UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA MECCANICA, CHIMICA
E DEI MATERIALI

# C.I. Costruzioni di Macchine

## Elementi Costruttivi delle Macchine

- 20190415 A -

Si deve realizzare una sistema di movimentazione per un manipolatore la cui massa è stimata in $m$=10 kg. Si decide di utilizzare una vite di manovra vincolata ad una estremità da una coppia di cuscinetti a rulli conici (figura 1), movimentata tramite un motore elettrico azionato da un inverter. Il supporto dei cuscinetti è vincolato al telaio tramite 4 viti mordenti mentre la massa $m$ scorre su di una guida prismatica il cui coefficiente di attrito è stimato essere $f_s$ = 0.15, $f_d$ = 0.1. Sapendo

- che la vite di manovra è una ACME realizzata in acciaio con tensione di snervamento $\sigma_y$ = 700 MPa e $\sigma_{ut}$ = 900 MPa;
- che il sistema sarà inclinato di un angolo α pari alle ultime due cifre del numero di matricola (es. 70/78/123**45** → α = 45);
- che il gruppo motore - inverter è in grado di imprimere alla massa m il profilo di velocità mostrato in figura 2, indipendentemente dall'inclinazione del sistema.
- Che il coefficiente di attrito tra vite e madrevite può essere assunto pari a $f$ = 0.1.

1. Si dimensioni la vite di manovra.
2. Si dimensionino le viti di collegamento con il telaio.

*Il candidato ipotizzi i dati eventualmente mancanti utilizzando valori compatibili a quelli forniti ed alla tipologia del problema.*

