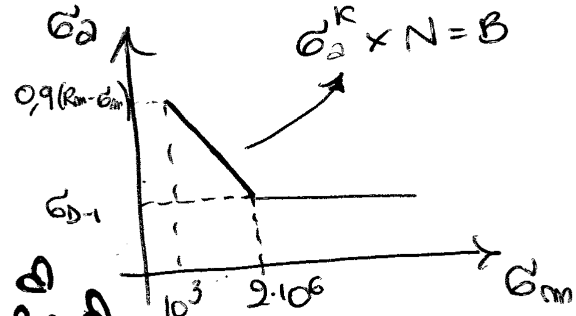
$\sigma_{a,3} = 310\ MPa$ $\quad n_3/N = 0{,}40$

$\sigma_{a,4} = 290\ MPa$ $\quad n_4/N = 0{,}08$

~~$\sigma_{a,5} = 200\ MPa$ $\quad n_5/N = 0{,}2$~~ non toglie vita utile al componente!

Calcolare la durata del componente. (N_{TOT})

se $\sigma_a > \sigma_{D-1}$ toglie vita al componente.



$$N_{TOT} = \frac{1}{\sum \frac{\alpha_i}{N_i}}$$

solo quelle che sono dannose x la vita del comp.

$$\boxed{\alpha_i = \frac{n_i}{N}}$$

$$\begin{cases} \sigma_{D-1}^k \times 2 \cdot 10^6 = COST \\ (0{,}9 R_m)^k \times 10^3 = COST \end{cases} \rightsquigarrow (0{,}9 R_m)^k \cdot 10^3 = (\sigma_{D-1})^k \cdot 2 \cdot 10^6$$

$$\frac{(0{,}9 R_m)^k}{\sigma_{D-1}^k} = \frac{2 \cdot 10^6}{10^3}$$

$$\left(\frac{0{,}9 R_m}{\sigma_{D-1}}\right)^k = \frac{2 \cdot 10^6}{10^3}$$

$$k \log\left(\frac{0{,}9 R_m}{\sigma_{D-1}}\right) = \log \frac{2 \cdot 10^6}{10^3}$$

$k = 9{,}87$

$COST = 9{,}30 \cdot 10^{29}$

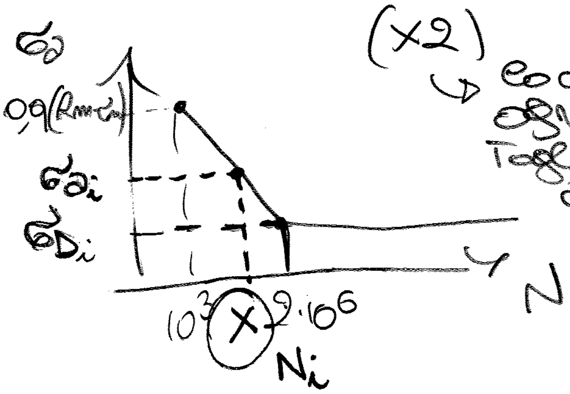
$$N_1 = \frac{COST}{\sigma_{a,1}^k} = 6043{,}32$$

$N_2 = 32064{,}1$

$N_3 = 239190{,}0$

$N_4 = 461971{,}0$

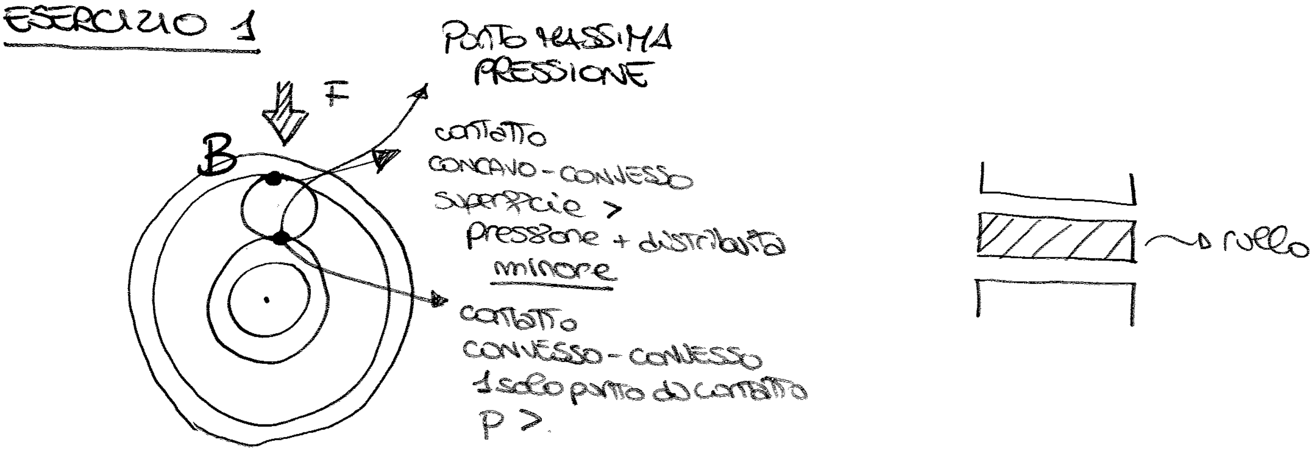
$$N_{TOT} = \frac{1}{\sum \frac{\alpha_i}{N_i}} = 44310$$



(x2)
→ e devo fare x ogni ciclo che taglia vita utile al componente!

ESERCITAZIONE 3

ESERCIZIO 1



1) $\sigma = 1500\,MPa$ (R_{p02}) (devo trovare F in modo tale da avere questo σ)

(*) $$P_{max} = \frac{2F}{\pi L b} \qquad \left[\sigma = \frac{F}{A} \Rightarrow F = \sigma \cdot A\right]$$

Nel contatto cilindro-cilindro c'è una minima deformazione
⇝ rettangolo di contatto

$$P_{max} = \frac{\sigma_{id}}{0{,}60} \quad [\text{SLIDE } 16]$$ (σ_{id} ⇝ R_{p02}) nel caso cilindro-cilindro

↓

$$P_{max} = 2500\,MPa$$

$$b = \sqrt{\frac{4F}{\pi L\, 2(\alpha_y + \beta_y)}\left(\frac{1-\nu^2}{E}\right)\cdot 2}$$

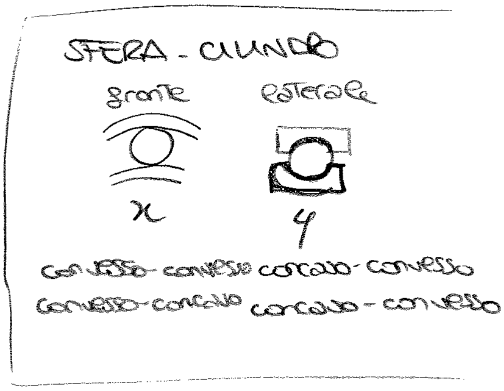
$$\alpha_y = \frac{+1}{D_{rullo}}$$

$$\beta_y = \frac{+1}{D_{eAI}}$$

$b = f(F)$ ⇝ sostituisco sopra (*) per trovare F.

La pressione in B ⇝ $P_B = \dfrac{2F}{\pi L b}$ → cambia b

perché ≠ punto in cui sto calcolando



ESERCITAZIONE 4 - Solidi assialsimmetrici

ESERCIZIO 1

$E = 2 \cdot 10^5$ MPa

$\rho = 7800$ kg/m^3

$\nu = 0{,}3$

$\alpha = 11 \cdot 10^{-6}$ °C^{-1}

$D_i = 300$ mm

$D_e = 400$ mm

ENTRAMBE LE ESTREMITÀ INCASTRATE $\boxed{\sigma_z \neq 0}$ SFORZO

$\boxed{\varepsilon_z = 0}$ DEFORMAZIONE

$p_i = 100$ MPa

$\Delta T = 50$ °C

σ_{id} al bordo interno = ?

secondo ipotesi cedimento Von Mises

TRATTAZIONE DI LAMÉ

$$\boxed{\begin{cases} \sigma_r = A - \dfrac{B}{r^2} \\ \sigma_c = A + \dfrac{B}{r^2} \end{cases}}$$

$$\boxed{\sigma_{r_i} = -p_i}$$

$\sigma_{re} = 0$ $\rightarrow$ la pressione esterna è 0 (strumenti operano con condizioni p atm)

σ_{re} è quella che bilancia la p esterna!

$$\sigma_{re} = 0 = A - \frac{B}{r^2} \Rightarrow A = \frac{B}{r_e^2}$$

$$\begin{cases} 0 = A - \dfrac{B}{r_e^2} \rightarrow A - \dfrac{B}{200^2} \\ -100 = A - \dfrac{B}{r^2} \rightarrow A - \dfrac{B}{150^2} = -100 \; ; \; A = -100 + \dfrac{B}{150^2} \end{cases}$$

$$-100 + \frac{B}{150^2} - \frac{B}{200^2} = 0$$

ESERCIZIO 3

Anello sottile

$E = 2 \cdot 10^5$ MPa

$\rho = 7800$ Kg/m^3 $= \frac{7800}{10^9}$ Kg/mm^3

$D_i = 300$ mm

$s = 10$ mm

$\omega = 15000$ giri/min

$u_e = ?$

NB

$\omega = 15000$ giri/min $= 15000 \frac{2\pi}{60} =$

$= 1570$ rad/s

$$u_e = \frac{D_e}{2} \varepsilon_c = \frac{D_e}{2} \frac{\sigma_c}{E}$$

$$\sigma_c \cong \rho \omega^2 \frac{D_e^2}{4} = \frac{7800}{10^9} \boxed{15000^2} \frac{320^2}{4} = 4{,}9 \cdot 10^5$$

$4{,}9 \cdot 10^5$

$$u_e = \frac{D_e}{2} \frac{\sigma_c}{E} = \frac{320}{2} \frac{4{,}9 \cdot \cancel{10^5}}{2 \cdot \cancel{10^5}} =$$

$$\varepsilon_{ce} = \frac{\sigma_{ce}}{E} - \frac{\nu}{E}(\underbrace{\cancel{\sigma_{re}}}_{=0} + \underbrace{\cancel{\sigma_{ze}}}_{=0})$$

?

