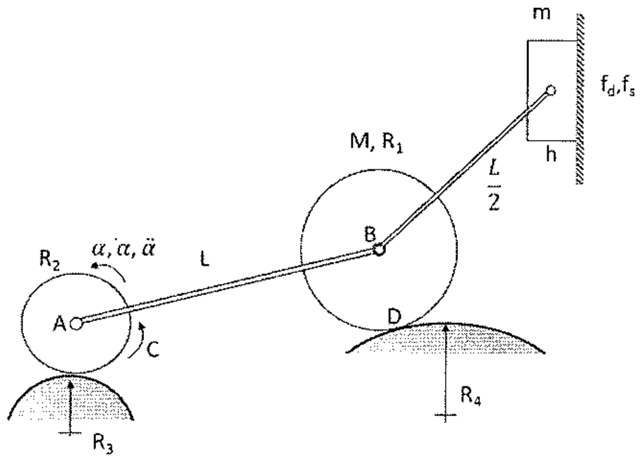
MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE
Allievi meccanici AA.2011-2012 prova del 04-07-2012

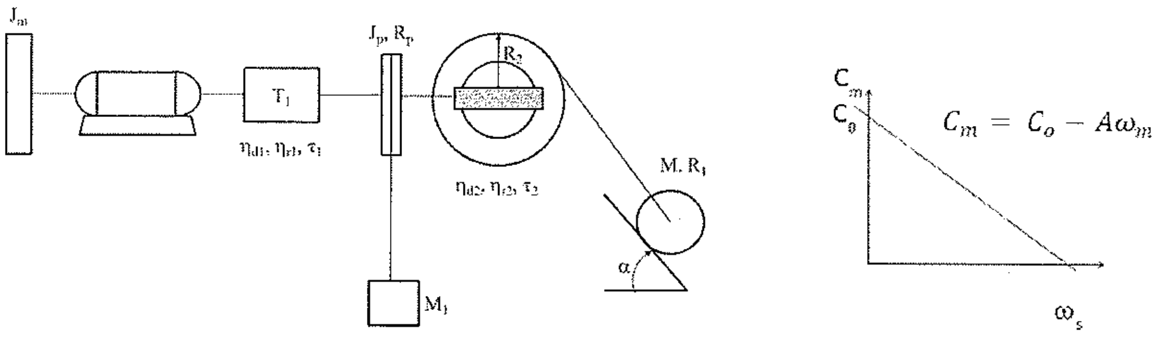
Problema N.1



Il meccanismo indicato in figura è posto nel piano verticale e risulta di caratteristiche geometriche note. Sono note la massa M del disco di raggio R_1 e la massa m del corsoio, mentre il disco di raggio R2 e le due aste sono considerate privi di massa. Entrambi i dischi rotolano senza strisciare sulle guide curvilinee rispettivamente di raggio R_3 ed R_4. Sono noti il coefficiente di attrito statico e dinamico tra corsoio e guida rettilinea, si ipotizza assente l'attrito volvente fra i dischi e le rispettive guide.
Al disco di raggio R_2 è applicata una coppia C e sono note velocità ed accelerazione angolare $\dot{\alpha}$, $\ddot{\alpha}$
Si determino:

1. Velocità e accelerazione del centro B del disco di massa M
2. Velocità e accelerazione del corsoio di massa m
3. Il momento motore C al fine di garantire il moto, considerando NULLO l'attrito dinamico tra corsoio e guida rettilinea.
4. Il momento motore C al fine di garantire il moto considerando attrito dinamico fra corsoio e guida.
5. La verifica di aderenza in D.

Problema N.2



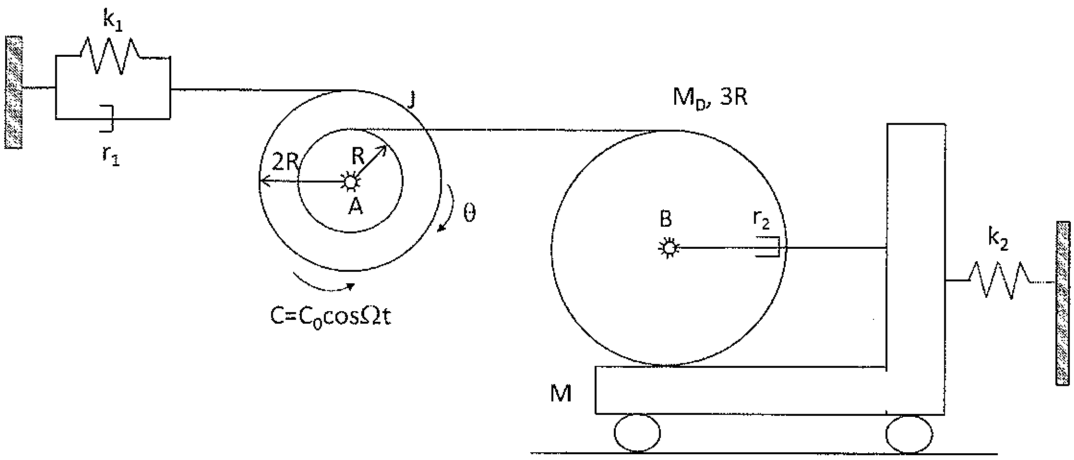
M_1	5	kg
M	5	kg
R_1	1	m
α	10°	
f_v	0.1	

MECCANICA APPLICATA ALLE MACCHINE
Allievi meccanici AA.2011-2012 prova del 04-07-2012

Il sistema in figura è costituito da una macchina ad un grado di libertà. Sono presenti due trasmissioni in serie: la prima è realizzata mediante un riduttore ad ingranaggi con rapporto di trasmissione e rendimento pari rispettivamente a τ_1 e η_{d1},η_{r1}, mentre la seconda è costituita da una vite senza fine, caratterizzata da rapporto di trasmissione e rendimento τ_2 e η_{d2},η_{r2}. Tra le due trasmissioni si trova una puleggia di raggio R_p e momento d'inerzia J_p, che solleva una massa M_1. L'utilizzatore a valle della seconda trasmissione è costituito da un disco di massa M e raggio R_1 che rotola senza strisciare su un piano inclinato di angolo α. Il centro del disco è collegato alla puleggia di raggio R_2 tramite fune inestensibile parallela al piano inclinato.
Noti i dati in tabella, da utilizzarsi ai fini della discussione del flusso di potenza, e la legge di funzionamento del motore, si richiede di identificare:

1. la coppia del motore per garantire un'accelerazione in discesa del disco di 3 m/s^2, considerando la massa M_1 in salita;
2. la ω del motore per garantire a regime la salita della massa M_1 e la discesa del disco di massa M

