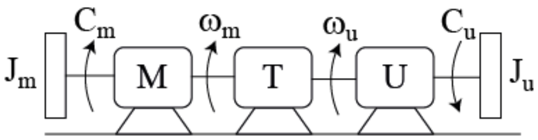
Problema N. 1.1

Il sistema MTU in figura è costituito da un motore di caratteristica lineare $C_m = C_0\left(1-\frac{\omega_m}{\omega_0}\right)$, con C_0=500 Nm e ω_0=300 rad/s e da un utilizzatore su cui è applicata una coppia resistente $C_u=500\omega_u$. Sapendo che la trasmissione è caratterizzata da un rendimento η=0.8 e da un rapporto di trasmissione τ=1/10 calcolare la velocità angolare del motore a regime e la potenza erogata dal motore a regime. I momenti di inerzia sul lato motore e sul lato utilizzatore sono assegnati e pari rispettivamente a: J_m=10 kgm^2 e J_u=50 kgm^2.



Problema N. 1.2

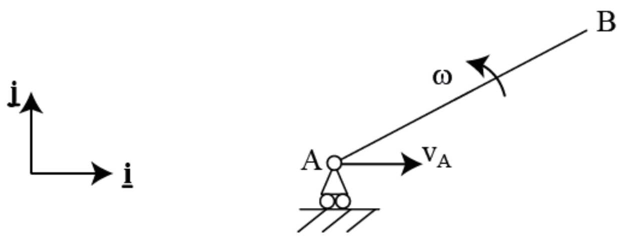
Calcolare i vettori velocità $\underline{\mathbf{v}}_B$ ed accelerazione $\underline{\mathbf{a}}_B$ del punto B nell'istante considerato, noti:

$\underline{\mathbf{v}}_{\mathbf{A}} = 5\underline{\mathbf{i}}\ \left[m/s\right]$

$\underline{\mathbf{a}}_{\mathbf{A}} = 0\ \left[m/s^2\right]$

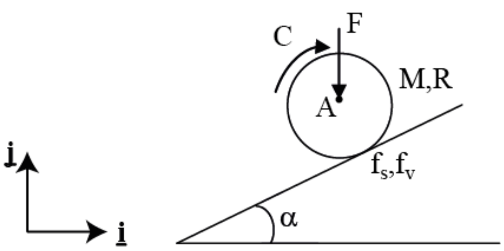
$\underline{\boldsymbol{\omega}} = 3\underline{\mathbf{k}} = cost\ \left[rad/s\right]$

$(B-A) = \sqrt{3}/2\,\underline{\mathbf{i}} + 1/2\,\underline{\mathbf{j}}\ \left[m\right]$



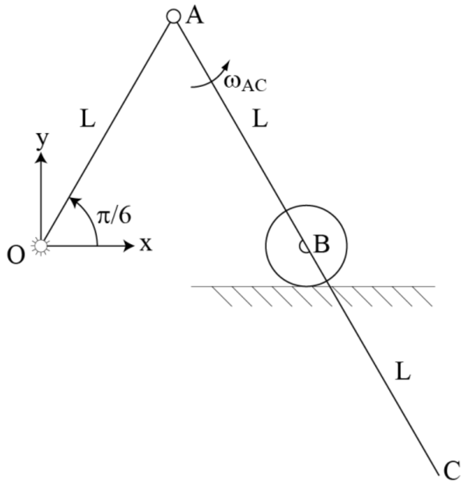
Problema N. 1.3

Il disco in figura, posto nel piano verticale, rotola senza strisciare su un piano inclinato di angolo $\alpha=\pi/6$. Siano noti i valori del coefficiente di resistenza al rotolamento f_V=0.01, della forza F applicata al centro del disco F=-200$\underline{\mathbf{j}}$ [N] e del momento C=100$\underline{\mathbf{k}}$ [Nm]. Si determini il modulo dell'accelerazione del centro del disco A e si verifichi l'aderenza del disco stesso considerando un coefficiente di attrito statico f_s=1.2. Il disco è uniforme, ha raggio R=0.3 m e massa M=30 kg.



Problema N. 1.4

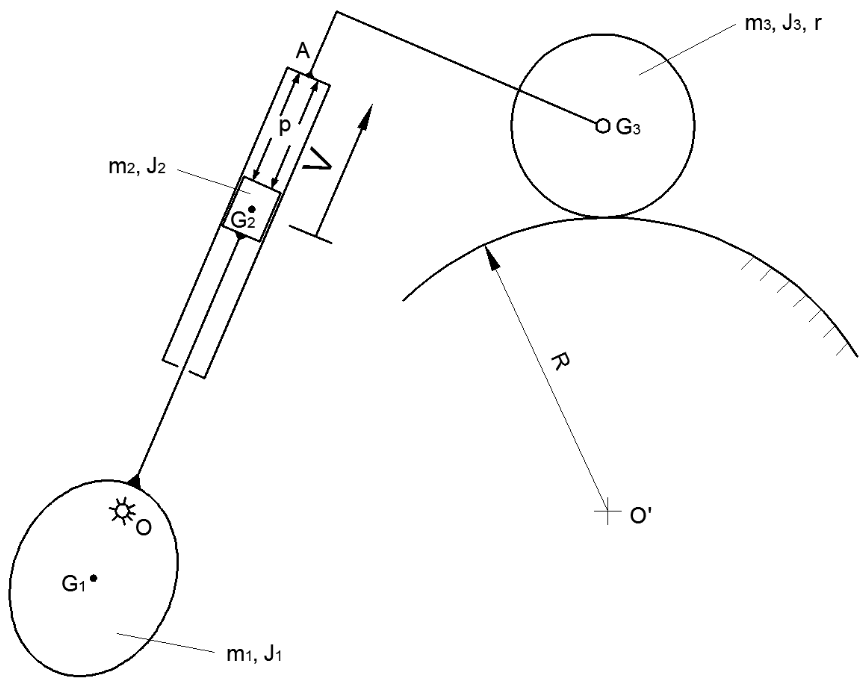
Dato il meccanismo in figura, per cui è assegnata la velocità angolare dell'asta AC $\underline{\boldsymbol{\omega}}_{AC}=2\,\underline{\mathbf{k}}$ [rad/s] e la lunghezza AC=2L=2 m, individuare la posizione del centro di istantanea rotazione dell'asta stessa e, tramite esso, scrivere le componenti del vettore $\underline{\mathbf{v}}_C$ velocità del punto C. Si noti che OA=AB=L.