PORTA TUTTO IN METRI!

ESERCIZIO 4

Albero pieno in acciaio

$E = 2 \cdot 10^5$ MPa

$\nu = 0{,}3$

$D_e = 300$ mm

caricato al bordo esterno da tensione radiale e presenta $u_e = 70\,\mu m$

ASSIALMENTE LIBERO $\rightarrow$ $\sigma_z = 0$ MPa

Tensione circonferenziale al centro dell'albero?

$\sigma_c = ?$

SLIDE 34

~~$u_e = -p_e \frac{D}{2E}(1-\nu) + \frac{D}{2}\alpha\Delta T$~~

$$u_e = -p_e \frac{D}{2E}(1-\nu) + \cancel{\frac{D}{2}\alpha\Delta T}$$

$\boxed{B = 0}$

$\sigma_r = \sigma_c = A = -p_e = \text{COST}$ $\boxed{\text{UNICE}}$

$\left(u_e = \varepsilon r = r \frac{1}{E}(\sigma_c - \nu(\sigma_r + \cancel{\sigma_z})) + \cancel{\Delta T \alpha} \right)$

$= r \frac{1}{E} \sigma_c (1-\nu)$

ESERCIZIO 6

Tubo spesso

$E = 2 \cdot 10^{11}\ Pa$

$\nu = 0{,}3$

Estremi incastrati $\quad \sigma_z \neq 0$

$\varepsilon_z = 0$

$r_e = 130\ mm$

$r_i = 100\ mm$

$p_i = 8\ MPa$

$$\boxed{\sigma_{r_i} = -p_i}$$

$\sigma_z = ?$

LAMÉ
$$\begin{cases} \sigma_{r_i} = A - \dfrac{B}{r_i^2} \\ \sigma_c = A + \dfrac{B}{r^2} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \sigma_{r_e} = 0 = A - \dfrac{B}{r_e^2} \\ \sigma_{r_i} = A - \dfrac{B}{r_i^2} \end{cases}$$
[NON HO PRESSIONE ALL'ESTERNO]

$$A = \frac{B}{r_e^2} \Rightarrow -8 = \frac{B}{r_e^2} - \frac{B}{r_i^2} \; ; \; -8 = B\left(\frac{1}{r_e^2} - \frac{1}{r_i^2}\right)$$

$$B = \frac{-8}{\frac{1}{r_e^2} - \frac{1}{r_i^2}} = \frac{-8}{\frac{1}{130^2} - \frac{1}{100^2}} = 1{,}96 \cdot 10^5\ N$$

$$A = \frac{B}{r_e^2} = \frac{1{,}96 \cdot 10^5}{130^2} = 11{,}598\ MPa.$$

$$\sigma_z = 2\nu A - \cancel{E\alpha\Delta T} = 2 \cdot 0{,}3 \cdot 11{,}598 = 6{,}9588\ MPa$$
$$= 7\ MPa.$$

ESERCITAZIONE 5 - COLLEGAMENTI MOZZO-ALBERO

ESERCIZIO 1

Collegamento forzato mozzo-albero $D_C = 45mm$ viene montato a caldo con interferenza nominale

$i_{nom} = 35\mu m$

$T_0 = 20°C$ (Temp iniziale)

$S = 40\mu m$ (gioco di inforcamento)

Materiale acciaio $\rightarrow$ $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \, °C^{-1}$

$E = 2 \cdot 10^5 MPa$

$\nu = 0{,}3$

Temp di montaggio

$$\Delta T = \frac{i_{max} + S}{\alpha D_C 10^3} = \frac{i_{nom} + S}{\alpha D_C 10^3} \quad (\text{SU DE } 20)$$

10^3 → Per trasformare μm in mm

$\Delta T = 139°C$

$T_f = T_0 + \Delta T = 159°C$

ESERCIZIO 2

Mozzo calettato su un albero ($D_C = 50mm$) $i_{nom} = 25\mu m$

$R_a = 5\mu m$ (rugosità)

$\delta_a = 4{,}8 \cdot 10^{-6} \, mm^2/N$

$R_m = 4\mu m$

$\delta_m = 2{,}8 \cdot 10^{-5} \, mm^2/N$

Pressione di forzamento effettiva $p = ?$

$$\Delta i^R = 2 \cdot 0{,}4 \left(R_a^{albero} + R_a^{mozzo}\right) = 7{,}2\mu m$$

$$p = \frac{i_{eff}}{(\delta_a \cdot D_{ae} + \delta_m \cdot D_{mi})} = \frac{i_{eff}}{D_C(\delta_a + \delta_m)} = 11 MPa$$

$$i_{eff} = i_{nom} - \Delta i^R - \cancel{\Delta i^T} - \cancel{\Delta i^\omega} = i_{nom} - \Delta i^R = 17{,}8\mu m$$

★

ESERCIZIO 4

H7 → $100^{+0,035}_{0}$

p6 → $100^{+0,59}_{+0,037}$

ω = 8000 giri/min

D_c = 100 mm

D_e = 113 mm

Perdita interferenza dovuta a effetto centrifugo

$i_{min} = 0,002\ mm = 2\ \mu m$

Perdita di interferenza → $\Delta_i^{\omega} = \frac{D_i \rho \omega^2 D_e^2}{4E} = 8,7 \cdot 10^{-3}\ mm$

$> 2\ \mu m$

⇒ non sussistono le condizioni di interferenza.

→ cambiare accoppiamento!

↳ $r6^{+73}_{+51}$

$i_{min} = 16\ \mu m$.

ACCIAIO

$\rho = 7800\ kg/m^3$

ESERCIZIO 5

Pleggio Alluminio $E = 7 \cdot 10^4\ MPa$

$\nu = 0,3$

$\alpha^* = 23 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1}$

Albero pieno acciaio $E = 2 \cdot 10^5\ MPa$

$\nu = 0,3$

$\alpha^* = 11 \cdot 10^{-6}\ °C^{-1}$

$D_c = 50\ mm$

$d_e = 90\ mm$ (d esterno mozzo)

$L = 100\ mm$ (lunghezza assiale mozzo)

$R_a = R_m = 4\ \mu m$ (finitura di tornio)

$M = 600\ Nm$ (coppia trasmessa)

$f = 0,2$ (coeff di attrito)

d) $t = ?$

x mozzo x montaggio

$g = 30\,\mu m$

$t_0 = 20°C$

$$\Delta T = \frac{i_{max} + s}{\alpha D_c \cdot 10^3}$$

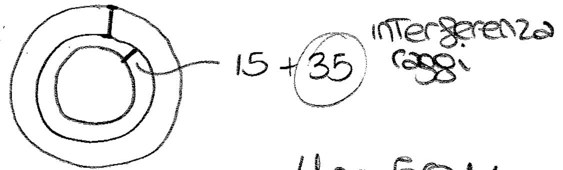
s → gioco del calettamento

10^3 → da mm a μm

$i_{max} = 70\,\mu m$ da punto b

$$\Delta T = \frac{70 + 30}{23 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \cdot 10^3} = 86,96\,°C$$

$$t = t_0 + \Delta t = 86,96 + 20 = 106,9°C \simeq 107°C$$



$u_r = 50\,\mu m$

$$\boxed{u_r = r \cdot \varepsilon_c}$$

$$\varepsilon_c = \left[\underbrace{\cancel{\frac{1}{E}\sigma_c - \nu(\sigma_r + \sigma_z)}}_{=0}\right] + \alpha \Delta T \Rightarrow \varepsilon_c = \alpha \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{\varepsilon_c}{\alpha} = \frac{u_r}{r\alpha} = \frac{50 \cdot 10^3}{\alpha \cdot r_c}$$

Potevo fare lo stesso ragionamento sui diametri!!

e)

$$u_r = r \cdot \varepsilon_c = r \alpha \Delta T$$

$$\Delta u_r = r \Delta T (\alpha_m - \alpha_a) = 0,009\ mm = 9\,\mu m$$

Δi (sui diametri) $= 18\,\mu m$

$$\boxed{18\,\mu m < 29\,\mu m}\ [\text{da } b]$$

Non si scaletta ma non riesce a trasmettere questo momento. (29 μm nec)

ESERCITAZIONE 7 - COLLEGAMENTI FILETTATI

ESERCIZIO 1

vite rigida $E = 2 \cdot 10^5$ MPa

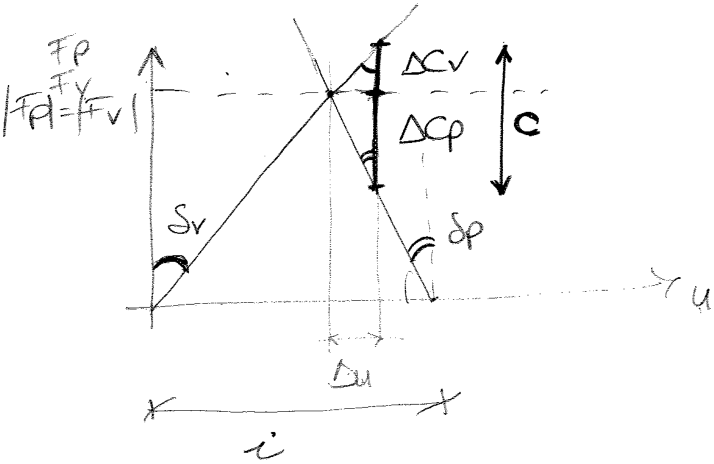
$d = 24$ mm

$l = 180$ mm

$$\delta p = \frac{1}{2} \delta v$$

il pezzo ha rigidezza doppia rispetto alla vite

Calcola frazione di carico sopportata dalla vite, espressa come percentuale del carico esterno.