Problema N.3

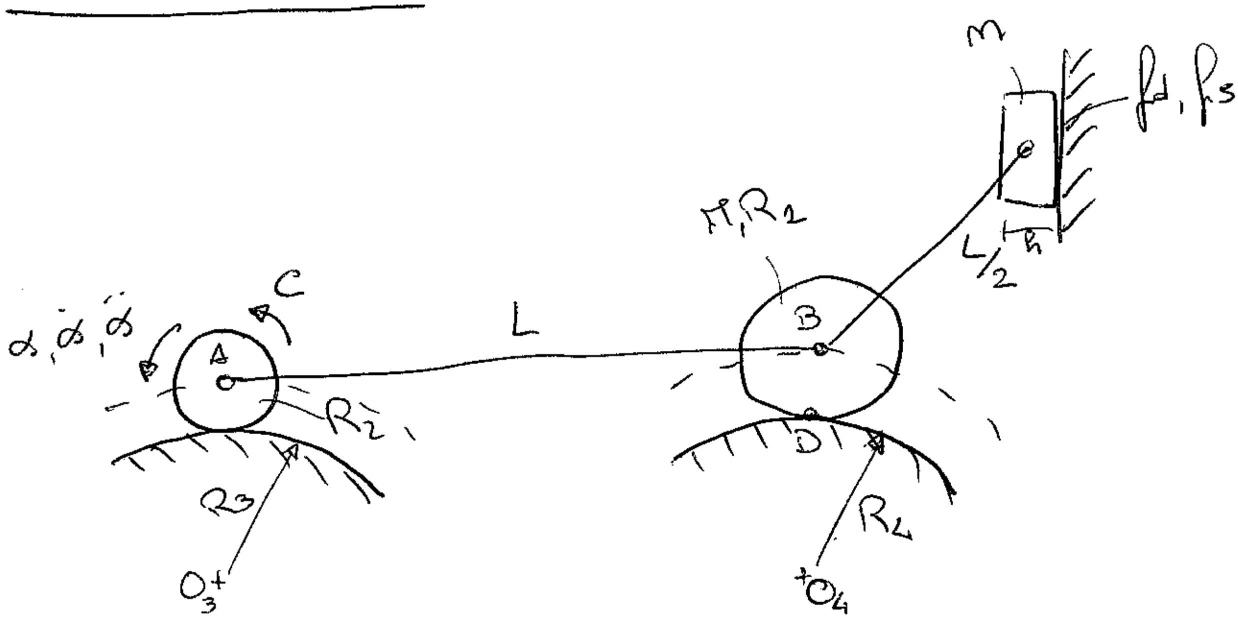


r_1	3000	Ns/m		M	200	kg
r_2	1000	Ns/m		M_d	50	kg
k_1	1,00E+04	N/m		R	1	m
k_2	5,00E+04	N/m		C_0	7	Nm
J	100	kgm^2		Ω	30	rad/s

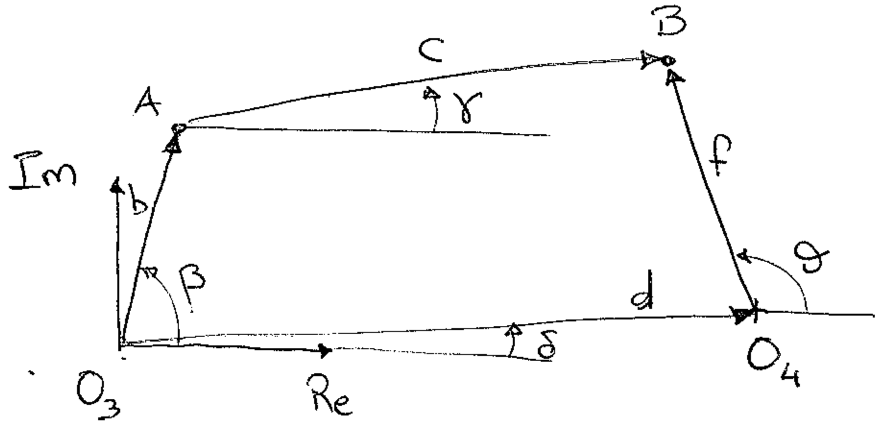
Il sistema rappresentato in figura è posto nel piano orizzontale. Una coppia di dischi solidali tra loro, di raggi R e 2R e momento d'inerzia complessivo J, è vincolata a terra in A. Sul disco di raggio 2R si avvolge una fune inestensibile collegata ad un gruppo molla smorzatore. Una seconda fune si avvolge sul disco di raggio R e, all'altra estremità, su un disco di raggio 3R e massa M_d, vincolato a terra in B, che rotola senza strisciare su un carrellino di massa M. Il carrello è vincolato a traslare su una guida rettilinea, ed è collegato a terra con una molla di rigidezza k_2, al centro del disco con uno smorzatore viscoso r_2. Sul sistema di dischi è applicata una coppia $C(t) = C_0 cos(\Omega t)$
Si richiede di calcolare, noti i dati riportati in tabella e data la coordinata libera θ:

1. l'equazione di moto del sistema.
2. la frequenza propria del sistema smorzato.
3. La risposta a regime del sistema. Si richiede inoltre di identificare la zona di lavoro del sistema.

Problema 1



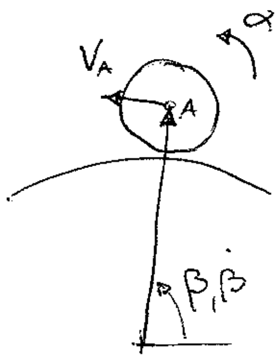
1) Velocità, accelerazione pt. B



$$\overline{O_3A} + \overline{AB} = \overline{O_3O_4} + \overline{O_4B}$$

$$be^{i\beta} + ce^{i\gamma} = de^{i\delta} + fe^{i\vartheta}$$

cost	var
$b = R_2 + R_3$	β → esprimibile in $f(\alpha)$
$c = L$	
$d = \overline{O_3O_4}$	γ ?
$f = R_1 + R_4$	ϑ ?
δ	



$$V_A = b\dot\beta = R_2\dot\alpha \quad \Rightarrow \quad \dot\beta = \frac{R_2}{R_2+R_3}\dot\alpha$$

Derivo:

$$bi\dot\beta e^{i\beta} + ci\dot\gamma e^{i\gamma} = fi\dot\vartheta e^{i\vartheta}$$

$$\begin{cases} -b\dot\beta \sin\beta - c\dot\gamma\sin\gamma = -f\dot\vartheta\sin\vartheta \\ b\dot\beta\cos\beta + c\dot\gamma\cos\gamma = f\dot\vartheta\cos\vartheta \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \dot\gamma \\ \dot\vartheta \end{cases}$$