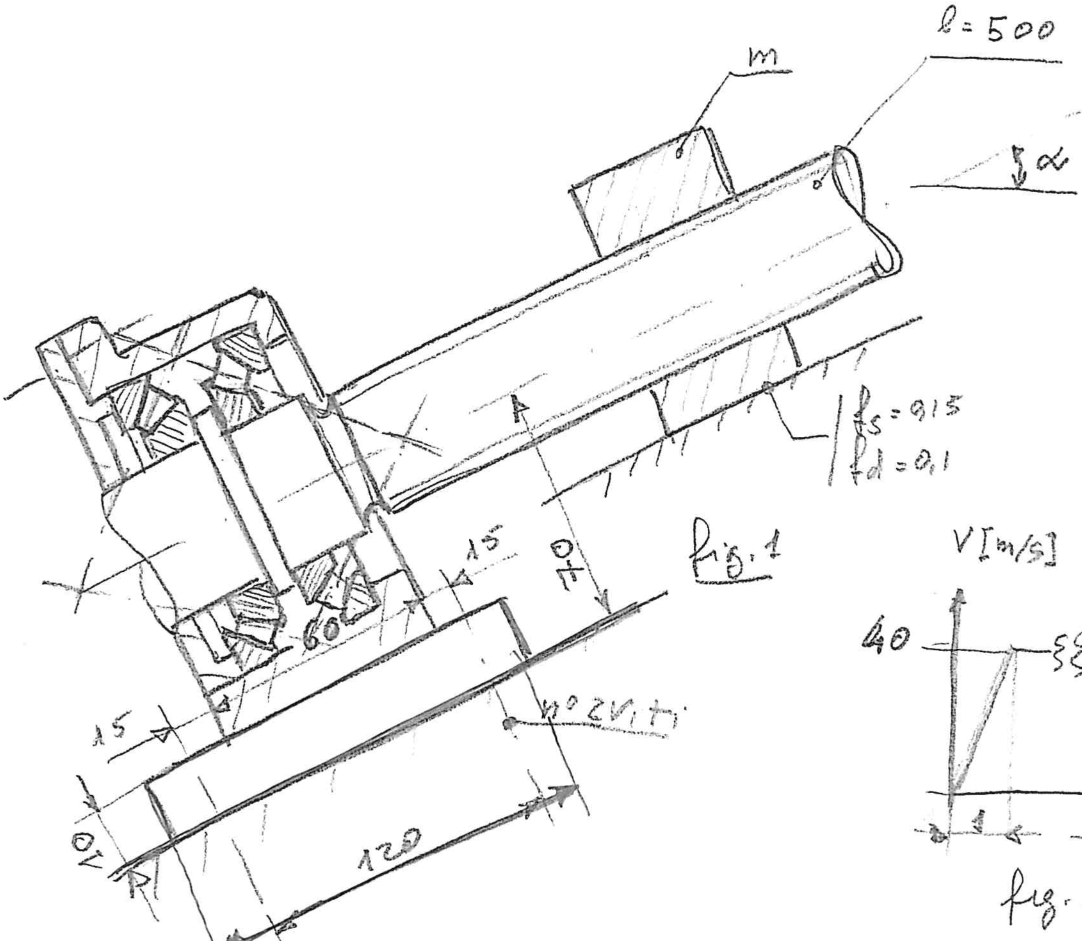



fig. 1

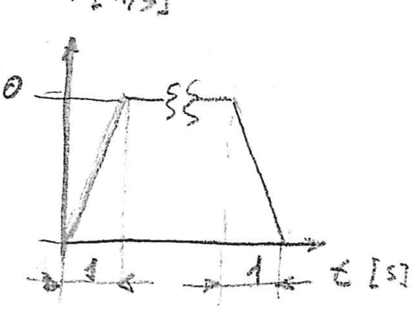
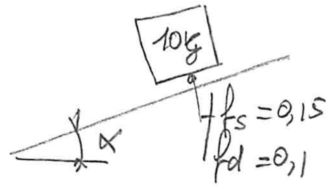
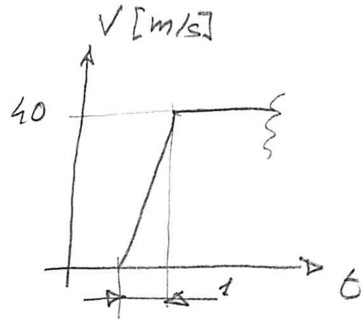



fig. 2

## Compito 2019 04 15-A



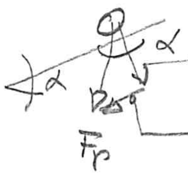

$\alpha = 06°$ $(683\boxed{06})$




accelerazione di inerzia: $a_i = \frac{40}{1}$ m/s²

Forza inerzia $= m a_i = 10 \cdot 40 = 400$ N (si oppone al moto) $(F_i)$

Peso




$F_p \cos(\alpha) = 10 \cdot 9,81 \cdot \cos(6°) = 97,56$ N $= F_\perp$

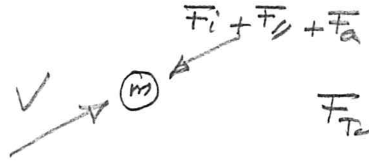
$F_p \sin(\alpha) = 10 \cdot 9,81 \cdot \sin(6°) = 10,2$ N $= F_{//}$

N.b.: la $F_\perp$ si scarica sulla guida prismatica, ma genera una F attrito pari a $F_a = F_\perp \cdot f_s = 97,56 \cdot 0,15 = 14,6$ N (si oppone al moto)

↑ forza di primo distacco

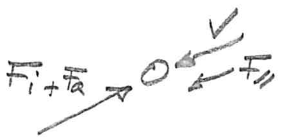
Riassumendo

Moto in salita




$F_{Tot}^{\uparrow} = 400 + 10,2 + 14,6 = 424,9 \simeq 425$ N

Moto in discesa




$F_{Tot}^{\downarrow} = F_i + F_a - F_{//} = 404,5$ N

Sia la $F_{Tot}^{\uparrow}$ che la $F_{Tot}^{\downarrow}$ si oppongono al moto → in entrambi i casi si dovrà usare la formula "in salita" per la stima della coppia.

— o —

Vite di manovra:

a) Predimensionamento statico

i) $\eta = 1,5$ → Predimensiono con $\eta = 3,5$

$$\sigma_y = \frac{F_e \cdot \eta}{A} \Rightarrow A \geq \frac{F_e \cdot \eta}{\sigma_y} = \frac{425 \cdot 3,5}{700} = 2,1 \text{ mm}^2$$

Ne deriva che le sollecitazioni non sono un problema perché la più piccola vite di manovra ha una sezione molto maggiore.
Il fattore controllante il dimensionamento è quindi il carico di punta.