$$\Delta C_v = C \frac{\delta p}{\delta v + \delta p}$$

$$\delta v = \frac{1}{E_v} \left(\frac{l}{A} \right)$$

$$\delta p = \frac{l_p}{E_p A_p}$$

vite + deformabile del pezzo $\Rightarrow$ + carico va sul pezzo
E se si deve rompere si rompe la vite e non il pezzo

$$\delta v = \frac{1}{2 \cdot 10^5} \left(\frac{180}{\pi \frac{d^2}{4}} \right) = 1{,}99 \cdot 10^{-6} \text{ mm/N}$$

$$\delta p = \frac{1}{2} \delta v = 0{,}995 \cdot 10^{-6} \text{ mm/N}$$

$$\Delta C_v = \frac{0{,}995 \cdot \cancel{10^{-6}}}{(1{,}99 + 0{,}995) \cdot \cancel{10^{-6}}} \cdot C$$

$$= 33\% \, C$$

ESERCIZIO 2

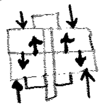
$$\delta p = \frac{1}{4} \delta v$$

Mi chiede la forza finale che agisce sul pezzo!! CARICO RESIDUO

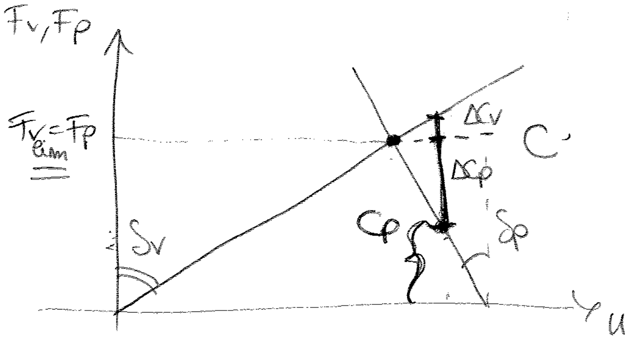
$$F_{max} = F_{v,lim} = 10000 \text{N} \quad \boxed{\to F_{vlim} - \Delta C_p}$$

$C = ?$ / C_p $\frac{1}{10}$ del valore di montaggio.

il carico tende ad allungare la vite $\Rightarrow$ tende a diminuire F_{vlim} (di montaggio) sul pezzo e tende ad aumentare quella sulla vite



CARICO CHE TENDE A SEPARARE LE SUPERFICI DEL PEZZO!!



$$\Delta C_p = \frac{1}{10} F_{vlim} = 1000 \text{N}$$

$$\Delta C_p = C \frac{\delta v}{\delta p + \delta v} = 9000 \text{N}$$

• ESERCIZIO 3

$CS = ?$

$L_{10} = ?$

$L_{10h} = ?$

CUSCINETTO A RULLI CILINDRICI

$F_r = 18000N$

$\omega = 5000$ giri/min

$C_0 = 36500N$

$C = 40200N$

$a_1 = 1$

$a_{23} = 1$

$F_a = 0$

FATICA

$\boxed{P = F_r}$ [X_0 non c'è]

$\boxed{\begin{array}{l} p = 3 \text{ SFERE} \\ p = 10/3 \text{ RULLI} \end{array}}$

$$CS = \frac{C_0}{P_0} = \frac{C_0}{F_r} = \frac{36500}{18000} = 2{,}03$$

$$L_{10} = a_1 a_{SKF} \left(\frac{C}{P}\right)^p = \left(\frac{40200}{18000}\right)^{10/3} = 14{,}56 \text{ MLN}$$

$$L_{10h} = \frac{L_{10} \cdot 10^6}{n\, 60} = \frac{L_{10} \cdot 10^6}{\underbrace{5000}_{\text{giri/min}} \cdot 60} = 48{,}53 \text{ ore}$$

$= 48h\ 32 \text{min}.$

$$C^P \cdot \cancel{10^6}^{\,1} = P^P L_{10}$$

• ESERCIZIO 4

CUSCINETTO A RULLI

45% → 2500 giri/min $P = 20000N$

40% → 3000 giri/min $P = 15000N$

15% → 2000 giri/min $P = 5000N$

$C_{min} = ?$ $L_{10} = 30$ MLN cicli

$$L_{10m} = \frac{1}{\sum \frac{U_i}{L_{10m\,i}}}$$

U = frazione di durata nelle condizioni di carico

$$L_{10m\,i} = a_1 a_{SKF} \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

$\frac{F_a}{F_r}$	e	x	y
0,33	0,36	/	/
0,33	0,34	/	/
0,33	0,30	0,56	1,45
0,33	0,26	0,56	1,71

se $\frac{F_a}{F_r} < e$ $\boxed{P = F_r}$

$$T = \frac{V^2}{S^2} \frac{1}{k^2} C$$

0,14 · CIELO APERTO
0,2 · CHIUSA

P	t %	rpm	n
12000	20	1000	200
9000	40	1500	600
6260	20	2000	400
3390	20	2500	500
			1700

U
0,12
0,35
0,24
0,29

$$L_{10i} = \left(\frac{C}{P_i}\right)^3$$

$$\boxed{\frac{1}{L_{TOT}} = \sum \frac{U_i}{L_{10i}}}$$

$c = 30,7$

$$\frac{1}{L_{TOT}} = \frac{0,12}{\left(\frac{C}{P_i}\right)^p} + \frac{0,35}{\left(\frac{C}{P_i}\right)^p} + \frac{0,24}{\left(\frac{C}{P_i}\right)^p} + \frac{0,29}{\left(\frac{C}{P_i}\right)^p} = 54,31 \text{ MLN}$$

$$L_{10h} = \frac{L_{10} \cdot 10^6}{60} \cdot \frac{1}{1700} = 532,5 \text{ h}$$

$\hookrightarrow \boxed{M_{TOT}}$

- ESERCIZIO 7

RADIALE A SFERE

$D = 65\,mm$

$n = 600\,giri/min$

$C = 12400\,N$ $\quad f_0 = 17$

$C_0 = 12700\,N$

CICLO	U_i	F_r	F_a	F_a/F_r	$f_0 \frac{F_a}{C_0}$	e	X	Y	P
1	0,2	3500	1500	0,429	2	0,33	0,56	1,31	3925
2	0,3	5000	2500	0,500	3,35	0,38	0,56	1,15	5675
3	0,4	7500	3500	0,467	4,69	0,41	0,56	1,07	7945
4	0,1	10000	6000	0,600	8,03	0,44	0,56	1	11600

$L_1 = \left(\frac{C}{P}\right)^3 = 31,17\ MLN$

$10,43\ MLN$

$3,8\ MLN$

$1,22\ MLN$

$a_1\ a_{SKF}$

$\frac{1}{L_{TOT}} = \sum_{i=1}^{4} \left(\frac{U_i}{L_i}\right) = 0,22\ MLN$

1 CICLO

$L_{TOT} = 4,49\ MLN$

$L_{10h} = \frac{L_{TOT} \cdot 10^6}{600 \cdot 60} = 125\ h$

ESERCITAZIONE 8 - collegamenti saldati

- ESERCIZIO 1

giunto saldato

piede: $p = 12\,mm$

$t = 12\,mm$

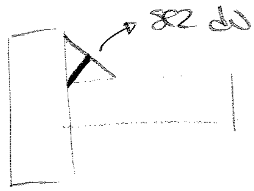
$H = 300\,mm$

$L = 250\,mm$

$F = 50000\,N$

→ verifica il giunto saldato

$CS = 1,5$ FISSO

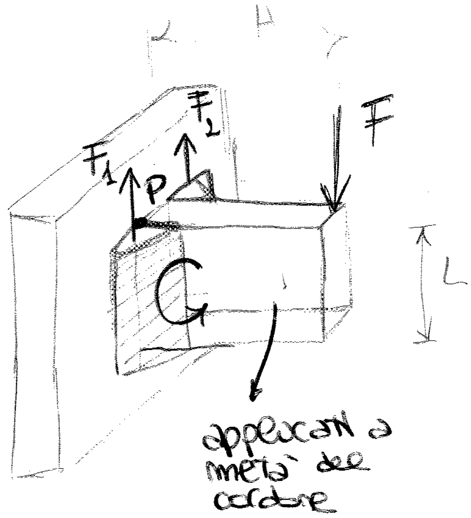


$A_{res} = L \cdot a$

→ altezza di gola

$F_1 = F_2 = \frac{F}{2}$

$F_1 = F_2 \quad O_1 = O_2$



~~$\uparrow)\ F_1 + F_2 = F$~~

~~$\rightarrow)$~~

~~$\curvearrowleft)\ -FH + O_1$~~

~~rispetto alla parete~~ rispetto al punto A

- ESERCIZIO 2

$h = 100\,mm$

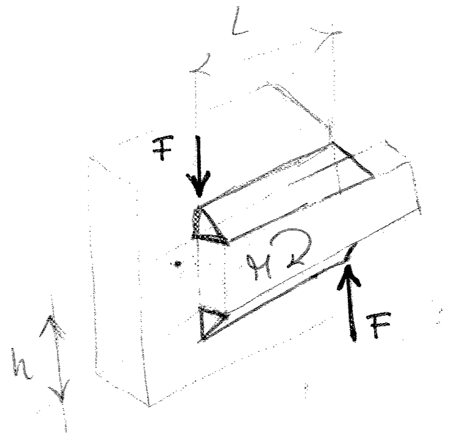
$s = 12\,mm$

$p = s$

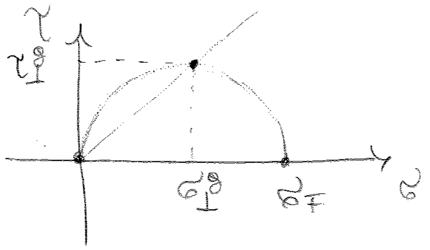
$L = 80\,mm$

riceve un momento puro M

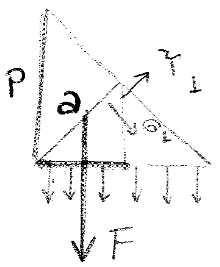
M_{MAX}



con il momento??