Problema N.2

Il sistema meccanico illustrato in figura giace nel piano verticale. L'asta OG_2 è incernierata a terra in O, all'estremità inferiore è presente una massa eccentrica con baricentro G_1 e caratteristiche m_1, J_1. All'altra estremità vi è uno pistone caratterizzato da baricentro G_2, massa m_2 e momento d'inerzia J_2. Il pistone scorre dentro un cilindro che a sua volta è rigidamente connesso in A ad un'asta ad L. L'estremità opposta dell'asta è collegata ad un disco tramite una cerniera posizionata in corrispondenza del baricentro G_3. Il disco ha caratteristiche m_3, J_3, r e rotola senza strisciare sulla guida circolare di raggio R. Si consideri nulla la resistenza al rotolamento.
Nell'istante considerato, ritenendo note tutte le grandezze geometriche e considerando una velocità di sfilo V costante, si chiede di determinare:

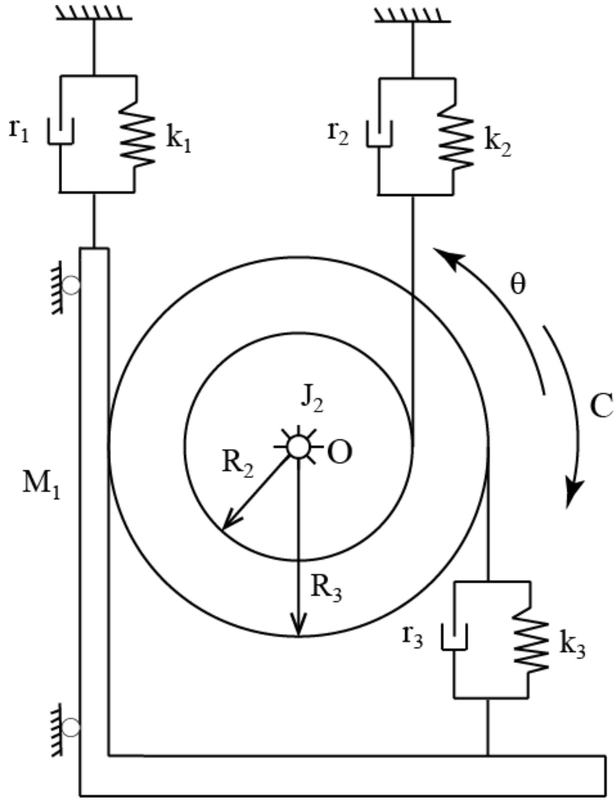
1) i vettori velocità ed accelerazione del centro del disco G_3;
2) il valore della pressione p che garantisce l'atto di moto assegnato;
3) le reazioni vincolari in O e la verifica di aderenza del disco.



Problema N.3

Il sistema rappresentato in figura si trova nel piano verticale. Un corpo di massa M_1 scorre lungo una guida verticale ed è vincolato a terra attraverso un gruppo molla-smorzatore di rigidezza k_1 e smorzamento r_1.
Una coppia di dischi concentrici, di momento di inerzia complessivo pari a J_2, è incernierata a terra nel suo centro O e rotola senza strisciare sul corpo di massa M_1. Una fune collega il disco interno di raggio R_2 a terra attraverso un gruppo molla-smorzatore di rigidezza k_2 e smorzamento r_2. Un'altra fune si avvolge sul disco esterno di raggio R_3 ed è vincolata ad un altro gruppo molla-smorzatore di rigidezza k_3 e smorzamento r_3 che la collega al carrello.
Si richiede di determinare:

1. l'equazione di moto del sistema nell'intorno della posizione di equilibrio statico, utilizzando come variabile indipendente la rotazione θ indicata in figura, e la sua frequenza propria;
2. la risposta del sistema $\theta(t)$ a regime e la zona di funzionamento dello stesso, sapendo che M_1=10 kg, J_2=20 kgm^2, R_2=0.2 m, R_3=0.3 m, k_1=3000 N/m, r_1=30 Ns/m, k_2=6000 N/m, r_2=60 Ns/m, k_3=12000 N/m, r_3=60 Ns/m, $C(t)=C_0\cos(\Omega t)$ con Ω=60 rad/s.



1.1

$$-W_2 - C_u\omega_u = 0 \Rightarrow W_2 = -C_u\omega_u < 0 \quad \text{MOTO DIRETTO}$$

$$C_m\omega_m - (1-\eta_D)C_m\omega_m - C_u\omega_u = 0$$

$$\hookrightarrow \eta_D C_m\omega_m = C_u\omega_u \qquad \text{ma} \quad C_u = 500\,\omega_u$$

$$\omega_u = \tau\,\omega_m$$

$$\Rightarrow \bar{C}_m = \frac{\tau^2}{\eta_D}500\cdot\omega_m$$

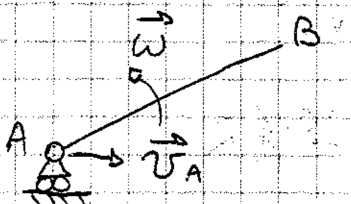
$$\begin{cases} \bar{C}_m = \dfrac{\tau^2}{\eta_D}500\,\bar{\omega}_m \\ \bar{C}_m = C_0\left(1-\dfrac{\bar{\omega}_m}{\omega_0}\right) \end{cases} \Rightarrow \frac{\tau^2}{\eta_D}500\,\bar{\omega}_m = C_0 - \frac{C_0}{\omega_0}\bar{\omega}_m$$

$$\Rightarrow \bar{\omega}_m = \frac{C_0}{\dfrac{\tau^2}{\eta_D}500 + \dfrac{C_0}{\omega_0}} = \frac{500\ Nm}{\dfrac{(1/10)^2}{0{,}8}500\ Nm\,s + \dfrac{500\ Nm}{300\ \frac{rad}{s}}} = 63{,}15\ \frac{rad}{s}$$

$$\Rightarrow \bar{C}_m = \frac{\tau^2}{\eta_D}500\cdot\bar{\omega}_m = \frac{(1/10)^2}{0{,}8}500\ Nm\,s\cdot 63{,}15\ \frac{rad}{s} = 394{,}75\ Nm$$

$$\Rightarrow \bar{P} = \bar{C}_m\bar{\omega}_m = 24930\ W$$

1.2



$$\vec{v}_B = \vec{v}_A + \vec{\omega}\wedge(B-A)$$

$$= 5\vec{i} + 3\vec{k}\wedge\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\vec{i} + \frac{1}{2}\vec{j}\right)$$