Assumendo di essere nel regime in cui la formula di Eulero è valida si ha:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E J}{l_{eq}^2} \Rightarrow J \geq \eta \frac{P_{cr} \cdot l_{eq}^2}{\pi^2 E} \qquad l_{eq} = \frac{l}{\sqrt{2}} = \frac{500}{\sqrt{2}} = 353{,}6\,mm$$

$$J \geq \frac{2 \cdot 425 \cdot 353{,}6^2}{\pi^2 \cdot 208 \cdot 10^3} = 51{,}8\ mm^4$$

ma $J = \frac{\pi d_n^4}{64} \Rightarrow d_n = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot J}{\pi}} = 5{,}7\,mm \quad (0{,}225'')$

La vite ACME più prossima è una 5/16 14 $(d_n = 0{,}24'')$

Verifichiamo che Eulero fosse la scelta corretta:

$$\rho = \sqrt{\frac{J}{A}} = \sqrt{\frac{\pi d_n^4}{64} \cdot \frac{4}{\pi d_n^2}} = \sqrt{\frac{d_n^2}{16}} = \sqrt{\frac{0{,}24^2}{16}} = \sqrt{\frac{(0{,}24 \cdot 25{,}4)^2}{16}} = 1{,}52\,mm$$

Quindi $\frac{l_{eq}}{\rho} = \frac{500}{\sqrt{2} \cdot 1{,}52} = 232$

Il valore di transizione vale $\left.\frac{l_{eq}}{\rho}\right|_{lim} = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 208.000}{700}} = 76{,}6 \Rightarrow$ trave snella.

---

<u>Verifica statica</u>

Vite $\frac{5}{16}$ 14TPI $\Rightarrow$ $\begin{cases} d_e = 5/16 = 0{,}3125 \\ p = 1/14 = 0{,}0714 \\ d_n = d_e - p = 0{,}241 \end{cases}$ $\qquad d_m = \frac{0{,}3125 + 0{,}241}{2} = 0{,}2768'' \quad (7{,}03\,mm)$

$$tg(\lambda) = \frac{1/14}{\pi d_m} = \frac{0{,}0714}{0{,}2768} = 0{,}258 \qquad \lambda = 14{,}46 \qquad \begin{cases} \sin(\lambda) = 0{,}2498 \\ \cos(\lambda) = 0{,}9688 \end{cases}$$

$$tg(\alpha_n) = tg(\alpha)\cos(\lambda) = tg(14{,}5°) \cdot 0{,}9688 = 0{,}2504 \qquad \alpha_n = 14{,}05° \qquad \cos(\alpha_n) = 0{,}97$$

$$T' \uparrow = W \frac{d_m}{2} \frac{f\cos(\lambda) + \cos(\alpha_n)\sin(\lambda)}{\cos(\alpha_n)\cos(\lambda) - f\sin(\lambda)} = 425 \frac{7{,}03}{2} \frac{0{,}15 \cdot 0{,}9688 + 0{,}97 \cdot 0{,}2498}{0{,}97 \cdot 0{,}9688 - 0{,}15 \cdot 0{,}2498} = 641{,}8\ N\,mm$$

$$\tau = \frac{16\,T}{\pi d_n^3} = \frac{16 \cdot 641{,}8}{\pi\,(6{,}09)^3} = 14{,}47\ MPa \qquad \sigma = \frac{425 \cdot 4}{\pi\,(6{,}09)^2} = 14{,}59\ MPa$$

N.B.: abbiamo trascurato il collare

$$\sigma_{eq} = \sqrt{14{,}6^2 + 3 \cdot 14{,}47^2} = 29\ MPa \qquad \eta = \frac{700}{29} = 24 \ \checkmark$$

# Verifica a fatica

$M_t' = M_t \cdot \frac{404,5}{425} = 610,8$ N mm  e quindi  $\tau = 13,77$ MPa  $\sigma = 13,88$ MPa

N.B.: quando la massa si muove verso destra la sollecitazione normale è di compressione, quando trasla verso sinistra invece è di trazione. Allo stesso modo anche le $\tau$ cambiano di segno.

$\tau_a = \frac{13,77+14,47}{2} = 14,1$ MPa  $\sigma_a = \frac{13,88+14,59}{2} = 14,23$ MPa  $\sigma_m = \frac{13,88-14,59}{2} = -0,35$ M

La $\sigma_m$ è di modestissima entità e di compressione → trascuro.