Derivo ancora:

$$\begin{cases} -b\ddot{\beta}\sin\beta - b\dot{\beta}^2\cos\beta - c\ddot{\gamma}\sin\gamma - c\dot{\gamma}^2\cos\gamma = -f\ddot{\vartheta}\sin\vartheta - f\dot{\vartheta}^2\cos\vartheta \\ b\ddot{\beta}\cos\beta - b\dot{\beta}^2\sin\beta + c\ddot{\gamma}\cos\gamma - c\dot{\gamma}^2\sin\gamma = f\ddot{\vartheta}\cos\vartheta - f\dot{\vartheta}^2\sin\vartheta \end{cases}$$

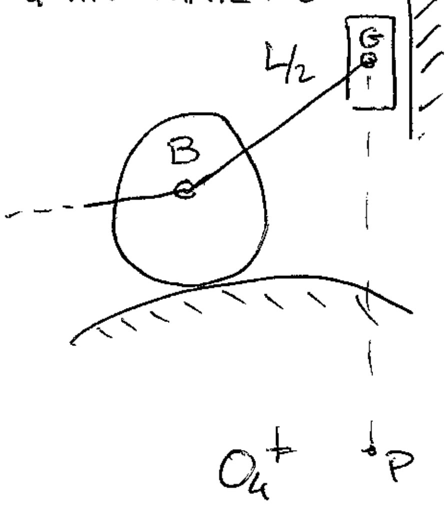
$$\Rightarrow \begin{cases} \ddot{\gamma} \\ \ddot{\vartheta} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \vec{V}_B = f i \dot{\vartheta} e^{i\vartheta} = \boxed{f\dot{\vartheta} e^{i(\vartheta + \frac{\pi}{2})}}$$

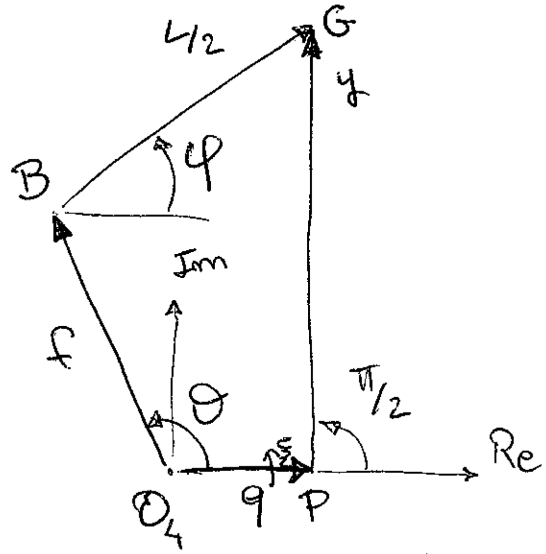
$$\vec{a}_B = -f\dot{\vartheta}^2 e^{i\vartheta} + f i \ddot{\vartheta} e^{i\vartheta} = \boxed{-f\dot{\vartheta}^2 e^{i\vartheta} + f\ddot{\vartheta} e^{i(\vartheta+\frac{\pi}{2})}}$$

2) Velocità, accelerazione corsoio (pt. G)

G HA TRAIETTORIA RETTILINEA



$\Rightarrow$



cost	var
f	ϑ (noto)
q, ξ	φ ?
$BG = \frac{L}{2}$	y ?

$$f e^{i\vartheta} + \frac{L}{2} e^{i\varphi} = q + iy$$

Derivo:

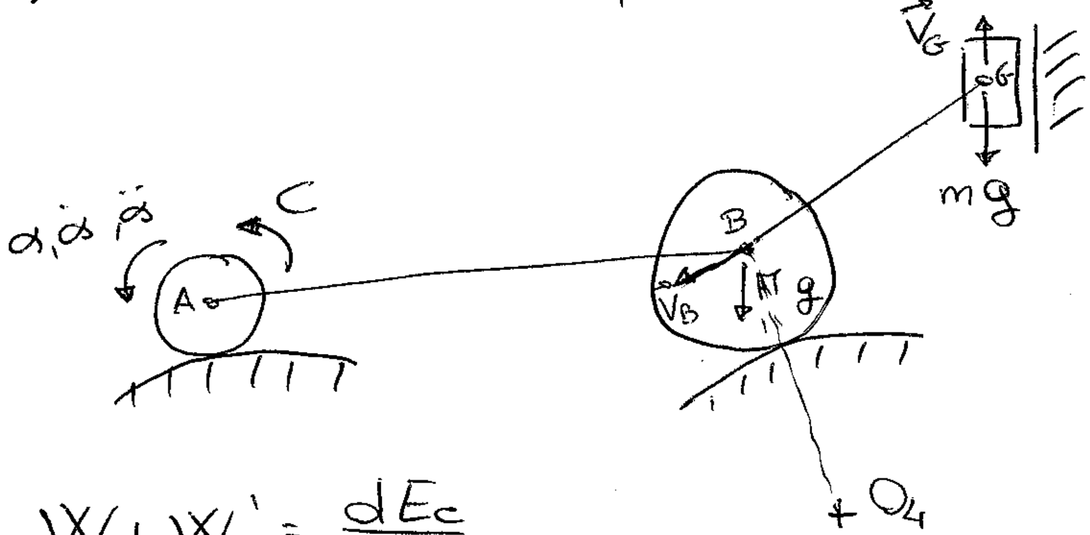
$$f i \dot{\vartheta} e^{i\vartheta} + \frac{L}{2} i \dot{\varphi} e^{i\varphi} = i\dot{y} = \vec{V}_G$$

$$\begin{cases} -f\dot{\vartheta}\sin\vartheta - \frac{L}{2}\dot{\varphi}\sin\varphi = 0 \\ f\dot{\vartheta}\cos\vartheta + \frac{L}{2}\dot{\varphi}\cos\varphi = \dot{y} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \dot{\varphi} \\ \dot{y} \end{cases}$$

$$f i\ddot{\vartheta} e^{i\vartheta} - f\dot{\vartheta}^2 e^{i\vartheta} + \frac{L}{2} i\ddot{\varphi} e^{i\varphi} - \frac{L}{2}\dot{\varphi}^2 e^{i\varphi} = i\ddot{y} = \vec{a}_G$$

$$\begin{cases} -f\ddot{\vartheta}\sin\vartheta - f\dot{\vartheta}^2\cos\vartheta - \frac{L}{2}\ddot{\varphi}\sin\varphi - \frac{L}{2}\dot{\varphi}^2\cos\varphi = 0 \\ f\ddot{\vartheta}\cos\vartheta - f\dot{\vartheta}^2\sin\vartheta + \frac{L}{2}\ddot{\varphi}\cos\varphi - \frac{L}{2}\dot{\varphi}^2\sin\varphi = \ddot{y} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \ddot{\varphi} \\ \ddot{y} \end{cases}$$