$$M = FL \quad \left(2F\frac{L}{2}\right)$$



σ_F ⇝ σ principali generate da F che devono essere riferite all'area azzurra

$$\sigma_\perp^g = \tau_\perp^g = \frac{\sigma_F}{2} = \frac{F}{p \cdot L}$$

$$\sigma_F = \frac{F}{\underbrace{\frac{p}{2} \cdot L}_{\text{area azzurra}}}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp g}^2 + 3\left(\tau_{\perp g}^2 + \underbrace{\tau_{/\!/ g}^2}_{=0}\right)} = \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

lo pongo uguale perché mi chiede il massimo

Avrei avuto $\tau_{/\!/}$ se F fosse stata rivolta lungo il piano della piattabanda (però non avrei avuto $\tau_\perp$

$$\sqrt{\sigma_{\perp g}^2 + 3\tau_\perp^2} = \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = 360\,MPa$$

$$\sqrt{4\sigma_{\perp g}^2} = 360 \Rightarrow \sigma_{\perp g} = \sqrt{\frac{360^2}{4}} = 180\,MPa$$

$$\Rightarrow F = \sigma_{\perp g}\, p \cdot L = 172800\,N$$

$$M = F \cdot L = 138240\,Nm.$$

- ESERCIZIO 5

$r = 500$ mm

$h = 180$ mm

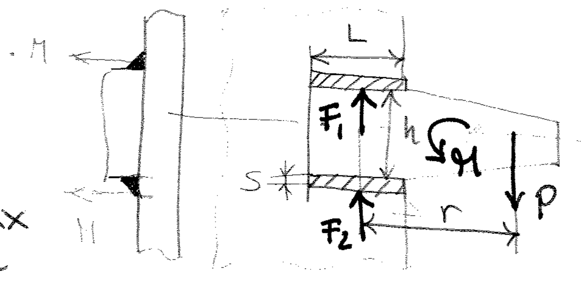
$L = 240$ mm

$s = 18$ mm (piede cordone)

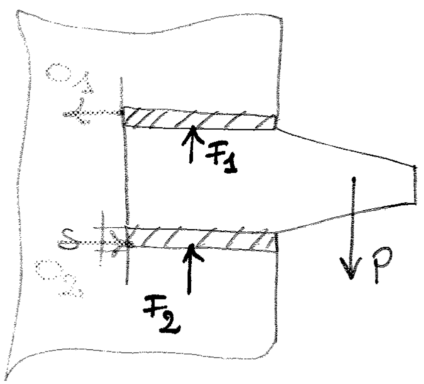
calcolare forza verticale max che il giunto può sopportare staticamente.

2 cordoni d'angolo

con le momento??



USIAMO LE FORZE



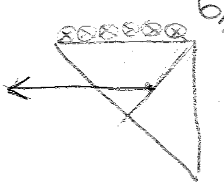
equilibrio:

$$\begin{cases} P = F_1 + F_2 \\ Pr = Q_1 h/2 + Q_2 h/2 \end{cases}$$

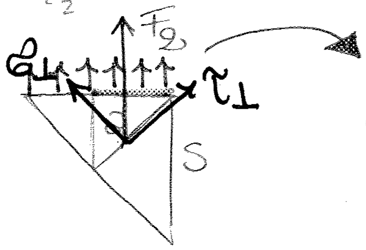
$P \cdot r = Q_2 \frac{h}{2} + Q_2 \frac{h}{2}$

$P \cdot r = Q_2 h$

$Q_2 = \frac{Pr}{h}$



$\sigma_{//}$ all'asse del cordone



$$\sigma_{F_2} = \frac{F_2}{A} = \frac{F_2}{\frac{a}{\sqrt{2}} L}$$

$Q \rightsquigarrow \tau_{//}$

$F \rightsquigarrow \sigma_{principale} \rightsquigarrow \sigma_\perp + \tau_\perp$

$$* \sigma_\perp = \tau_\perp = \frac{\sigma_{F_2}}{2} = \frac{F_2}{\frac{a}{\sqrt{2}} 2L} = \frac{F_2}{\sqrt{2}\, a L}$$

$$a = \frac{s}{\sqrt{2}} = \frac{18}{\sqrt{2}} = 12{,}73 \text{ mm}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp g}^2 + 3(\tau_{\perp g}^2 + \tau_{//g}^2)} = \frac{UTS}{\beta_w \cdot CS} = \frac{430}{0{,}85 \cdot 1{,}25} = 404{,}71$$

$\hookrightarrow 1{,}25$

$$* \tau_{//} = \frac{Q_2}{a \cdot L}$$

$$\sigma_{\perp g} = 0{,}9 \frac{UTS}{CS}$$

$\hookrightarrow 1{,}25$

$$\frac{F_2^2}{(\sqrt{2}a)^2} + 3\left(\frac{F_2^2}{2a^2} + \frac{Q_2^2}{a^2 L^2}\right) = 404{,}71^2$$

$$\frac{P^2}{4 \cdot 2a^2} + 3\left(\frac{P^2}{8a^2} + \frac{P^2 r^2}{h^2 a^2 L^2}\right) = 404{,}71^2$$

$$\frac{P^2}{8a^2} + \frac{3P^2}{8a^2} + \frac{P^2 r^2}{h^2 a^2 L^2} = 404{,}71^2$$

$$P^2\left(\frac{1}{8a^2} + \frac{3}{8a^2} + \frac{r^2}{h^2 a^2 L^2}\right) = 404{,}71^2 \qquad P = \sqrt{\frac{404{,}71^2}{\frac{1}{8(12{,}73)^2} + \frac{3}{8(12{,}73)^2} + \frac{500^2}{180^2 \cdot 12{,}73^2 \cdot 240}}}$$

ESERCITAZIONE 3 - CONTATTO HERTZIANO

ESERCIZIO 1

Cuscinetto a rulli $E = 2 \cdot 10^5$ MPa

$\nu = 0,3$

ricavare diametri delle piste e le dimensioni dei rulli da catalogo SKF.

(lunghezza assiale rulli = 21 mm)

calcola tensioni max di contatto sulla pista interna e sulla pista esterna, dimensione impronta e la pressione di riferimento.

1) quando nel contatto + sollecitato si giunge al limite di proporzionalità del materiale ($R_{EL} = 1500$ MPa)
2) il carico applicato è la metà rispetto al caso precedente.

$$\left.\begin{aligned} \varnothing_{AE} &= 97 \text{ mm} \\ \varnothing_{AI} &= 65 \text{ mm} \end{aligned}\right\} \text{DA CATALOGO}$$

$$\hookrightarrow \varnothing_R = \frac{\varnothing_{AE} - \varnothing_{AI}}{2} = 16 \text{ mm}$$

il cedimento per snervamento avviene sotto la superficie dove σ_{id} è max, quando:

$$\sigma_{id} = R_{EH}$$

$\sigma_{id} = 0,62\, p_{MAX}$ [SFERA-SFERA]

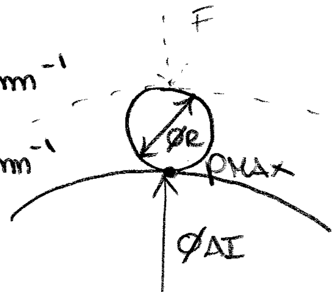
$\sigma_{id} = 0,60\, p_{MAX}$ [CILINDRO-CILINDRO]

$$p_{MAX} = \frac{\sigma_{id}}{0,60} = \frac{R_{EL}}{0,60} = 2500 \text{ MPa}$$

$\hookrightarrow$ è nella pista interna perché è la + sollecitata.