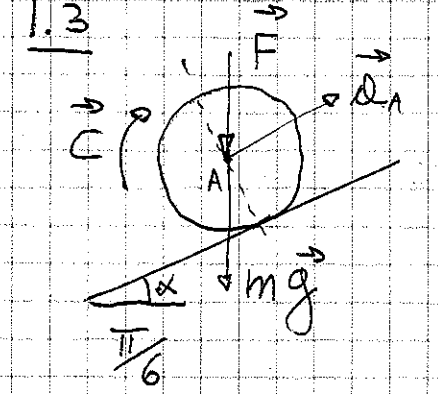
$$= \left(5-\frac{3}{2}\right)\vec{i} + \left(\frac{3\sqrt{3}}{2}\right)\vec{j}$$

$$\vec{a}_B = \underbrace{\cancel{\vec{a}_A}}_{\vec{0}} + \underbrace{\cancel{\dot{\vec{\omega}}}}_{\vec{0}}\wedge(B-A) - \omega^2(B-A)$$

$$= -3^2\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\vec{i} + \frac{1}{2}\vec{j}\right)$$

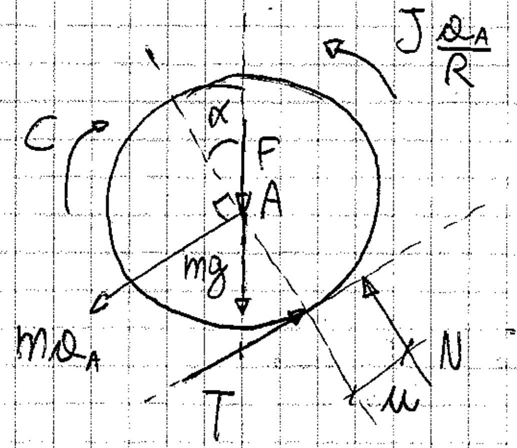
$$= -\frac{9\sqrt{3}}{2}\vec{i} - \frac{9}{2}\vec{j}$$

1.3



Ipotizzo $\vec{a}_A$ come in figura

$$\Rightarrow \dot{\vec{\omega}}_D = -\frac{a_A}{R}\vec{k}$$



$$\begin{cases} \sum F_{\parallel\alpha} = T - ma_A - F\sin\alpha - mg\sin\alpha = 0 & ① \\ \sum F_{\perp\alpha} = N - F\cos\alpha - mg\cos\alpha = 0 & ② \\ \sum M_A^{DISCO} = C - \frac{J}{R}a_A - TR - Nu = 0 & ③ \end{cases}$$

Da ②

$$N = (F + mg)\cos\alpha = \left(200\,N + 30\,kg \cdot 9{,}81\,\frac{m}{s^2}\right)\cos 30° = 428\,N$$

Da ①

$$T = (F + mg)\sin\alpha + ma_A = \left(200\,N + 30\,kg \cdot 9{,}81\,\frac{m}{s^2}\right)\sin 30° + 30\,kg \cdot a_A = 247{,}15 + 30\,a_A \quad N$$

Da ③

$$C - \frac{J}{R}a_A - (247{,}15 + 30\,a_A)R - 428 \cdot f_v \cdot R = 0$$

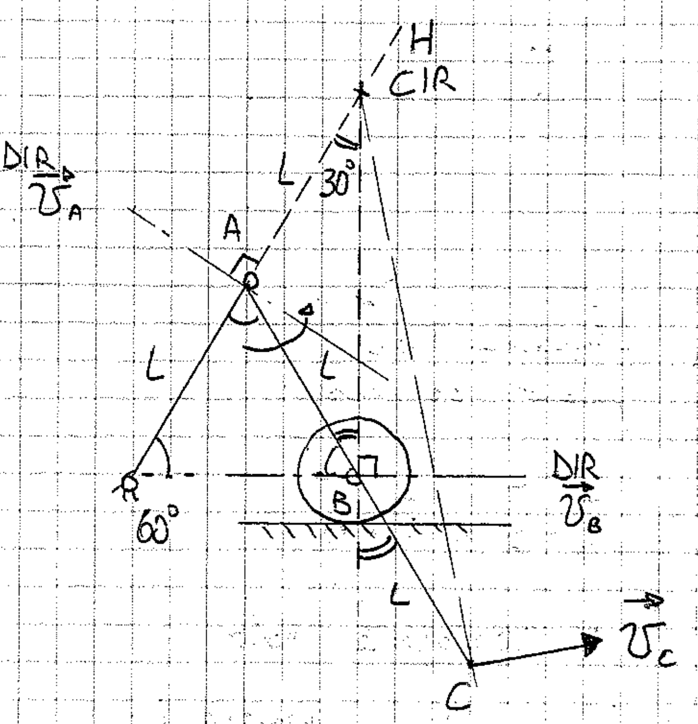
$$\Rightarrow a_A\left(\frac{J}{R} + 30 \cdot R\right) = C - 247{,}15 \cdot R - 428 \cdot f_v R$$

$$\Rightarrow a_A = \frac{100\,Nm - 247{,}15\,N \cdot 0{,}3\,m - 428\,N \cdot 0{,}01 \cdot 0{,}3\,m}{4{,}5\,kg\,m} = 1{,}82\,\frac{m}{s^2}$$

infatti: $\frac{J}{R} = \frac{mR^{\cancel{2}}}{2} \cdot \frac{1}{\cancel{R}} = 4{,}5\,kg\,m$

$$T < f_s N \Rightarrow \frac{T}{N} = \frac{247{,}15 + 30 \cdot 1{,}82}{428} = 0{,}7 < 1{,}2$$