3) Mom. motore C, senza attrito:



$$W + W' = \frac{dE_c}{dt}$$

$$W = C\dot{\alpha} + M\vec{g}\cdot\vec{V}_B + m\vec{g}\cdot\vec{V}_G$$

$$= C\dot{\alpha} - mg\dot{y} - Mg\,V_{B,y} \qquad V_{B,y} = f\dot{\vartheta}\cos\vartheta$$

$$W' = 0$$

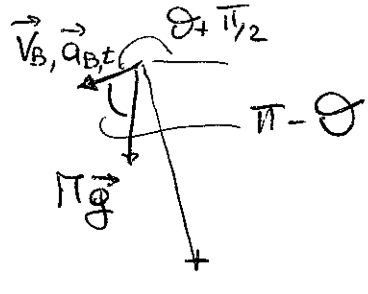
$$E_c = \frac{1}{2}M V_B^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{M R_1^2}{2}\right)\omega_1^2 + \frac{1}{2}m V_G^2$$

$$\frac{dE_c}{dt} = M V_B a_{B,t} + \frac{M R_1^2}{2}\omega_1\dot{\omega}_1 + m V_G a_G$$

dove $\omega_1 = \frac{R_1 + R_4}{R_1}\dot{\vartheta} \qquad \dot{\omega}_1 = \frac{R_1 + R_4}{R_1}\ddot{\vartheta}$

$$V_G = \dot{y} \qquad a_G = \ddot{y}$$

$$|\vec{V}_B| = f\dot{\vartheta} \qquad |\vec{a}_{B,t}| = f\ddot{\vartheta}$$



$$V_{B,y} = f\dot{\vartheta}\cos\vartheta$$

$$a_{B,y} = f\ddot{\vartheta}\cos\vartheta$$

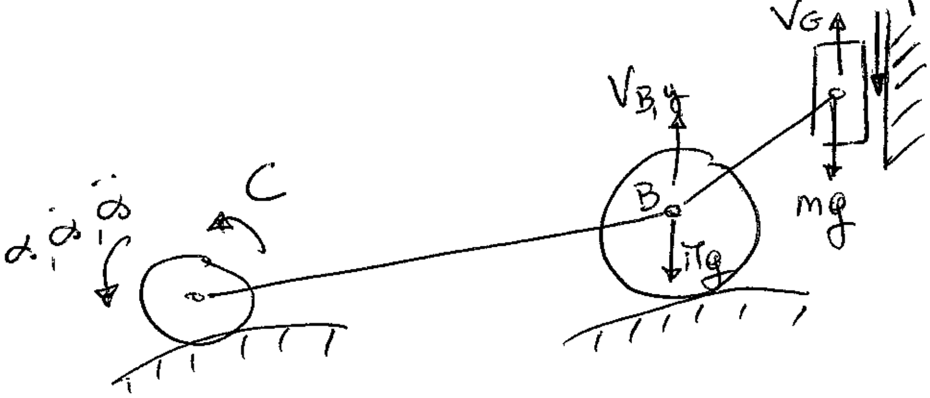
$$\Downarrow$$

$$C\dot{\alpha} - mg\dot{y} - Mgf\dot{\vartheta}\cos\vartheta = Mf^2\dot{\vartheta}\ddot{\vartheta} + \frac{MR_1^2}{2}\left(\frac{R_1+R_4}{R_1}\right)^2\dot{\vartheta}\ddot{\vartheta} +$$

$$+ m\dot{y}\ddot{y}$$

$$\Rightarrow \boxed{C = \ldots}$$

4) Mom. motore C, con attrito dinamico:



NB: assegnato $\alpha, \dot{\alpha}, \ddot{\alpha}$ il corsoio scende => T diretta verso l'alto, ma, secondo la convenzione usata per i numeri complessi, V_G è diretta verso l'alto $\dot{y}>0$ e quindi nel disegno indico $\vec{T}$ diretta verso il basso

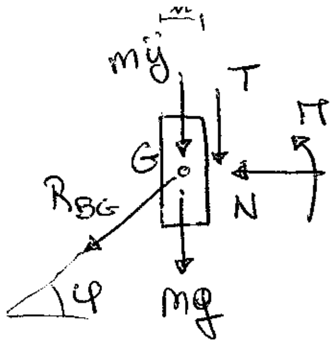
$$W + W' = \frac{dE_c}{dt}$$

$$W = C\dot{\alpha} - mg\dot{y} - Mgf\dot{\vartheta}\cos\vartheta$$

$$W' = -T\left|\vec{V}_{rel}\right| = -T\dot{y}$$

$$\frac{dE_c}{dt} = Mf^2\dot{\vartheta}\ddot{\vartheta} + \frac{MR_1^2}{2}\left(\frac{R_1+R_4}{R_1}\right)^2\dot{\vartheta}\ddot{\vartheta} + m\dot{y}\ddot{y}$$