$$\alpha = \frac{1}{\varnothing_R} = 0,0625 \text{ mm}^{-1}$$

$$\beta = \frac{1}{\varnothing_{AI}} = 0,0154 \text{ mm}^{-1}$$



$$b = \sqrt{\frac{4F}{\pi L\, 2(\alpha_1 + \beta_1)} \left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1}\right) 2} = \sqrt{\frac{4}{\pi L\, 2(\alpha_1+\beta_1)} \left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1}\right) 2}\, \sqrt{F} =$$

$$= 1,88 \cdot 10^{-3} \sqrt{F} \text{ mm}$$

$$p_{MAX} = \frac{2F}{\pi L b} \Rightarrow F = \frac{p_{MAX} \pi L b \sqrt{F}}{2} \Rightarrow \sqrt{F} = \frac{p_{MAX} \pi L b}{2}$$

$$f = \sqrt[3]{\frac{3}{2}\,\frac{1}{(\alpha_x+\alpha_y+\beta_x+\beta_y)}\left(\frac{1-\nu^2}{E}\right)2} \cdot \sqrt[3]{F} = 0{,}044 \cdot \sqrt[3]{F}$$

$$p_{max} = \frac{3}{2}\,\frac{F}{\pi a b}$$

$$a = a^* f = 3{,}8 \sqrt[3]{\dots}\ \sqrt[3]{F}$$
$$b = b^* f = 0{,}41 \sqrt[3]{\dots}\ \sqrt[3]{F}$$

$$p_{max} = 2419\ MPa$$

$$p_{max} = \frac{3}{2}\,\frac{F}{\pi \cancel{\sqrt[3]{\dots}}\ \sqrt[3]{F}\ \cancel{\sqrt[3]{\dots}}\ \sqrt[3]{F}} = \frac{3}{2}\,\frac{F}{\pi \sqrt[3]{\dots}^{\,2}\ \sqrt[3]{F}^{\,2}\ 3{,}8\cdot 0{,}4\dots}$$

$$\frac{F}{(\sqrt[3]{F})^2} = \frac{p_{max}\, 2\, \pi\, \cancel{\left(\sqrt[3]{\dots}\right)^{2/3}}\ 3{,}8\cdot 0{,}41\cdot (0{,}044)^2}{3}$$

$$\frac{F}{F^{2/3}} = \dots\dots \qquad \left(F^{1/3}\right)^3 = \left(\frac{p_{max}\cdot 2\pi\, (0{,}044)^2\, 3{,}8\cdot 0{,}41}{3}\right)^3 =$$

$$= 3568\ N$$

. . . . .

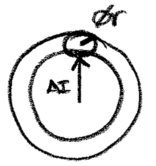
- ESERCIZIO 3

Cuscinetto a sfere

$E = 2e5\ MPa = 2\cdot 10^5\ MPa$

$\nu = 0{,}33$

$d_s = 10\ mm$



$\alpha_x = \frac{1}{Ør}$ $\quad \alpha_y = \frac{1}{Ø_r}$

$\beta_x = \frac{1}{d_I}$ $\quad \beta_y = \frac{1}{D_{AI*}}$

47

$$\delta = \sqrt[3]{\frac{3}{2}\,\frac{F}{2(\alpha x+\alpha y+\beta x+\beta y)}\,2\left(\frac{1-\nu^2}{E}\right)} =$$

$$= \sqrt[3]{\frac{3}{2}\,\frac{1}{2(\alpha x+\alpha y+\beta x+\beta y)}\cdot 2\left(\frac{1-\nu^2}{E}\right)}\cdot F^{1/3}$$

$$F = \left(\frac{\delta}{\sqrt[3]{\ldots\ldots}}\right)^3$$

$$A_{\text{CONT}} = \pi a b = 0{,}206\ \text{mm}^2$$

$$b = b^* \cdot \delta = 0{,}0853$$

ESERCITAZIONE 4 - SOLIDI ASSIALSIMMETRICI

ESERCIZIO 1

Tubo spesso acciaio

$E = 2 \cdot 10^5$ MPa

$\rho = 7800$ kg/m^3

$\nu = 0,3$

$\alpha = 11 \cdot 10^{-6}$ °C^{-1}

$D_i = 300$ mm

$D_e = 400$ mm

entrambe estremità incastrate

$p_i = 100$ MPa (pressione interna!)

$\Delta T = 50$°C

Tensione al bordo interno secondo ipotesi di von Mises

Tubo spesso $\rightsquigarrow$ **Lamé**

$\frac{s}{r_i} > 0,1$

Tubo sottile $\rightsquigarrow$ **Mariotte**

$\frac{s}{r_i} \leq 0,1$

$\varepsilon_z = 0$

$\sigma_z \neq 0$

$$\text{LAMÉ: } \begin{cases} \sigma_r = A - \frac{B}{r^2} \\ \sigma_c = A + \frac{B}{r^2} \end{cases} \qquad \boxed{\sigma_r + \sigma_c = 2A}$$

$$\begin{cases} \sigma_{ri} = -p_i = A - \frac{B}{r_i^2} \\ \sigma_{re} = 0 = A - \frac{B}{r_e^2} \end{cases}$$

$A - \frac{B}{r_i^2} = -100$

$\frac{B}{r_e^2} = A \qquad \frac{B}{r_e^2} - \frac{B}{r_i^2} = -100$

$B\left(\frac{1}{r_e^2} - \frac{1}{r_i^2}\right) = -100$

$B = \frac{-100}{\frac{1}{200^2} - \frac{1}{150^2}} = 5142857$ N

$A = 128,57$ MPa

$\sigma_c = A + \frac{B}{r_i^2} = 357,14$ MPa

voglio la σ_c al bordo interno.

$\sigma_{ri} = -100$ MPa

$\sigma_z = \nu(\sigma_r + \sigma_c) - E\alpha\Delta T = 0,3(-100 + 357,14) - 2 \cdot 10^5 \cdot 11 \cdot 10^{-6} \cdot 50$
$= -32,86$ MPa

$\varepsilon_z = \frac{1}{E}[\sigma_z - \nu(\sigma_r + \sigma_c)] + \alpha\Delta T$

ESERCIZIO 4

Albero pieno

$E = 2 \cdot 10^5$ MPa

$\nu = 0,3$

$D_e = 300$ mm

caricato al bordo esterno da pressione radiale di trazione

$u_e = 70\ \mu m$

$\sigma_z = 0$ MPa $\quad \varepsilon_z \neq 0$

$\sigma_c = ?$ al centro dell'albero

ALBERO PIENO

$B = 0 \leadsto \sigma_r = \sigma_c = A = -p_e$

$u = -p_e \dfrac{r}{E}(1-\nu) + \cancel{r\,\alpha\,\Delta T}$

$$\boxed{\varepsilon_c = \frac{u}{r}}$$

$\varepsilon_c = \dfrac{\Delta l}{l_0} = \dfrac{l_f - l}{l_0}$

$$\varepsilon_c = \frac{1}{E}\left[\sigma_c - \nu(\sigma_r + \cancel{\sigma_z})\right]$$

$$= \frac{1}{E}\left[\sigma_c - \nu\sigma_c\right] = \frac{1}{E}\sigma_c(1-\nu)$$

$$\sigma_c = \frac{\varepsilon_c \cdot E}{1-\nu} = 133 \text{ MPa.}$$

ESERCIZIO 3

5

Ruota dentata acciaio

$E = 2 \cdot 10^5\ MPa \quad \nu = 0,3$

$m = 4 \quad z = 30$

$\ell = 40\ mm$

$C = 250\ Nm$

$n = 2500$ giri/min (ω)

$D_c = 30\ mm$

$f = 0,2$

$CS = 1,5 \quad i = ?$

$$M_t = 2\pi r^2 b f p$$

$$p = \frac{i_{eff}}{D_c\,(\delta_a + \delta_m)}$$

$$\boxed{\Delta i^{\omega} = 2\,(u_{mi}^{\omega} - u_{ae}^{\omega})}$$

Si chiede la i per trasmettere il moto => i effettiva

$$\delta_a = \frac{(1-\nu)}{E_{\ N/mm^2}} = 3,5 \cdot 10^{-6}\ mm^2/N$$

albero pieno

Fornita dall'esame

$$\delta_m = \frac{1}{E}\,\frac{(1+\nu) + \left(\frac{D_{mi}}{D_{me}}\right)^2 (1-\nu)}{1 - \left(\frac{D_{mi}}{D_{me}}\right)^2} = 119 \cdot 10^{-5}\ mm^2/N$$

$$\cancel{u_{mi} = p\,\frac{D_{mi}}{2}\,\delta_m}$$

$$\cancel{u_{ae} = p\,\frac{D_{ae}}{2}\,\delta_a}$$

$$p = \frac{i_{nom} - \Delta i^{\omega}}{D_c\,(\delta_a + \delta_m)}$$

$$\boxed{r = \frac{m z}{2}}$$

raggio primitivo ruota dentata

COEFFICIENTE DI SICUREZZA

↳ moltiplico la coppia per il CS

$$C = C \cdot CS = 375\ Nm$$

$\boxed{i_{nom} > i_{eff}}$ è + grande perché comprende tutte le perdite

ESERCIZIO 5

$\begin{cases} E = 7\cdot 10^4 \, MPa \\ \nu = 0{,}3 \\ \alpha^* = 23\cdot 10^{-6}\ °C^{-1} \end{cases}$ PULEGGIA

$\begin{cases} E = 2\cdot 10^5 \, MPa \\ \nu = 0{,}3 \\ \alpha^* = 11\cdot 10^{-6}\ °C^{-1} \end{cases}$ ALBERO

$D_c = 50\,mm$

$d_e = 90\,mm$ (mozzo)

$L = 100\,mm$ (mozzo)

$\boxed{C = C \cdot CS}$

$R_a = R_m = 4\,\mu m$

$M = 600\,Nm$ ($f = 0{,}2$ attrito)

•) $i_{nec} = ?$ $CS = 1{,}5$

$M_t = 2\pi r^2 b f p$ $p = \dfrac{i_{eff}}{D_c(\delta_a + \delta_m)}$

$$\delta_a = \frac{1-\nu}{E} = 3{,}5\cdot 10^{-6}\ mm^2/N$$

$$\delta_m = \frac{1}{E}\,\frac{(1+\nu)+\left(\frac{D_{mi}}{D_{me}}\right)^2(1-\nu)}{1-\left(\frac{D_{mi}}{D_{me}}\right)^2} = 31{,}4\cdot 10^{-6}\ mm^2/N$$

$$i_{eff} = p D_c(\delta_a+\delta_m) = \frac{M_t}{2\pi r^2 b f} D_c(\delta_a+\delta_m) =$$

$$= \frac{600\cdot 1{,}5}{2\pi\cdot 25^2\cdot(10^{-3})^2\, 100\cdot 10^{-3}\ 0{,}2}\cdot 50\cdot 10^{-3}(3{,}5\cdot 10^{-6}\cdot 10^{-6} + 31{,}4\cdot 10^{-6}\cdot 10^{-6}$$

$$= 19{,}95\,\mu m = 20\,\mu m$$

•) foro-base H7

qualità 6 $\rightarrow$ Tolleranze?