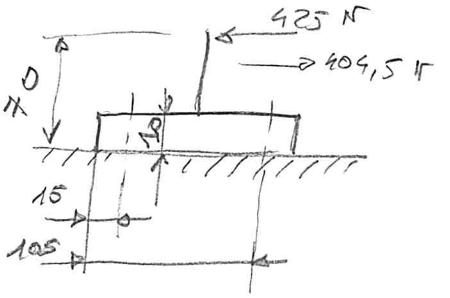
$S_{a_{eq}} = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2} = 28,3$ MPa  $S_{m_{eq}} = \varnothing$

$S_f = \frac{1}{2} \cdot 900 \cdot \underbrace{0,8}_{k_a} \cdot \underbrace{\frac{1}{3,5}}_{1/k_f} = 102,8$ MPa

$\Rightarrow \eta_f = \frac{102,8}{28,3} = 3,6$ ✓

— o —

2) Dimensionamento viti




$M_f = 425 \cdot 70 = 29750$ N mm

$F_e^{MAX} = \frac{M_f \cdot b^{MAX}}{2 b_{min}^2 + 2 b_{max}^2} = \frac{29750 \cdot 105}{2 \cdot 15^2 + 2 \cdot 105^2} = 138,8$ N

$F_{e_{min}} = \varnothing$ ← perché F cambia di segno

## Dimensionamento statico ad attrito

$A_V = \frac{F_T \cdot \eta + F_e f}{\sigma_p k_i f}$

i) viti classe 8.8 → $\sigma_p = 600$ MPa  $\sigma_R = 830$ MPa
i) $f = 0,1$
i) $k_i = 0,7$
i) $\eta = 1,5$

$A_V = \frac{(425/4) \cdot 1,5 + 138,8 \cdot 0,1}{600 \cdot 0,7 \cdot 0,1} = 4,1$ mm²  M3 ($\sim 5$ mm²)

$A_p = d^2 + 0,68\, d\, h + 0,065\, h^2 = 3^2 + 0,68 \cdot 3 \cdot 10 + 0,065 \cdot 10^2 = 35,9$ mm²

$k_A = \frac{A_V}{A_V + A_p} = \frac{5}{5+35,9} = 0,12$

## Verifica statica

$$\eta = \frac{\sigma_{PA}}{F_e}\,\frac{1-K_i}{K_A} = \frac{600\cdot 5}{138{,}8}\,\frac{1-0{,}7}{0{,}12} = 54{,}3 \checkmark$$

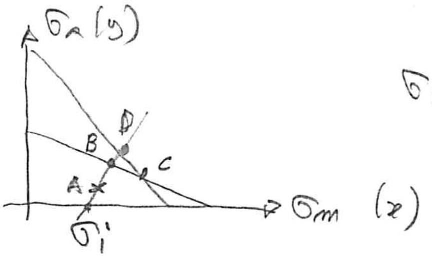
## Verifica a fatica

$$S_f = \frac{830}{2}\cdot\underbrace{0{,}7}_{K_l}\cdot\underbrace{0{,}8}_{K_d} = 232{,}4\ MPa$$

$$\sigma_a = K_A\,\frac{F_e^M - F_{em}}{2A}\cdot K_f = 0{,}12\cdot\frac{138{,}8-0}{2\cdot 5}\cdot 3{,}5 = 5{,}82\ MPa$$

$$\sigma_m = K_A\,\frac{F_e^M + F_{em}}{2A} = 0{,}12\cdot\frac{138{,}8+0}{2\cdot 5} = 1{,}7\ MPa$$

Le sollecitazioni sono bassissime. Per completezza eseguiamo comunque i calcoli




$$\sigma_i' = 0{,}7\cdot 600 = 420\ MPa$$

$$x_C = \frac{\sigma_{UT}\,(S_F - \sigma_y)}{S_F - \sigma_{UT}} = \frac{830\,(232{,}4-660)}{232{,}4-830} \simeq 594$$

$$x_D = \frac{\sigma_a\,\sigma_i + \sigma_m\,\sigma_y}{\sigma_a+\sigma_m} = \frac{5{,}82\cdot 420 + 1{,}7\cdot 660}{5{,}82+1{,}7} = 474{,}25$$

$x_D < x_C$, quindi vale Goodman

$$\frac{1}{\eta} = \frac{\sigma_a}{S_f}\,\frac{\sigma_{UT}}{\sigma_{UT}-\sigma_i} + \frac{\sigma_m}{\sigma_{UT}-\sigma_i} = \frac{5{,}82}{232{,}4}\,\frac{830}{830-420} + \frac{1{,}7}{830-420} = 0{,}0548 \Rightarrow \eta_F = 18{,}23$$