attrito dinamico $\Rightarrow \left|\vec{T}\right| = f_d\left|\vec{N}\right|$



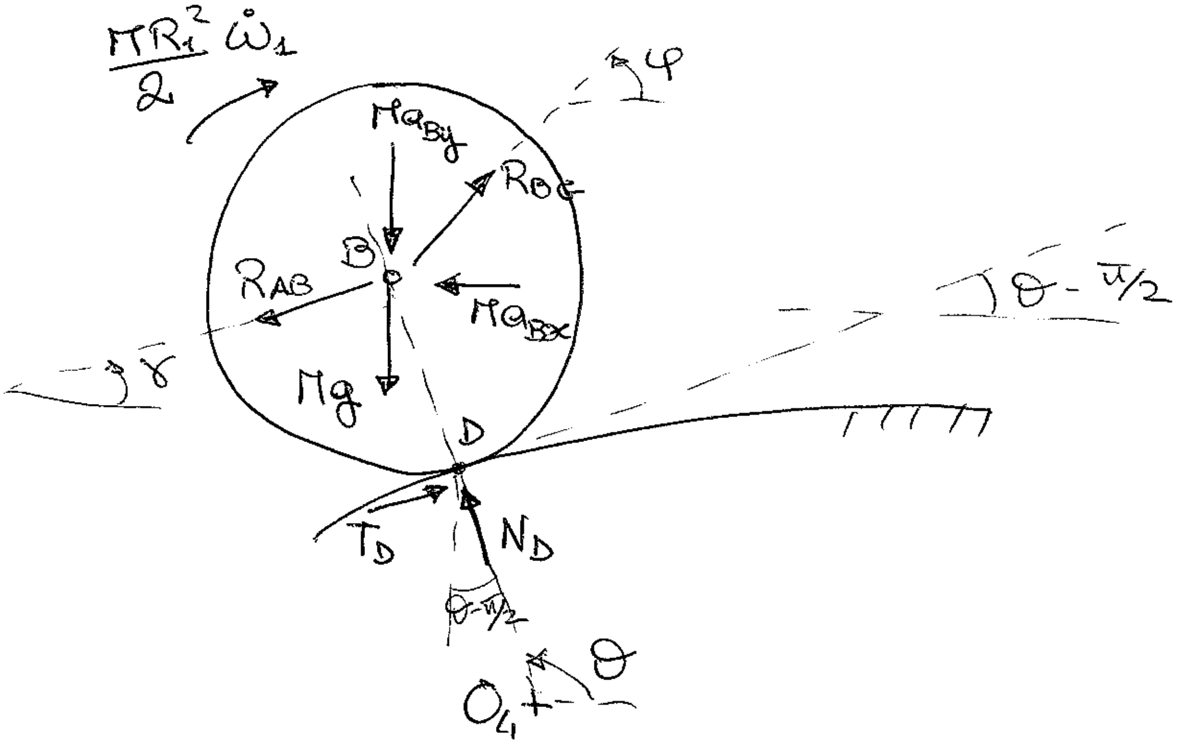
4 incognite: T, N, M, R_{BG}

4 equazioni: 3 equaz. di equilibrio + $|\vec{T}| = f_d |\vec{N}|$)

$$\left\{\begin{array}{ll} & N + R_{BG}\cos\varphi = 0 \\ & -m\ddot{y} - mg - T - R_{BG}\sin\varphi = 0 \\ (\Sigma M_G = 0) & M - T\frac{h}{2} = 0 \\ & T = f_d N \end{array}\right.$$

=> Metto insieme tutto e ricavo C!

5) Verifica aderenza in D



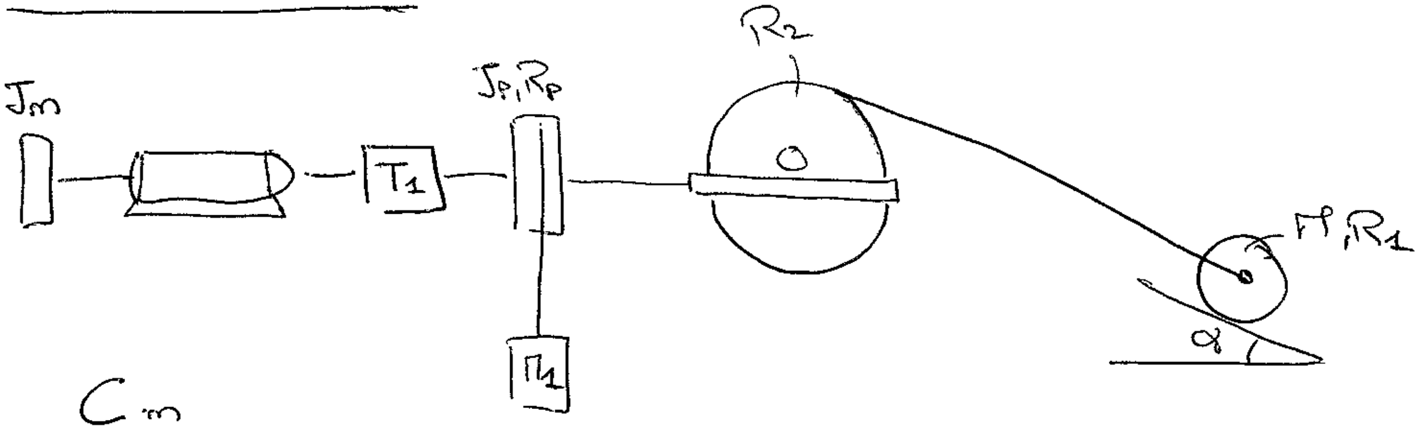
3 incognite: T_D, N_D, R_{AB}

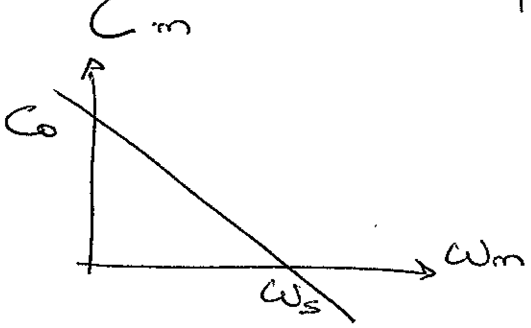
3 equaz. di equilibrio $(\Sigma F_x, \Sigma F_y, \Sigma M_B = 0)$

$$\left\{\begin{array}{l} -Ma_{Bx} - R_{AB}\cos\gamma + R_{BG}\cos\varphi + T_D\cos\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right) - N_D\sin\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right) = 0 \\ -Ma_{By} - Mg + R_{BG}\sin\varphi - R_{AB}\sin\gamma + T_D\sin\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right) + N_D\cos\left(\theta - \frac{\pi}{2}\right) = 0 \\ T_D R_1 - \frac{MR_1^2}{2}\dot{\omega}_1 = 0 \end{array}\right.$$

Poi verifico che $|\vec{T}_D| \leq f_s |\vec{N}_D|$

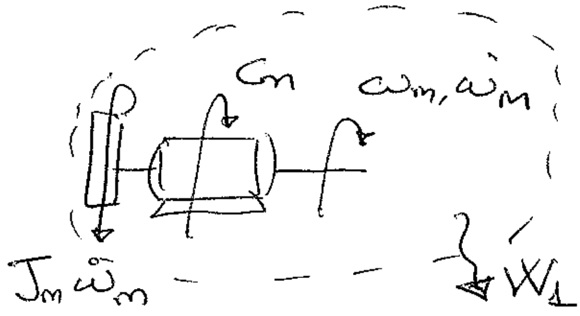
Problema 2





1) C_{motore} con $a_0 = 3\ \frac{m}{s^2}$

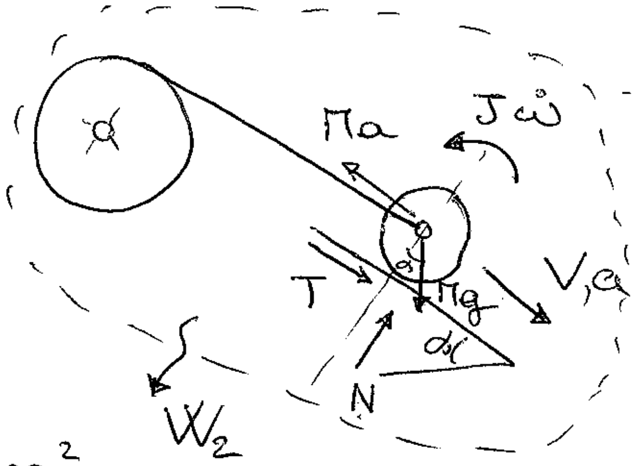
$$W_m + W_{R1} + W_{r2} + W_p = \frac{dE_c}{dt}$$



$$W_m = C_m\,\omega_m \qquad W_{r1} = -M_1\, g\, V_1$$

$$W_{r2} = Mg\sin\alpha\, V - N u\, \omega$$

$$W_P = W_{P1} + W_{P2}$$



comincio dalla T_2:

$$W_2 = Mg\sin\alpha\, V - N u\,\omega + \\ - MaV - J\dot{\omega}\,\omega$$

dove: $\omega = \frac{V}{R_1}$ e $\dot{\omega} = \frac{a}{R_1}$, $J = \frac{MR_1^2}{2}$