1.4 (ANGOLO INDICATO $\pi/3$)



$$\vec{v}_c = \vec{\omega}_{AC} \wedge (C-H)$$

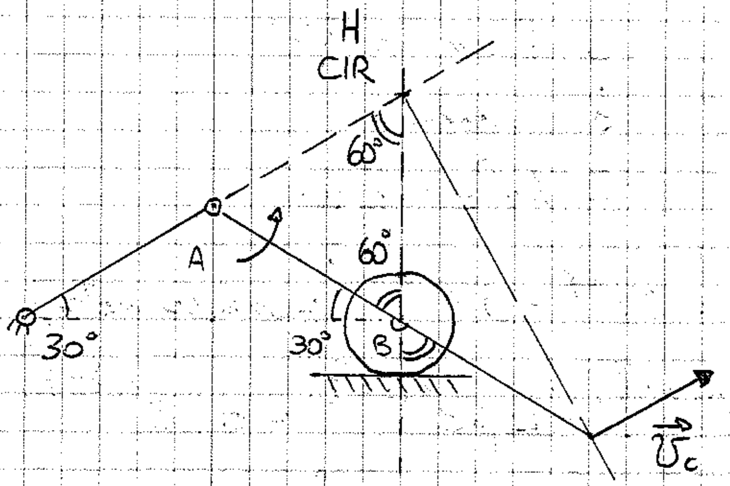
$$\vec{\omega}_{AC} = 2\vec{k}$$

$$(C-H) = L \sin 30° \, \vec{i} - 3 \cdot L \cos 30° \, \vec{j} = \frac{L}{2}\vec{i} - \frac{3\sqrt{3}}{2} L \vec{j} = \frac{1}{2}\vec{i} - \frac{3\sqrt{3}}{2}\vec{j}$$ essendo $L = 1m$.

$$\Rightarrow \vec{v}_c = 2\vec{k} \wedge \left(\frac{1}{2}\vec{i} - \frac{3\sqrt{3}}{2}\vec{j}\right) = 3\sqrt{3}\,\vec{i} + 1\,\vec{j}$$

$$|\vec{v}_c| = \sqrt{19} \; m/s$$

(ANGOLO INDICATO $\pi/6$)



$$\vec{\omega}_{AC} = 2\vec{k}$$

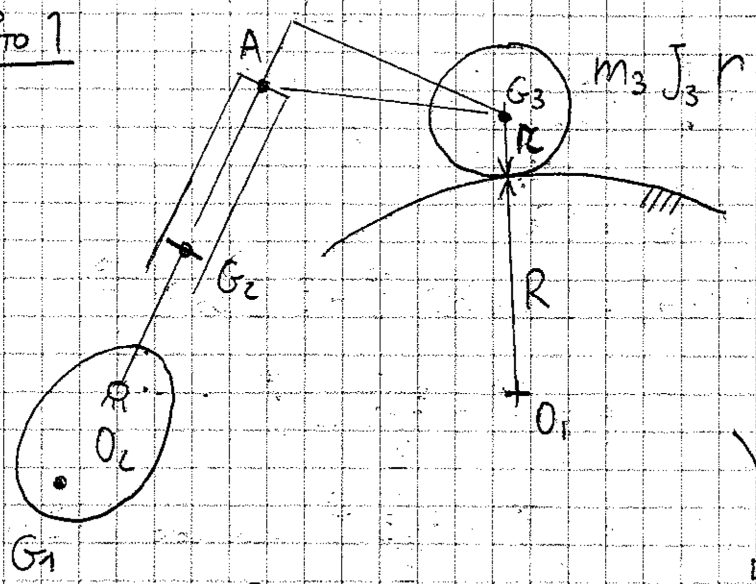
$$(C-H) = L \sin 60° \, \vec{i} - 3L \cos 60° \, \vec{j} = \frac{L\sqrt{3}}{2}\vec{i} - \frac{3L}{2}\vec{j} = \frac{\sqrt{3}}{2}\vec{i} - \frac{3}{2}\vec{j}$$

$$\vec{v}_c = 2\vec{k} \wedge \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\vec{i} - \frac{3}{2}\vec{j}\right) = 3\vec{i} + \sqrt{3}\,\vec{j}$$

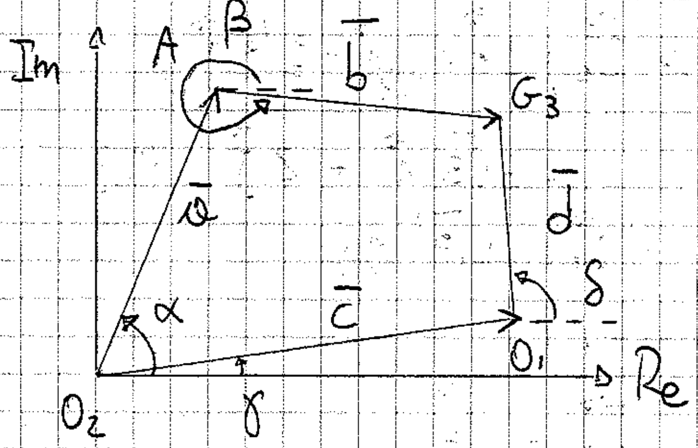
$$|\vec{v}_c| = \sqrt{12} \; m/s$$

2

P.to 1



Chiusura nel piano complesso



$\bar{a}+\bar{b}=\bar{c}+\bar{d}$

a variabile noto

α " incognito

b fisso

β incognito

d fisso $= R+r$

δ incognito

$\bar{c}$ telaio fisso

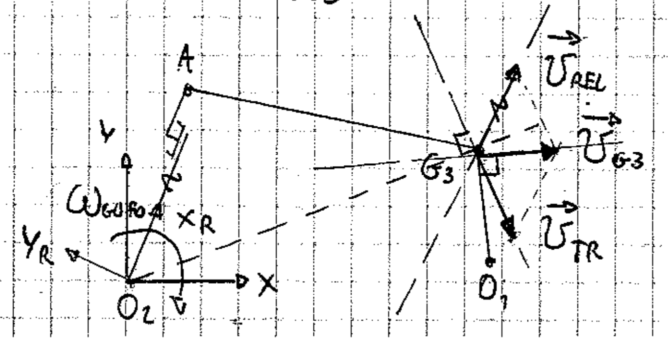
NOTA $\dot{\alpha}=\dot{\beta}=\omega_{GUFO}$

eq. in posizione $a e^{i\alpha}+b e^{i\beta}=c e^{i\gamma}+d e^{i\delta}$ (geometria nota)

eq. in posizione $\dot{a} e^{i\alpha}+a\dot{\alpha} e^{i(\alpha+\frac{\pi}{2})}+b\dot{\beta} e^{i(\beta+\frac{\pi}{2})}=d\dot{\delta} e^{i(\delta+\frac{\pi}{2})}$

$$\Rightarrow \begin{cases} V\cos\alpha-\omega_{GUFO}(a\sin\alpha+b\sin\beta)=-d\dot{\delta}\sin\delta \\ V\sin\alpha+\omega_{GUFO}(a\cos\alpha+b\cos\beta)=d\dot{\delta}\cos\delta \end{cases}$$