$i_{nom} = i_{eff} + \Delta i^R$

ricalcolo $P = 40{,}12\,MPa$

$\uparrow$

Devo calcolare la tensione dell'interferenza Max (punto progetto) $i_{Max} = 70\,\mu m$

$\rightarrow$ CALETTAMENTO

•) $CS = 1{,}5$ calcolo tensione equivalente punto di progetto

TUBO SPESSO

$\frac{s}{r} = 0{,}8 > 0{,}1$

LAMÉ

$\sigma_c = A + \dfrac{B}{r^2}$

$\sigma_{r_i} = A - \dfrac{B}{r_i^2} = 40{,}1\ MPa$

$\sigma_{re} = A - \dfrac{B}{r_e^2} = 0$

ESERCITAZIONE 7 - Collegamenti filettati

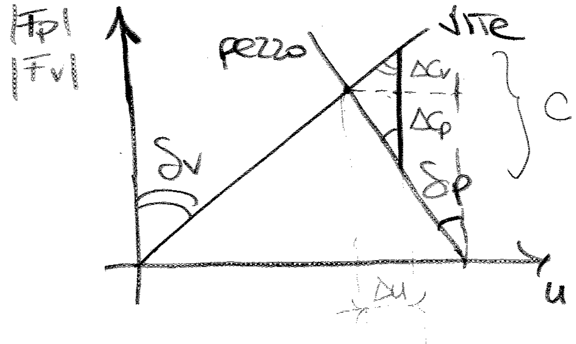
OBIETTIVO - avere vite + deformabile x dare + carico al pezzo → senno si rompe la vite

ESERCIZIO 1

$E = 2 \cdot 10^5$ MPa
$d = 24$ mm
$l = 180$ mm
} vite

pezzo → rigidezza doppia rispetto alla vite

Frazione di carico sopportata dalla vite espressa come percentuale del carico esterno.



$$\delta = \frac{u}{F} = \frac{L}{AE}$$

$$\delta_v = 2\delta_p$$

$$\Delta C_v = C\frac{\delta_p}{\delta_v + \delta_p} = C\frac{\cancel{\delta_p}}{3\cancel{\delta_p}} = \frac{C}{3}$$

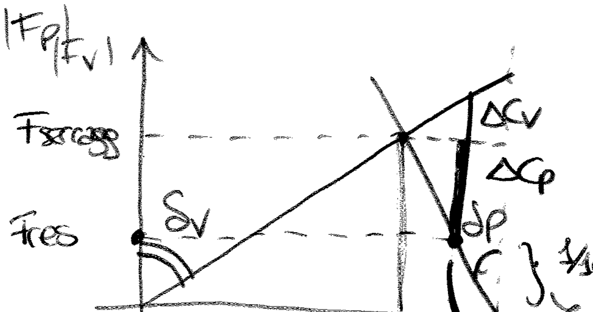
$$= 0{,}33C = 33\%\, C$$

ESERCIZIO 2

$K_{pezzo} = 4 K_{vite} \Rightarrow 4\delta_p = \delta_v$

$F_{serraggio\,max} = F_{v,lim} = 10000$ N

→ Calcola valore carico esterno che riduce il carico residuo sul pezzo a 1/10 del valore di montaggio.



$C = ?$

$$\Rightarrow \Delta C_p = \frac{9}{10} F_{serr} = 9000 \text{ N}$$

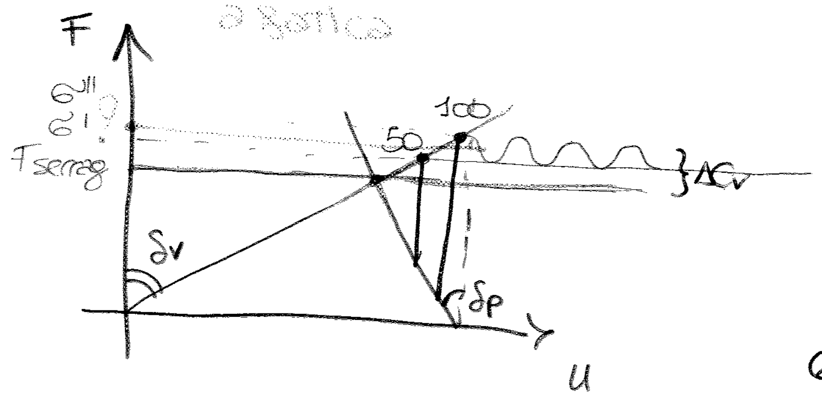
$$\Delta C_p = C\frac{\delta_p}{\delta_v + \delta_p} = 9000\text{N}$$

$$C = \frac{\Delta C_p(\delta_v + \delta_p)}{\delta_p}$$

$$= \frac{\Delta C_p\, 5\cancel{\delta_p}}{4\cancel{\delta_p}} = \frac{5}{4}\Delta C_p =$$

$$= 11250 \text{ N}.$$

Tensione media a fatica



$\Delta\sigma_{vite\ max} = \sigma' + \sigma''_{max} = 150 MPa$

$\Delta\sigma_{vite\ min} = 50 MPa$

$\sigma_m = ?$

$R_{eH} =$ classe 10.9 → 1000 (10·100) ; → 90%

$\Rightarrow R_{eH} = 90\% \cdot 1000 = 900 MPa$

$\sigma_{serraggio} = 0,7 \cdot R_{eH} = 0,7 \cdot 900 = 630 MPa$

$\sigma_m = 630 + 50 + 50 = 730 MPa$.

ESERCIZIO 5

Vite M16 × 1,5 classe 8.8 $\Rightarrow R_{eH} = 8 \cdot 100 \cdot 80\% = 640 MPa$
rullata e oliata

μ coeff attrito varia tra 0,12 e 0,18

C di serraggio / $\sigma_{id} \leq 0,9 R_{p02}$

d esterno vite = 24 mm

$$\sigma_{id} = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_s^2} = \sigma_a\sqrt{1+3k^2} = \boxed{\sigma_a \cdot 1,3}$$

$\sigma_{id} = \sigma_a \cdot 1,3$

$$\sigma_{id} = 0,9 \cdot 640 \Rightarrow \underset{\sigma_{ammissibile}}{\sigma_a} = \frac{\sigma_{id}}{1,3} = \frac{0,9 \cdot 640}{1,3} = 443,1 MPa$$

$F_{serraggio} = \sigma_a \cdot A$

$d_n = 14,16$ mm

$A_{res} = 157$ mm²

$d_m = 15,03$ mm

$d_{testa} = 24$ mm

$F_{serr} = 443,1 \cdot 157 = 69566,7$ N

$$M_{serr} = \frac{F_{v,serr}}{2}\left(\frac{P}{\pi} + d_m\frac{tg\varphi}{\cos\alpha} + d_t \cdot tg\varphi_s\right)$$

coeff attrito; attrito sottotesta; semiang. inclinazione profilo

ESERCITAZIONE 1 - FATICA

ESERCIZIO 1

Costruisci diagr Haigh a vita illimitata ($N \geq 2 \cdot 10^6$)

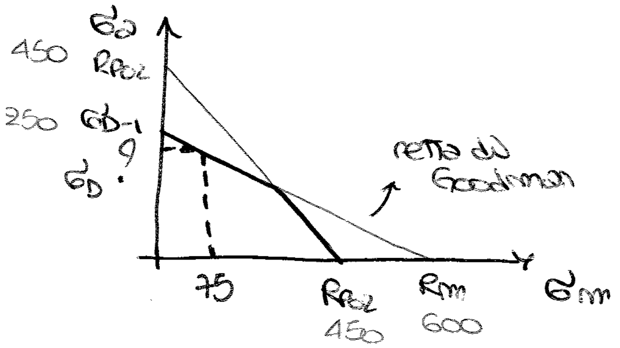
$\sigma_{D-1} = 250$ MPa

$R_{P02} = 450$ MPa

$R_m = 600$ MPa

Calcola poi tensione limite di fatica se $\sigma_m = 75$ MPa (tensione media)

DIAGRAMMA DI HAIGH (retta di Goodman) σ_D = limite di fatica



$\boxed{N = \text{COST}}$ $2 \cdot 10^6$ (acciaio)

$$\frac{\sigma_D}{\sigma_{D-1}} + \frac{\sigma_m}{R_m} = 1$$

$$\sigma_D = \left(1 - \frac{\sigma_m}{R_m}\right)\sigma_{D-1}$$

$$= \left(1 - \frac{75}{600}\right)250 = 218,75 \text{ MPa}$$

ESERCIZIO 2

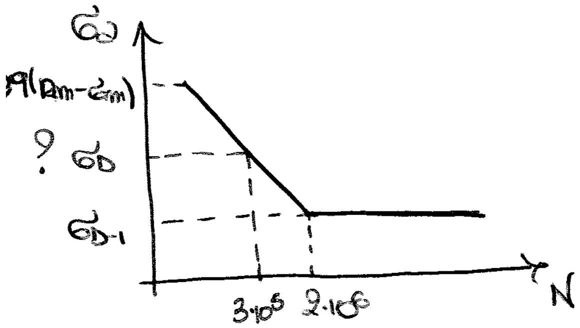
$\sigma_{D-1} = 450$ MPa

$N = 2 \cdot 10^6$ cicli

$K = 7,5$ (esponente curva Wöhler)