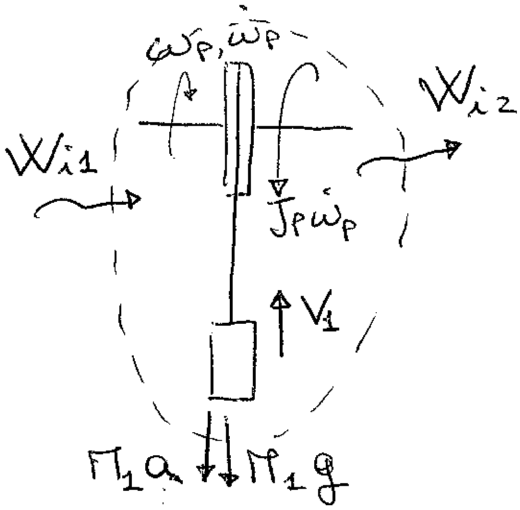
$$W_2 = Mg\sin\alpha V - \overset{u}{N f_v \cancel{R_1}}\, \frac{V}{\cancel{R_1}} - MaV - \frac{M\cancel{R_1^2}}{2\cancel{R_1^2}}\, aV$$

$$N = Mg\cos\alpha$$

$$W_2 = \left[Mg(\sin\alpha - f_v \cos\alpha) - Ma - \frac{M}{2}a \right] V = -18{,}8\ V$$

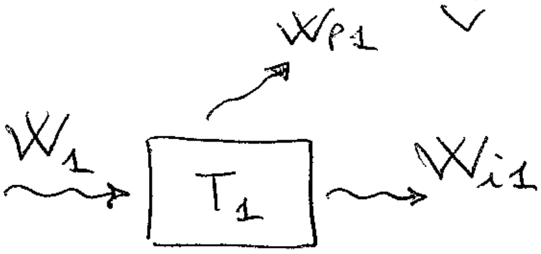
$\Rightarrow$ moto diretto a cavallo della trasmissione T_2 ! (NELLA REALTÀ QUESTO MOVIMENTO NON SAREBBE POSSIBILE PERCHÉ LA FUNE NON AMMETTE AZIONE NORMALE DI COMPRESSIONE)

$$W_{i1} = W_{i2} + M_1 g V_1 + M_1 a_1 V_1 + J_P \dot{\omega}_P \omega_P$$



Non conosco il valore perché non conosco J_P, però posso affermare che $W_{i1} > 0$

$\Downarrow$



MOTO DIRETTO a cavallo della trasmissione T_1 !

$$W_1 = C_m \omega_m - J_m \dot{\omega}_m \omega_m$$

$$W_{P1} = -(1 - \eta_{d1})(C_m \omega_m - J_m \dot{\omega}_m \omega_m)$$

$$W_{i1} = \eta_{d1}(C_m \omega_m - J_m \dot{\omega}_m \omega_m)$$

$$W_{i2} = W_{i1} - M_1 g V_1 - M_1 a_1 V_1 - J_P \dot{\omega}_P \omega_P$$

dove: $\omega_P = \dfrac{V}{R_2 \tau_2}$, $V_1 = \dfrac{R_P}{R_2 \tau_2} V$, $\omega_m = \dfrac{V}{R_2 \tau_1 \tau_2}$

$$W_{p2} = -(1-\eta_{d2})\, W_{i2}$$

$$= -(1-\eta_{d2})\,\eta_{d1}\left(C_m\,\omega_m - J_m\,\dot\omega_m\,\omega_m\right) +$$

$$+(1-\eta_{d2})\left[M_1 g\,\frac{R_p}{R_2\tau_2}V + M_1\left(\frac{R_p}{R_2\tau_2}\right)^2 Va + J_p\,\frac{aV}{R_2^2\tau_2^2}\right]$$

$$W_p = -(1-\cancel{\eta_{d1}})\left[C_m\,\frac{V}{R_2\bar\tau} - J_m\,\frac{aV}{(R_2\bar\tau)^2}\right] +$$

$$-(\cancel{1}-\eta_{d2})\,\eta_{d1}\left[C_m\,\frac{V}{R_2\bar\tau} - \frac{J_m}{(R_2\bar\tau)^2}\,aV\right] +$$

$$+(1-\eta_{d2})\left[M_1 g\,\frac{R_p}{R_2\tau_2}V + M_1\left(\frac{R_p}{R_2\tau_2}\right)^2 aV + \frac{J_p}{(R_2\tau_2)^2}\,aV\right]$$

$$= -(1-\eta_{d1}\eta_{d2})\left[C_m\,\frac{1}{R_2\bar\tau} - \frac{J_m}{(R_2\bar\tau)^2}\,a\right]V +$$

$$+(1-\eta_{d2})\left[M_1 g\,\frac{R_p}{R_2\tau_2} + M_1\left(\frac{R_p}{R_2\tau_2}\right)^2 a + \frac{J_p}{(R_2\tau_2)^2}\,a\right]V$$

$$E_c = \frac{1}{2}J_m\omega_m^2 + \frac{1}{2}J_p\omega_p^2 + \frac{1}{2}M_1V_1^2 + \frac{1}{2}MV^2 + \frac{1}{2}\frac{MR_1^2}{2}\omega^2$$

$$= \frac{1}{2}\left[\frac{J_m}{(R_2\bar\tau)^2} + \frac{J_p}{(R_2\tau_2)^2} + M_1\left(\frac{R_p}{R_2\tau_2}\right)^2 + M + \frac{M}{2}\right]V^2$$

$$\frac{dE_c}{dt} = [\,\dots\,]\,Va$$

$$\left(\bar\eta_d = \eta_{d1}\eta_{d2} \qquad \bar\tau = \tau_1\tau_2\right)$$

$$-M_1 g\,\frac{R_p}{R_2\tau_2}\cancel{V}$$

$$\cancel{C_m\frac{V}{R_2\bar\tau}} + Mg(\sin\alpha - f_v\cos\alpha)\cancel{V} - (\cancel{1}-\bar\eta_d)\left[C_m\,\frac{1}{R_2\bar\tau} - \frac{J_m}{(R_2\bar\tau)^2}\,a\right]\cancel{V} +$$

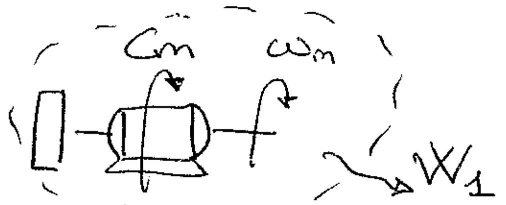
$$+(1-\eta_{d2})\left[M_1 g\,\frac{R_p}{R_2\tau_2} + M_1\left(\frac{R_p}{R_2\tau_2}\right)^2 a + \frac{J_p}{(R_2\tau_2)^2}\,a\right]\cancel{V} =$$

$$= \left[\frac{J_m}{(R_2\bar\tau)^2} + \frac{J_p}{(R_2\tau_2)^2} + M_1\left(\frac{R_p}{R_2\tau_2}\right)^2 + \frac{3}{2}M\right]\cancel{V}a$$

$\Rightarrow$ ricavo C!!