$\downarrow \vec{v}_{REL}$ $\quad\downarrow \vec{v}_{TR}$ $\quad\downarrow \vec{v}_{ASS,G3}$



Dal sistema ricavo ω_{GUFO} e $\dot{\delta}$

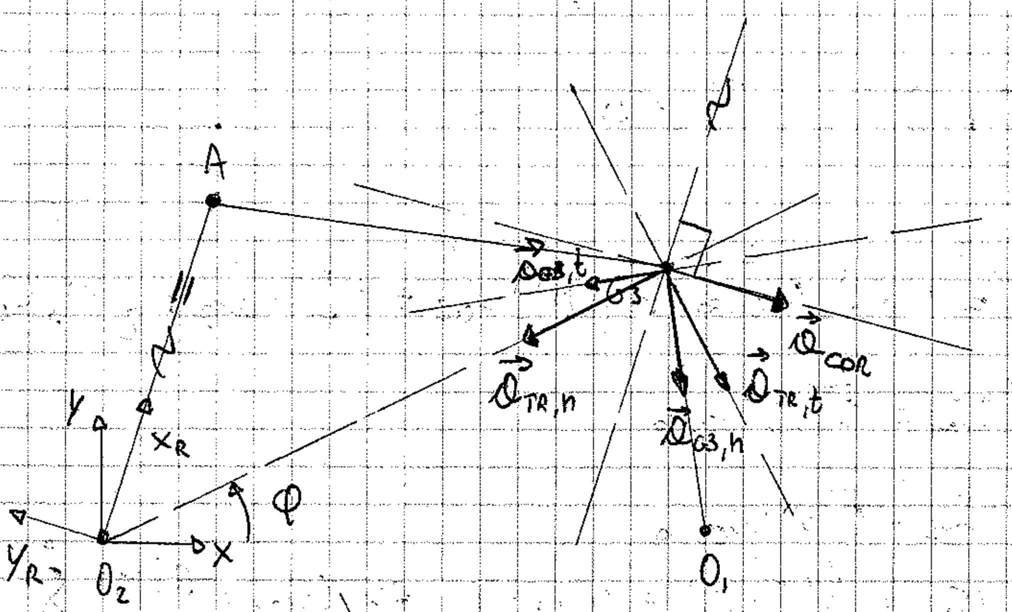
NOTA: si osserva che ω_{GUFO} se calcolata con le terne relative è opposta alle convenzioni

Calcolo le accelerazioni:

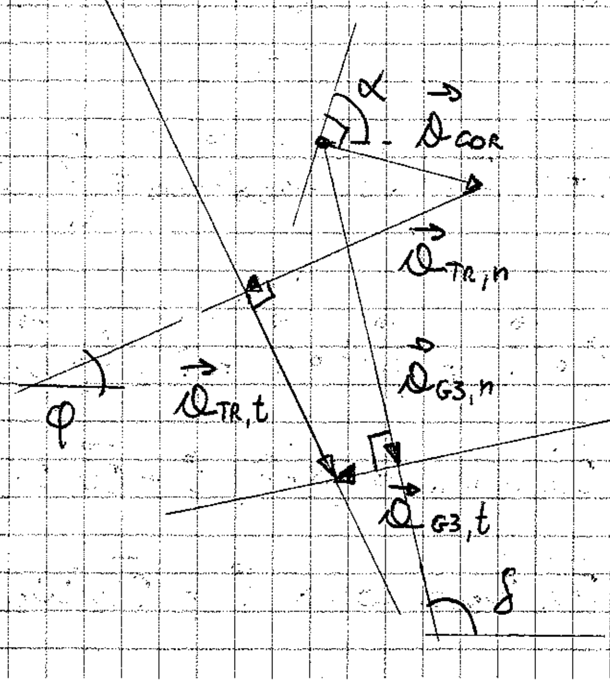
$$\begin{cases} -V\omega_G\sin\alpha - \dot\omega_G(a\sin\alpha + b\sin\alpha) - \omega_G(V\sin\alpha + a\omega_G\cos\alpha + b\omega_G\cos\beta) = \\ \qquad = -d\ddot\delta\sin\delta - d\dot\delta^2\cos\delta \\ +V\omega_G\cos\alpha + \dot\omega_G(a\cos\alpha + b\cos\beta) + \omega_G(V\cos\alpha - a\omega_G\sin\alpha - b\omega_G\sin\beta) = \\ \qquad = d\ddot\delta\cos\delta - d\dot\delta^2\sin\delta \end{cases}$$

$$\begin{cases} -2V\omega_G\sin\alpha - \dot\omega_G(a\sin\alpha + b\sin\beta) - \omega_G^2(a\cos\alpha + b\cos\beta) = -d\ddot\delta\sin\delta - d\dot\delta^2\cos\delta \\ 2V\omega_G\cos\alpha + \dot\omega_G(a\cos\alpha + b\cos\beta) + \omega_G^2(a\sin\alpha + b\sin\beta) = d\ddot\delta\cos\delta - d\dot\delta^2\sin\delta \end{cases}$$

$\vec{a}_{COR}$ $\quad$ $\vec{a}_{TR,t}$ $\quad$ $\vec{a}_{TR,n}$ $\quad$ $\vec{a}_{G3,t}$ $\quad$ $\vec{a}_{G3,n}$



Dal sistema posso ricavare $\dot\omega_G$ e $\ddot\delta$



La velocità di G3 può essere calcolata come segue:

$$\vec{v}_{G3} = \dot{\delta}\vec{k} \wedge (G_3 - O_1)$$ Rispetto le convenzioni dei numeri complessi

$$= \dot{\delta}\vec{k} \wedge \left[(R+r)\cos\delta\,\vec{i} + (R+r)\sin\delta\,\vec{j}\right]$$

$$= -\dot{\delta}(R+r)\sin\delta\,\vec{i} + \dot{\delta}(R+r)\cos\delta\,\vec{j}$$

$$\vec{a}_{G3} = \ddot{\delta}\vec{k} \wedge (G_3 - O_1) - \dot{\delta}^2 (G_3 - O_1)$$

$$= \underbrace{-\ddot{\delta}(R+r)\sin\delta\,\vec{i} + \ddot{\delta}(R+r)\cos\delta\,\vec{j}}_{\vec{a}_{G3,t}} \underbrace{-\dot{\delta}^2(R+r)\cos\delta\,\vec{i} - \dot{\delta}^2(R+r)\sin\delta\,\vec{j}}_{\vec{a}_{G3,n}}$$