$\sigma_D = ?$ limite *determinato* per $N = 3 \cdot 10^5$ cicli

DIAGRAMMA DI WÖHLER (curva di Basquin)



$\boxed{\sigma_m = \text{COST}}$ $(=0)$ diagramma log-log

$$\sigma_a^K \cdot N = \text{COST}$$

$$\Rightarrow \sigma_{D-1}^K \cdot 2 \cdot 10^6 = \sigma_D^K \cdot 3 \cdot 10^5$$

$$450^{7,5} \cdot 2 \cdot 10^6 = \sigma_D^{7,5} \cdot 3 \cdot 10^5$$

$$\sigma_D^{7,5} = \frac{450^{7,5} \cdot 2 \cdot 10^6}{3 \cdot 10^5}$$

$$\sigma_D = \left(\frac{450^{7,5} \cdot 2 \cdot 10^6}{3 \cdot 10^5}\right)^{1/7,5} = 579 \text{ MPa}$$

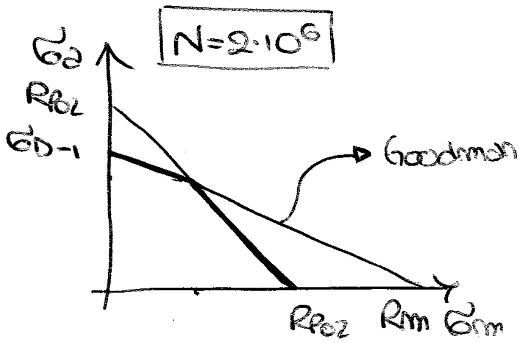
ESERCIZIO 4 $\neq$ VITA ILLIMITATA **NB**

Diagramma Haigh vita a termine $N = 5 \cdot 10^5$ cicli

$\sigma_{D-1} = \underline{200\,MPa}$ $\quad R_{p0,2} = 540\,MPa$ $\quad R_m = 810\,MPa$

se $\sigma_m = 200\,MPa \rightarrow \sigma_D = ?$

DIAGRAMMA HAIGH (retta Goodman) $\rightarrow$ A VITA $\underline{\underline{\text{ILLIMITATA}}}$ $(2 \cdot 10^6$ cicli$)$



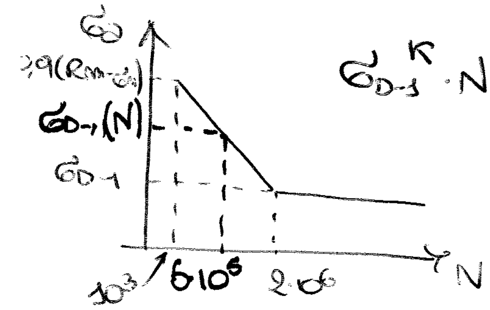
$$\frac{\sigma_m}{R_m} + \frac{\sigma_D}{\sigma_{D-1}} = 1$$

σ_{D-1} che mi dà esercizio è a vita illimitata!!

$\Rightarrow$ VITA A TERMINE $5 \cdot 10^5$ cicli

$\sigma_{D-1} = ?$ $N = 5 \cdot 10^5$ cicli

$\hookrightarrow$ WÖHLER



$$\sigma_{D-1}^{K} \cdot N = cost$$

$$\begin{cases} 200^K \cdot 2 \cdot 10^6 = cost \\ \sigma_D^K \cdot 5 \cdot 10^5 = cost \\ (0{,}9 \cdot R_m)^K \cdot 10^3 = cost \end{cases}$$

$$200^K \cdot 2 \cdot 10^6 = (0{,}9\,R_m)^K\, 10^3$$

$$K \ln 200 + \ln 2 \cdot 10^6 = K \ln (0{,}9 \cdot 810) + \ln 10^3$$

$$K \ln 200 - K \ln (0{,}9 \cdot 810) = \ln 10^3 - \ln 2 \cdot 10^6$$

$$K\left[\ln 200 - \ln(0{,}9 \cdot 810)\right] = \ln 10^3 - \ln 2 \cdot 10^6$$

$$K = \frac{\ln 10^3 - \ln 2 \cdot 10^6}{\ln 200 - \ln (0{,}9 \cdot 810)} = 5{,}8769$$

$$200^K \cdot 2 \cdot 10^6 = cost$$

$$cost = 6{,}6673 \cdot 10^{19}$$

$$\sigma_D^K \cdot 5 \cdot 10^5 = cost \Rightarrow \sigma_D = \left(\frac{cost}{5 \cdot 10^5}\right)^{1/K} = \underline{\underline{253{,}21\,MPa}}$$

$$= \sigma_{D-1} \quad N = 5 \cdot 10^5$$

$\rightsquigarrow$ HAIGH $\quad \dfrac{\sigma_m}{R_m} + \dfrac{\sigma_D}{\sigma_{D-1}} = 1 \Rightarrow \sigma_D = \left(1 - \dfrac{\sigma_m}{R_m}\right)\sigma_{D-1} = 190{,}69\,MPa$

ESERCIZIO 6

$\sigma_{D-1} = 100$ MPa
$R_m = 600$ MPa
$R_{P02} = 460$ MPa

$\sigma_{a\,max} = 350$ MPa
$\sigma_{a\,min} = 250$ MPa

esiste stato di tensioni residue di compressione
$\sigma_{pallinatura} = -400$ MPa
CS = ? a fatica $\boxed{\sigma_m = cost}$

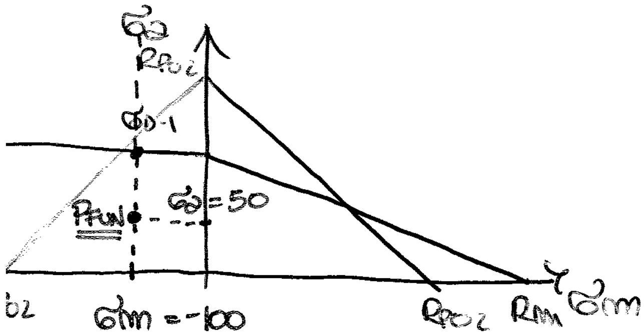
la pallinatura aggiunge una compressione di 400 MPa

$\sigma_m = 300$ MPa $\longrightarrow$ $\sigma_m = 300 - 400 = -100$ MPa **NB**

$CS = \frac{LIM}{FUN} = \frac{\sigma_{D-1}}{\sigma_{a\,FUN}}$ ↳ varia (?)

$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} = 50$ MPa

HAIGH



$CS = \frac{\sigma_{D-1}}{\sigma_{a\,FUN}} = \frac{100}{50} = 2$

ESERCIZIO 7

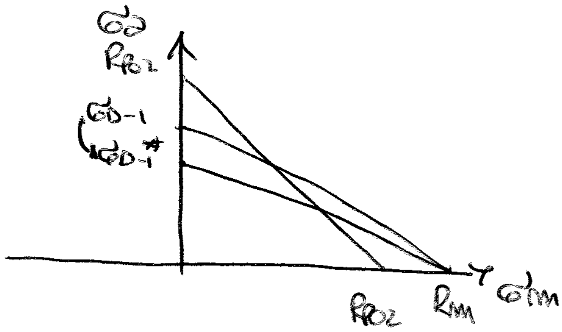
Albero d = 30 mm M_f con una parte media $M_{fm} = 600$ Nm
e una parte alternata $M_{fa} = 200$ Nm

$R_m = 1000$ MPa
$R_{P02} = 800$ MPa
$\sigma_{D-1} = 600$ MPa

con prova di fatica a flessione rotante

$R = 2\mu m$ rugosità

Disegnare diagramma di Haigh
CS = ? a fatica



σ_m = cost, σ_a variabile

$CS = \frac{LIM}{FUN} = \frac{\sigma_{D-1}^*}{\sigma_{a\,FUN}}$

~~ESERCIZIO 8~~

spallamento

$D = 25$ mm
$d = 20$ mm
$r = 2$ mm

La sezione dello spallamento e' sollecitata da:

M_f $M_{f\,min} = 20$ Nm
$M_{f\,max} = 55$ Nm

N $N_{min} = -30000$ N
$N_{MAX} = -10000$ N

sollecitazioni multiassiali.

$R_m = 1180$ MPa
$R_{p02} = 880$ MPa
$\sigma_{D-1}^{8} = 480$ MPa
$R_a = 2\,\mu m$
CS=? a fatica nella sezione

$\boxed{\sigma_m = cost}$

$$\sigma^{MAX} = \sqrt{(\sigma_{fless}^{MAX} + \sigma_{norm}^{MAX})^2 + \cancel{3(\tau^{MAX})^2}}$$

$$\sigma^{min} = \sqrt{(\sigma_{fless}^{min} + \sigma_{norm}^{min})^2 + \cancel{3(\tau^{min})^2}}$$

$W_f = \frac{\pi d^3}{32} = 7,85 \cdot 10^{-7}$ mm

$A = \frac{\pi d^2}{4} = 314$ mm^2

$M_{f\,min} \to \sigma_{f\,min} = \frac{M_{f\,min}}{W_f} = \frac{20}{\frac{\pi d^3}{32}} = 25,48$ MPa

$M_{f\,max} \to \sigma_{f\,max} = \frac{M_{f\,max}}{W_f} = \frac{55}{\frac{\pi d^3}{32}} = 70,06$ MPa

$N_{min} \to \sigma_{N\,min} = \frac{N_{min}}{A} = \frac{-30000}{\pi d^2/4} = -95,54$ MPa

$N_{MAX} \to \sigma_{N\,MAX} = \frac{N_{max}}{A} = \frac{-10000}{\pi d^2/4} = -31,85$ MPa

$\sigma_{MAX} = \sigma_{f\,MAX} + \sigma_{N\,MAX} = 70,06 - 31,85 = 38,21$ MPa

$\sigma_{min} = \sigma_{f\,min} + \sigma_{N\,min} = 27,48 - 95,54 = -68,06$ MPa.