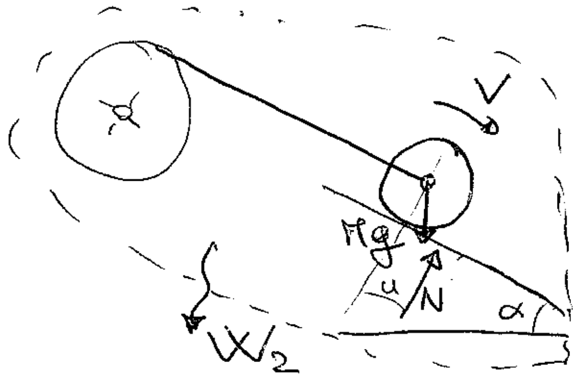
2) ω_m a regime ($M_1 \uparrow$, $M \searrow$)

$$W_m + W_{r1} + W_{r2} + W_p = 0$$



$$W_m = C_m \omega_m \qquad W_{r1} = -M_1 g V_1$$

$$W_{r2} = M g \sin\alpha \, V - N u \omega$$

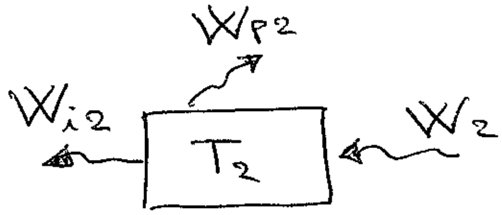


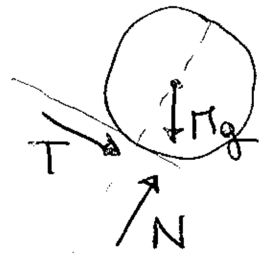
a regime $\quad W_m = W_1$

$\qquad\qquad\quad W_r = W_2$

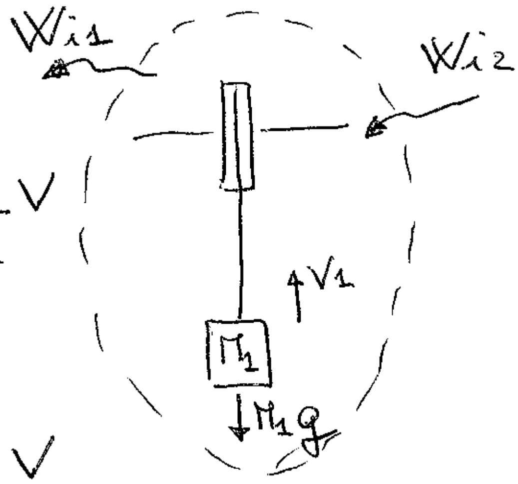
$$\Rightarrow W_2 = M g (\sin\alpha - f_v \cos\alpha) V$$
$$= 3,67\, V > 0 \Rightarrow \text{MOTO RETROGRADO}$$

A CAVALLO DI T_2





$$W_{i2} = \eta_{r2} W_2 \qquad W_{p2} = -(1-\eta_{r2}) W_2$$



$$W_{i2} - M_1 g V_1 - W_{i1} = 0$$

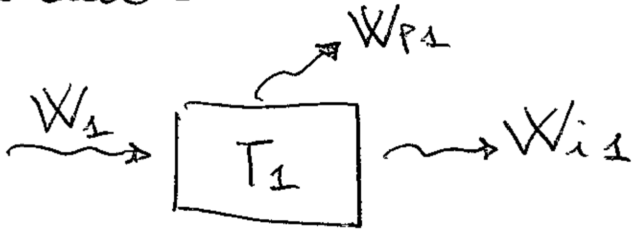
$$W_{i1} = \eta_{r2} M g (\sin\alpha - f_v \cos\alpha) V - M_1 g \frac{R_p}{R_2 \tau_2} V$$

nell'hp che $\frac{R_p}{R_2 \tau_2} = 1$:

$$W_{i1} = \eta_{r2} \left[M g (\sin\alpha - f_v \cos\alpha) - M_1 g \right] V$$

$$= -45,36\, \eta_{r2} V$$

$\Rightarrow W_{i1}$ entrante $\Rightarrow$ MOTO DIRETTO A CAVALLO DI T_1



$$W_p = W_{p1} + W_{p2}$$

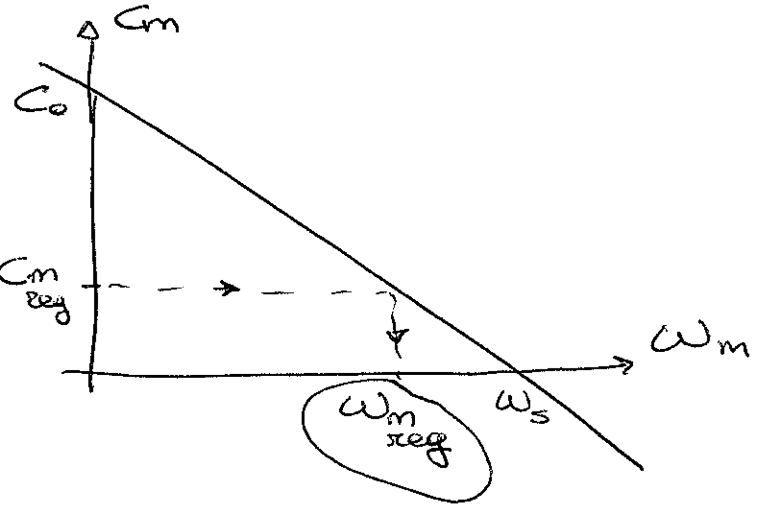
$$\overset{!}{=} -(1-\eta_{d1})\, C_m \omega_m - (1-\eta_{r2})\, M g (\sin\alpha - f_v \cos\alpha)\, V$$

$$\cancel{C_m \frac{V}{R_2 \tau}} - M_1 g \overset{=1}{\frac{R_p}{R_2 \tau_2}} V + \cancel{M g (\sin\alpha - f_v \cos\alpha) V}$$

$$-(\cancel{1}-\eta_{d1})\, C_m \frac{V}{R_2 \tau} - (\cancel{1}-\eta_{r2})\, M g (\sin\alpha - f_v \cos\alpha)\, V = 0$$

$$-M_1 g + \frac{\eta_{d1}}{R_2 \tau} C_m + \eta_{r2} M g (\sin\alpha - f_v \cos\alpha) = 0$$

$$C_{m,reg} = \left[M_1 g - M g (\sin\alpha - f_v \cos\alpha)\, \eta_{r2} \right] \frac{R_2 \tau}{\eta_{d1}}$$