<u>P.TO 2</u>

$$\frac{dE_c}{dt} = \Pi + \Pi' \qquad \Pi' = 0$$

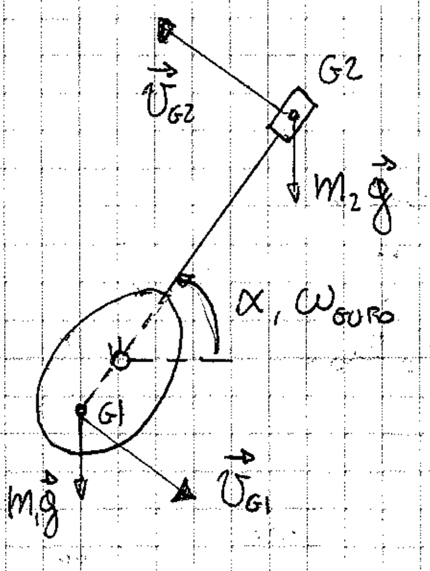
$$E_c = \frac{1}{2}m_1 v_{G1}^2 + \frac{1}{2}J_1\omega_{GURO}^2 + \frac{1}{2}m_2 v_{G2}^2 + \frac{1}{2}J_2\omega_{GURO}^2 + \frac{1}{2}m_3 v_{G3}^2 + \frac{1}{2}J_3\omega_{G3}^2$$

Dove
$$\begin{cases} v_{G1} = \overline{OG_1}\,\omega_{GURO} \\ v_{G2} = \overline{OG_2}\,\omega_{GURO} \\ v_{G3} = \dot{\delta}(R+r) = \omega_{G3}\cdot r \Rightarrow \omega_{G3} = \dfrac{R+r}{r}\dot{\delta} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \frac{dE_c}{dt} = \left(m_1\overline{OG_1}^2 + J_1 + m_2\overline{OG_2}^2 + J_2\right)\omega_{GURO}\dot{\omega}_{GURO} + \left[m_3(R+r)^2 + J_3\left(\frac{R+r}{r}\right)^2\right]\dot{\delta}\ddot{\delta}$$

$$\Pi = m_1\vec{g}\cdot\vec{v}_{G1} + m_2\vec{g}\cdot\vec{v}_{G2} + pA\cdot\vec{V} + m_3\vec{g}\cdot\vec{v}_{G3}$$

Dove
$$\begin{cases} \vec{v}_{G1} = \overline{OG_1}\,\omega_{GURO}\cos(\alpha+\pi)\,\vec{i} + \overline{OG_1}\,\omega_{GURO}\sin(\alpha+\pi)\,\vec{j} \\ \vec{v}_{G2} = \overline{OG_2}\,\omega_{GURO}\cos\alpha\,\vec{i} + \overline{OG_2}\,\omega_{GURO}\sin\alpha\,\vec{j} \end{cases}$$

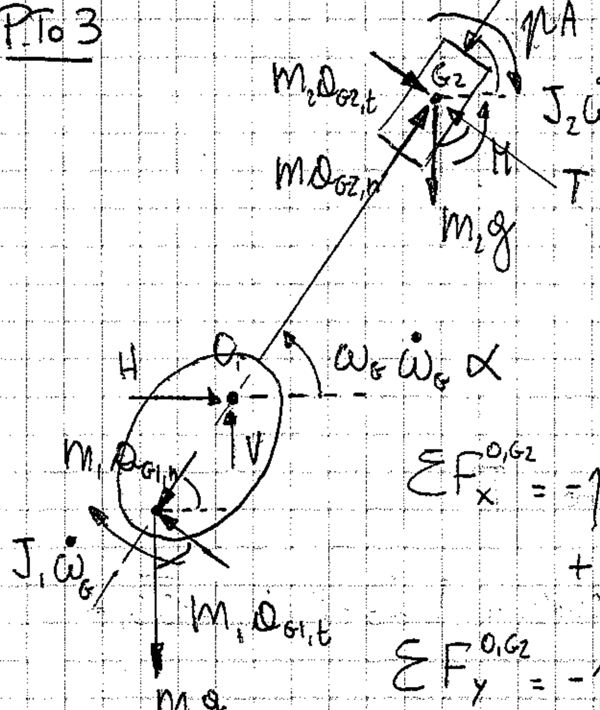


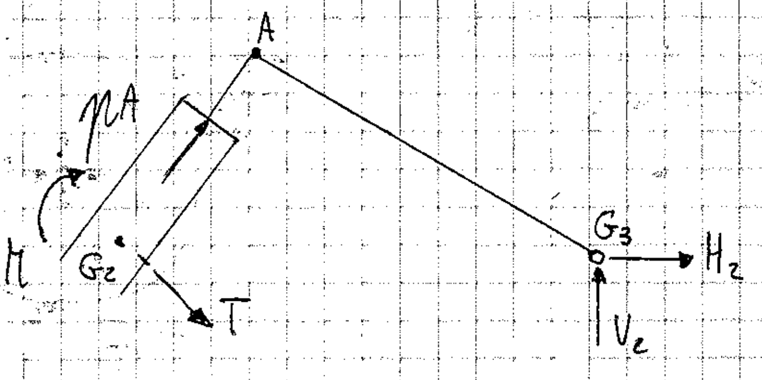
$$\Pi = m_1 g \overline{O_1G_1}\,\omega_{GIRO} \sin\alpha - m_2 g \overline{O_1G_2}\,\omega_{GIRO} \sin\alpha + p A\cdot V - m_3 g\,\dot{\delta}(R+r)\cos\delta$$

$$= \left(m_1 g \overline{O_1G_1}\sin\alpha - m_2 g \overline{O_1G_2}\sin\alpha\right)\omega_{GIRO} + p A\cdot V - m_3 g (R+r)\cos\delta\cdot\dot{\delta}$$

Nell'eq. del bilancio di potenza l'unica incognita è p.