$\sigma_m = \frac{\sigma_{MAX} + \sigma_{min}}{2} = -14,925$ MPa

$\sigma_a = \frac{\sigma_{MAX} - \sigma_{min}}{2} = 53,135$ MPa

ESERCITAZIONE 2 - FATICA con sollecitazioni multiassiali o ad ampiezza variabile.

ESERCIZIO 1

albero $D = 25$ mm

Torsione alternata $M_t = 250$ Nm

INTAGLIO → $K_t^N = 1,5$ (fattore di sormalificazione)

$K_t^F = 1,9$ (flessione)

$q = 0,9$

$R_m = 1100$ MPa
$\sigma_{D-1} = 550$ MPa } in prova di flessione rotante

POLARE

$I_p = \frac{\pi D^4}{32}$

$W_t = \frac{\pi D^3}{16}$

$C_F = 1$
$C_S = 1$

$CS = ?$ per vita infinita

$\boxed{\sigma_m = 0}$

da mm a mm per trovare MPa

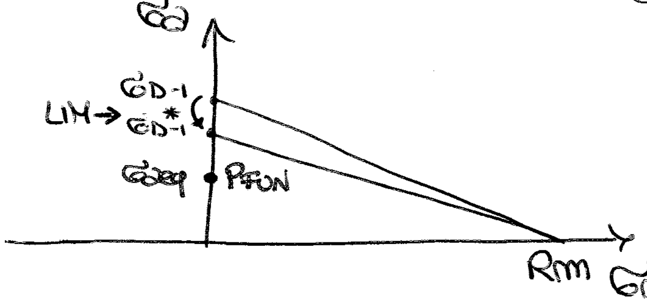
M_t → $\tau^{M_t} = \frac{M_t}{W_T} = \frac{250 \cdot 10^3}{\frac{\pi d^3}{16}} = 81,53$ MPa

TENSIONI MULTIASSIALI

$\sigma_{a\,eq} = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2} = 141,21$ MPa (139 MPa)

$\sigma_{m\,eq} = \sigma_m = 0$ MPa

$CS = \frac{LIM}{FUN} = \frac{\sigma^*_{D-1}}{\sigma_{a\,eq}}$



$$\boxed{\sigma^*_{D-1} = \frac{\sigma_{D-1}}{K_f} C_F C_L C_S}$$

$K_f = 1 + q(K_t - 1)$

N → $K_f^N = 1 + 0,9(1,5-1) = 1,45$
M_f → $K_f^F = 1 + 0,9(1,9-1) = 1,81$
} → Prendo quello che mi rende σ^*_{D-1} più piccolo
↳ CAUTELATIVO

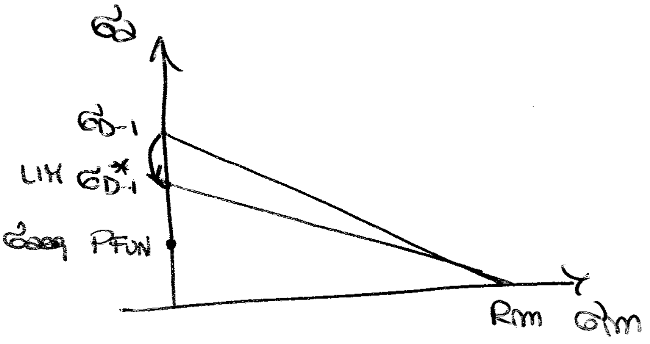
© Proprietà riservata dell'autore - Digitalizzazione e distribuzione a cura del CENTRO APPUNTI - Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino / Pagina 93 di 140

$M_f \rightsquigarrow \sigma^{M_f} = \frac{M_f}{W_f} = \frac{M_f}{\frac{\pi d^3}{32}} = \frac{450000}{\pi \frac{38^3}{32}} = 83,58\ MPa$

$\downarrow$

$= \sigma_{a\,eq}$

$\sigma_m = 0$



$CS = \frac{LIM}{FUN} = \frac{\sigma^*_{D-1}}{\sigma_{a\,eq}}$

$\sigma^*_{D-1} = \frac{\sigma_{D-1}}{K_f} C_F C_S C_L$

C_L: FLESSIONE $= 1$

C_S: $\downarrow$ LD $0,84$

$R_a = 1,6\ \mu m$

$C_F = 0,96$

$\left.\begin{aligned} \frac{D}{d} &= 1,18 \\ \frac{r}{d} &= 0,04 \end{aligned}\right\} K_t = 2,4$

$K_f = 1 + q(K_t - 1)$

$= 1 + 0,89(2 \quad -1) = 1,89$

$\sigma^*_{D-1} = \frac{450}{1,89} \cdot 0,96 \cdot 0,84 = 192\ MPa$

$CS = \frac{\sigma^*_{D-1}}{\sigma_{a\,eq}} = \frac{192}{83,58} = 2,28$

ESERCIZIO 3

Albero con spallamento

$D = 40\ mm$

$d = 36\ mm$

$r = 2\ mm$

$CS = ?$ fatica x vita infinita

se una delle 2 componenti avesse avuto $\sigma_m \neq 0$ come sarebbe stata

$R_a = 3,2\ \mu m$ $\quad \sigma_{m\,eq} = ?$

TORSIONE ALTERNATA SIMMETRICA

$M_t = 500\ Nm$

FLESSIONE ALTERNATA SIMMETRICA

$M_f = 350\ Nm$

ACCIAIO BONIFICATO $\rightarrow q = 0,9$

$R_m = 1100\ MPa$

$R_{p02} = 800\ MPa$

$\sigma_{D-1} = 550\ MPa$

$M_t \rightsquigarrow \tau^{M_t} = \frac{M_t}{W_T} = \frac{M_t}{\frac{\pi d^3}{16}} = \frac{500 \cdot 10^3}{\frac{\pi\, 36^3}{16}} = 54,61\ MPa$

$M_f \rightsquigarrow \sigma^{M_f} = \frac{M_f}{W_f} = \frac{M_f}{\frac{\pi d^3}{32}} = \frac{350 \cdot 10^3}{\frac{\pi\, 36^3}{32}} = 76,45\ MPa$

$\sigma_{a\,eq} = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2} = \sqrt{76,45^2 + 3 \cdot 54,61^2} = 121,62\ MPa$

$\sigma_m = 0$

ESERCIZIO 4

Albero

Stato di tensione triassiale

$\sigma_{m1} = 360\,MPa$ $\quad \sigma_{a1} = 100\,MPa$ $\quad \sigma_{D-1} = 450\,MPa$

$\sigma_{m2} = 180\,MPa$ $\quad \sigma_{a2} = 30\,MPa$ $\quad R_m = 1100\,MPa$

$\sigma_{m3} = -180\,MPa$ $\quad \sigma_{a3} = 50\,MPa$ $\quad R_{eH} = 730\,MPa$

CS statico = ? CS fatica = ?

STATICO

$$CS = \frac{R_{eH}}{\sigma_{eq}}$$

σ_{eq} → TRESCA $\quad \sigma_{eq}^{T} = |\sigma_1 - \sigma_3|$

→ VON MISES $\quad \sigma_{eq}^{VM} = \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{(\ )^2 + (\ )^2 + (\ )^2}$

↳ tensioni MASSIME

$\sigma_{1\,MAX} = 460\,MPa$

$\sigma_{2\,MAX} = 210\,MPa$

$\sigma_{3\,MAX} = -230\,MPa$

uso TRESCA ⟶ $\sigma_{eq}^{T} = |460 + 230| = 590\,MPa$

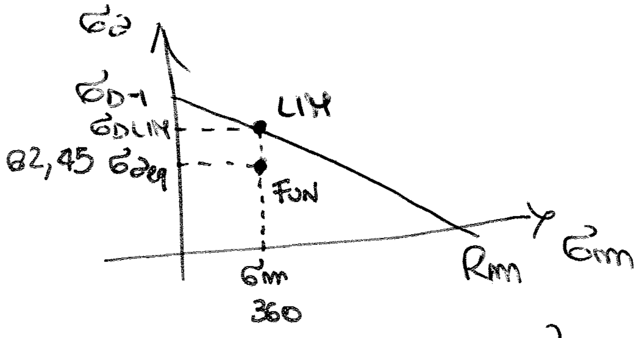
$$CS_{STAT} = \frac{730}{590} = 1,24$$

FATICA

$$\sigma_{aeq} = \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{(\sigma_1-\sigma_2)^2 + (\sigma_2-\sigma_3)^2 + (\sigma_3-\sigma_1)^2} = 62,45\,MPa$$

↳ tensioni ALTERNATE

$$\sigma_{meq} = \sigma_{m1} + \sigma_{m2} + \sigma_{m3} = 360\,MPa$$



$$\frac{\sigma_{DLIM}}{\sigma_{D-1}} + \frac{\sigma_m}{R_m} = 1$$

$$\sigma_{DLIM} = \left(1 - \frac{\sigma_m}{R_m}\right)\sigma_{D-1}$$

$$= \left(1 - \frac{360}{1100}\right)450 = 302,73\,MPa$$

$$CS = \frac{\sigma_{DLIM}}{\sigma_{aeq}} = 4,85$$