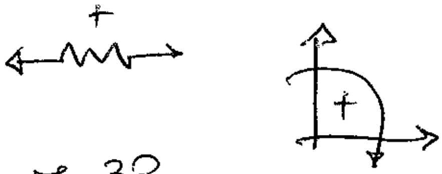


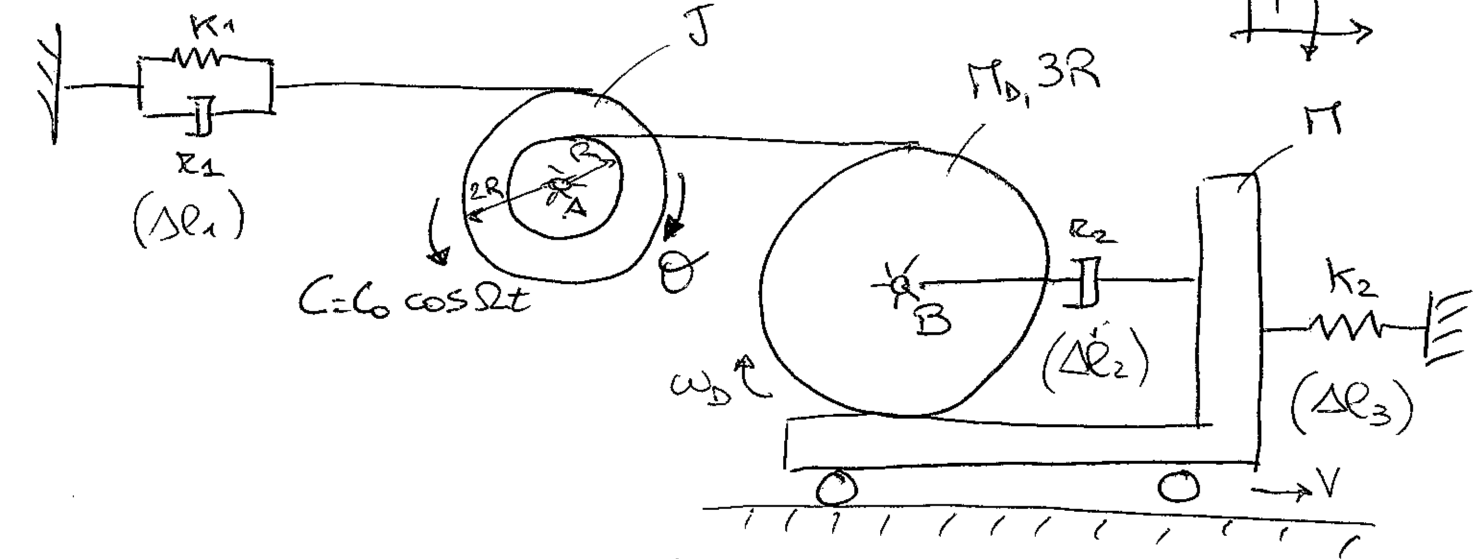
$$C_m = C_0 - A \omega_m$$

$$\omega_m = \frac{C_0 - C_m}{A}$$

$$\Rightarrow \omega_{m,RE} = \frac{C_0 - C_{m,REG}}{A}$$

Problema 3





1) Equazione di moto del sistema:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial E_c}{\partial \dot{\vartheta}}\right) - \frac{\partial E_c}{\partial \vartheta} + \frac{\partial D}{\partial \dot{\vartheta}} + \frac{\partial V}{\partial \vartheta} = Q_\vartheta$$

$$E_c = \frac{1}{2} J \dot{\vartheta}^2 + \frac{1}{2} \frac{M_D 9R^2}{2} \omega_D^2 + \frac{1}{2} M V^2$$

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

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

$$\delta L = -C \, \delta \vartheta$$

legami cinematici:

$$\omega_D = \frac{\dot{\vartheta}}{3} \qquad V = -R\dot{\vartheta}$$

$$\Delta l_1 = +2R\vartheta \quad \Rightarrow \quad \Delta \dot{l}_1 = 2R\dot{\vartheta}$$

$$\Delta \dot{l}_2 = -R\dot{\vartheta}$$

$$\Delta l_3 = +R\vartheta$$

$$E_c = \frac{1}{2}\left[J + \frac{\cancel{8} M_D R^2}{2}\frac{1}{\cancel{8}} + M R^2\right]\dot{\vartheta}^2 = \frac{1}{2} J^* \dot{\vartheta}^2$$

$$D = \frac{1}{2}\left(r_1 4R^2 + r_2 R^2\right)\dot{\vartheta}^2 = \frac{1}{2} r^* \dot{\vartheta}^2$$

$$V = \frac{1}{2}\left(K_1 4R^2 + K_2 R^2\right)\vartheta^2 = \frac{1}{2} K^* \vartheta^2$$

$$Q_\vartheta = -C$$

$$\Downarrow$$

$$\boxed{J^* \ddot{\vartheta} + r^* \dot{\vartheta} + K^* \vartheta = -C(t)} = -C_0 \cos \Omega t$$

2) $\omega_0 = \sqrt{\dfrac{K^*}{J^*}} = 16,64 \ \dfrac{rad}{s} \Rightarrow f_0 = 2,65$ Hz

$J^* = 325$ Kg m^2 $\quad r^* = 1,3 \cdot 10^4$ Nsm $\quad K^* = 9 \cdot 10^4$ Nm

Per il calcolo della freq. propria del sistema smorzato, calcolo prima h:

$h = \dfrac{r^*}{2 J^* \omega_0} = 1,2 > 1 \Rightarrow$ smorzamento IPER CRITICO !!

Quindi non esiste freq. propria smorzata.

3) Risposta a regime:

$$\left|\bar{\Theta}_0\right| = \frac{-C_0}{\sqrt{(K^* - J^*\Omega^2) + (\Omega r^*)^2}} \qquad tg\,\varphi = -\frac{\Omega r^*}{K^* - J^* \Omega^2}$$

$\Omega > \omega_0 \Rightarrow$ ZONA SISMOGRAFICA

$30 \ \dfrac{rad}{s} > 16,64 \ \dfrac{rad}{s}$