P.TO 3





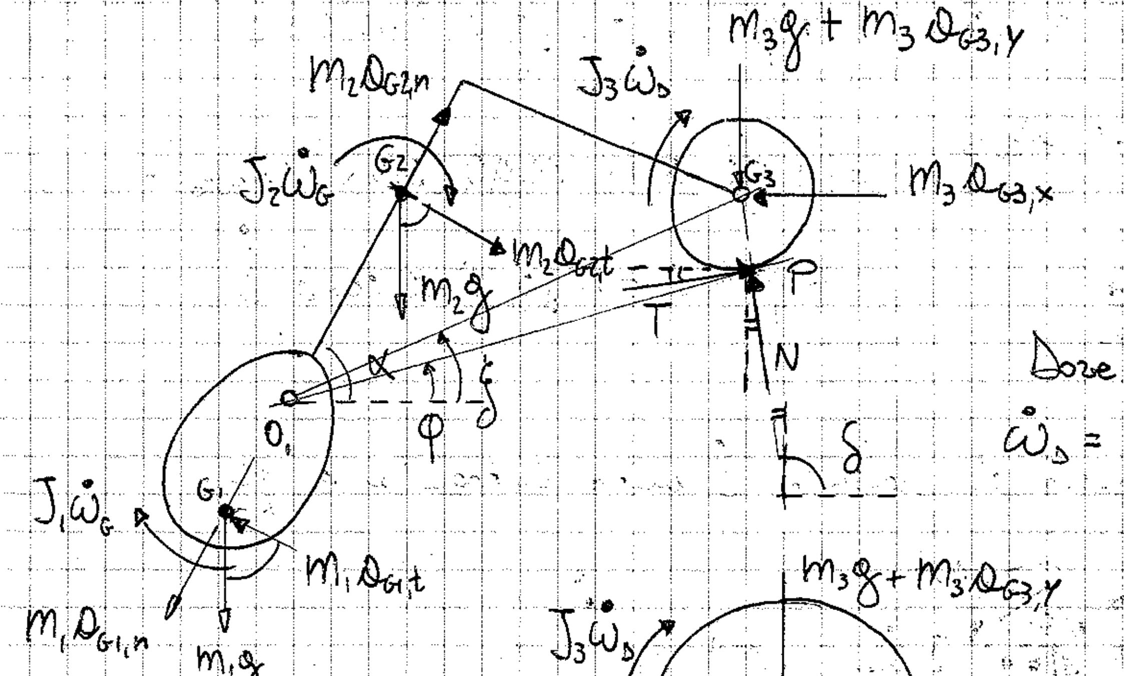
$$\Sigma F_x^{O,G_2} = -pA\cos\alpha - T\sin\alpha + m_2 a_{G2,t}\sin\alpha + m_2 a_{G2,n}\cos\alpha + H - m_1 a_{G1,n}\cos\alpha - m_1 a_{G1,t}\sin\alpha = 0$$

$$\Sigma F_y^{O,G_2} = -pA\sin\alpha + T\cos\alpha - m_2 a_{G2,t}\cos\alpha - m_2 g + m_2 a_{G2,n}\sin\alpha + V - m_1 a_{G1,n}\sin\alpha + m_1 a_{G1,t}\cos\alpha - m_1 g = 0$$

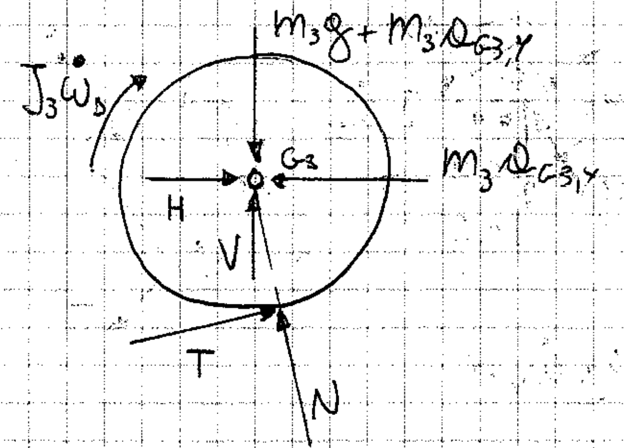
$$\Sigma M_{O_1}^{O,G_2} = \left(-m_2 a_{G2,t} + T\right)\overline{O_1G_2} - m_2 g\cos\alpha\,\overline{O_1G_2} + M - J_2\dot{\omega}_G - J_1\dot{\omega}_G - m_1 a_{G1,t}\overline{O_1G_1} - m_1 g\cos\alpha\,\overline{O_1G_1} = 0$$

$$\Sigma M_{G_3}^{G_3A} = M + pA\cdot\overline{G_3A} - T\cdot\overline{G_2A} = 0$$

Ho un sistema di 4 equazioni in 4 incognite H, V, M, T quindi ricavo le reazioni in O_1 H e V.



Dove $\dot{\omega}_D = \dfrac{R+r}{r} \cdot \ddot{\delta}$

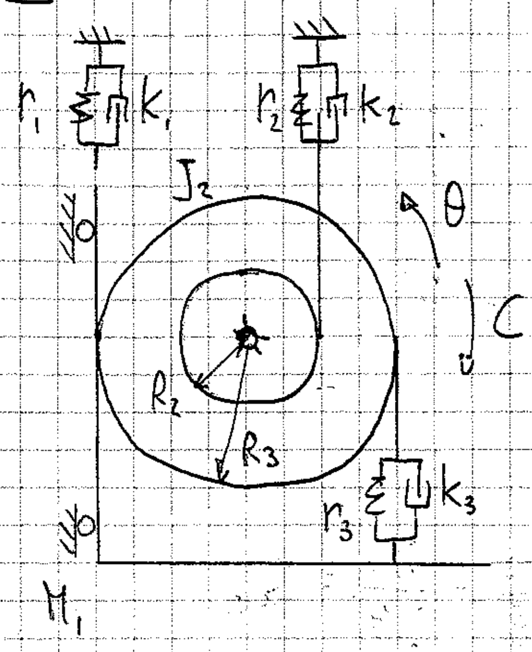


$$
\begin{cases}
\sum M_{G_3}^{DISCO} = J_3 \dot{\omega}_D - T \cdot r = 0 \quad \text{ricavo } T \\
\sum M_{O_1}^{STRUT.} = J_2 \dot{\omega}_G + m_2 a_{G2,t} \overline{O_1G_2} + m_2 g \overline{O_1G_2} \cos\alpha + J_1 \dot{\omega}_G + m_1 a_{G1,t} \overline{O_1G_1} - \\
\quad - m_1 g \overline{O_1G_1} \cos\alpha + \\
\quad + J_3 \dot{\omega}_D + (m_3 g + m_3 a_{G3,y}) \overline{O_1G_3} \cos\xi - m_3 a_{G3,x} \overline{O_1G_3} \sin\xi + \\
\quad - \left[N \cos\left(\delta - \frac{\pi}{2}\right) + T \sin\left(\delta - \frac{\pi}{2}\right)\right] \overline{O_1P} \cos\varphi + \\
\quad + \left[-N \sin\left(\delta - \frac{\pi}{2}\right) + T \cos\left(\delta - \frac{\pi}{2}\right)\right] \overline{O_1P} \sin\varphi = 0
\end{cases}
$$

La seconda eq. ha come sola incognita N

L'aderenza e verificata se $T \leq f_s \cdot N$

3



Pto 1

Sist 1 GDL

Forme di energia:

$$E_c = \frac{1}{2} M_1 v_1^2 + \frac{1}{2} J_2 \omega_2^2$$

$$D = \frac{1}{2} r_1 \Delta\dot{l}_1^2 + \frac{1}{2} r_2 \Delta\dot{l}_2^2 + \frac{1}{2} r_3 \Delta\dot{l}_3^2$$

$$V = \frac{1}{2} k_1 \Delta l_1^2 + \frac{1}{2} k_2 \Delta l_2^2 + \frac{1}{2} k_3 \Delta l_3^2$$

Il contributo del campo gravitazionale all'energia potenziale è lineare e viene compensato dal precarico statico delle molle del sistema. => non rientra nelle eq.

$$\delta^* L = C \cdot \delta^* \theta_2$$

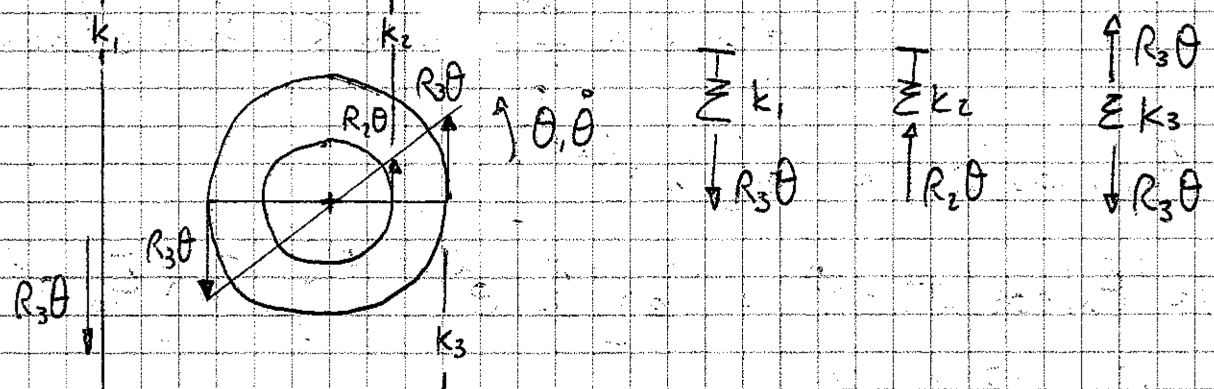
Legami cinematici:

	$\dot{\theta}$
v_1	$-R_3$
ω_2	1

	θ
Δl_1	R_3
Δl_2	$-R_2$
Δl_3	$2R_3$

	$\dot{\theta}$
$\Delta\dot{l}_1$	R_3
$\Delta\dot{l}_2$	$-R_2$
$\Delta\dot{l}_3$	$2R_3$

	$\delta^*\theta$
$\delta^*\theta_2$	-1



$$E_c = \frac{1}{2}\left[M_1 R_3^2 + J_2\right]\dot{\theta}^2 = \frac{1}{2} J^* \dot{\theta}^2$$

$$D = \frac{1}{2}\left[r_1 R_3^2 + r_2 R_2^2 + 4 r_3 R_3^2\right]\dot{\theta}^2 = \frac{1}{2} r^* \dot{\theta}^2$$

$$V = \frac{1}{2}\left[k_1 R_3^2 + k_2 R_2^2 + 4 k_3 R_3^2\right]\theta^2 = \frac{1}{2} k^* \theta^2$$

$$\delta^* L = -C \cdot \delta^* \theta$$

Applico Lagrange: $\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial E_c}{\partial \dot{\theta}}\right) - \frac{\partial E_c}{\partial \theta} + \frac{\partial D}{\partial \dot{\theta}} + \frac{\partial V}{\partial \theta} = Q_c$

$$\Rightarrow J^* \ddot{\theta} + r^* \dot{\theta} + k^* \theta = -C(t)$$

Dove $\begin{cases} J^* = 20,9 \ kgm^2 \\ r^* = 26,7 \ Nm \cdot s \\ k^* = 4830 \ Nm \end{cases}$

Pto 2

Zona di funzionamento: $\omega_0 = \sqrt{\frac{k^*}{J^*}} = 15,2$ RAD/s

$\Rightarrow a = \frac{\Omega}{\omega_0} = 3,95 > 1$ Zona sismografica

$r_c = 2\omega_0 \cdot J^* = 635.3 \ Nm \cdot s$

$\Rightarrow h = \frac{r^*}{r_c} = 0,04 < 1$ Sist sottosmorzato.

$$C(t) = C_0 \cos(\Omega t) = Re\{C_0 e^{i\Omega t}\}$$

$$\theta_p(t) = |\bar{\theta}_p| \cos(\Omega t + \varphi) = Re\{|\bar{\theta}_p| e^{i(\Omega t + \varphi)}\} = Re\{\bar{\theta}_p e^{i\Omega t}\}$$

Dove $\bar{\theta}_p = |\bar{\theta}_p| e^{i\varphi}$

$$\Rightarrow \quad \left(-J^*\Omega^2 + i r^*\Omega + k^*\right)\bar{\theta}_p = -C_0$$

$$\Rightarrow \quad \bar{\theta}_p = \frac{-C_0}{-J^*\Omega^2 + i r^*\Omega + k^*}$$

$$\rightsquigarrow \quad |\bar{\theta}_p| = \frac{\delta_{ST}}{\sqrt{(1-\alpha^2)^2 + (2\alpha h)^2}} \qquad \text{Dove } \delta_{ST} = \frac{-C_0}{k^*}$$

$$= -0{,}003 \cdot C_0$$

$$\varphi = \operatorname{atg}\left(-\frac{2\alpha h}{1-\alpha^2}\right)$$

$= 1{,}23°$ Lo sfasamento deve essere negativo!
e deve essere > di 90° in quanto
sono in zona quasistatica

$$\Rightarrow \quad \varphi = -180 + 1{,}23 = -178{,}7°$$