

TITOLO DEL CORSO:	AZIONAMENTI ELETTRICI I
DOCENTE DEL CORSO	Prof. G. Tomasso e-mail: tomasso@unicas.it tel: 0776-2993730
Orario di ricevimento	martedì 11:00-14:00
Corso di Laurea	Ingegneria Elettrica (3° anno)
Numero di crediti	4
Corsi a scelta correlati	-Laboratorio di Azionamenti Elettrici I -Controllori Programmabili per Azionamenti Elettrici
Testi consigliati	Appunti distribuiti dal docente Slides del corso (consultare il sito http://webuser.unicas.it/tomasso)
Modalità d'esame	presentazione relazioni scritte; esame orale.

4 settimane

Introduzione agli Azionamenti Elettrici

- struttura di un azionamento elettrico;
- classificazione;
- settori di impiego.

Meccanica degli Azionamenti Elettrici

- richiami sulle equazioni del moto;
- organi di trasmissione;
- punto di lavoro e stabilità.

Riscaldamento delle macchine elettriche

- comportamento termico macchine elettriche
- tipi di servizio;
- riduzione di un servizio di durata limitata

Motore in cc ad eccitazione indipendente

- principio di funzionamento;
- modello matematico;
- caratteristiche stazionarie
- regolazione della velocità in regime stazionario
- dominio di regolazione
- avviamento
- frenatura

5 settimane

Azionamenti cc controllati in catena chiusa

- controlli in retroazione;
- regolatori industriali;
- controllo in cascata motore cc ad eccitazione indipendente:
anello di corrente e velocità

Introduzione ai PLC

- struttura di un PLC
- programmazione di un PLC

Motore asincrono trifase

- modello matematico in regime stazionario;
- circuito equivalente
- caratteristiche stazionarie;
- avviamento;
- frenatura;
- regolazione della velocità.

Azionamenti in alternata

- controllo V/f motore asincrono;
- controllo di scorrimento motore asincrono con isteresi;
- controllo di scorrimento motore asincrono con SVM;
- accenno sui controlli vettoriali e diretti di coppia.

AZIONAMENTO ELETTRICO

Definizione di azionamento elettrico a velocità controllata (V. norma CEI C.642)

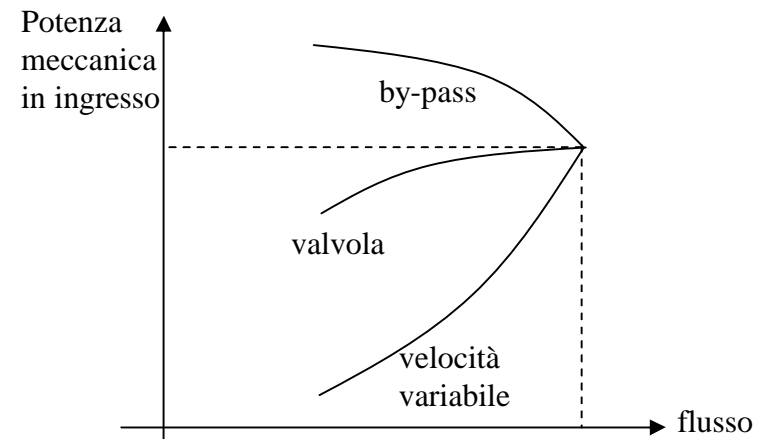
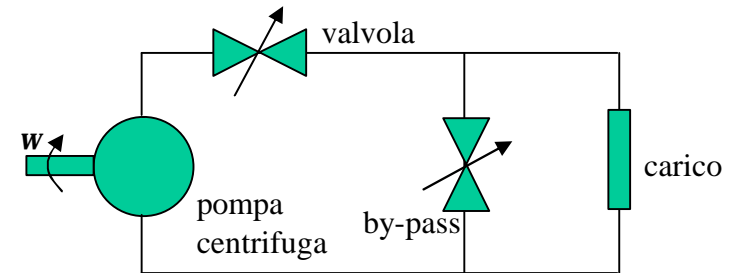
Sistema che converte energia elettrica in meccanica, con l'uso di apparecchiature elettroniche di potenza, in accordo con una funzione di comando (e secondo un programma definito)

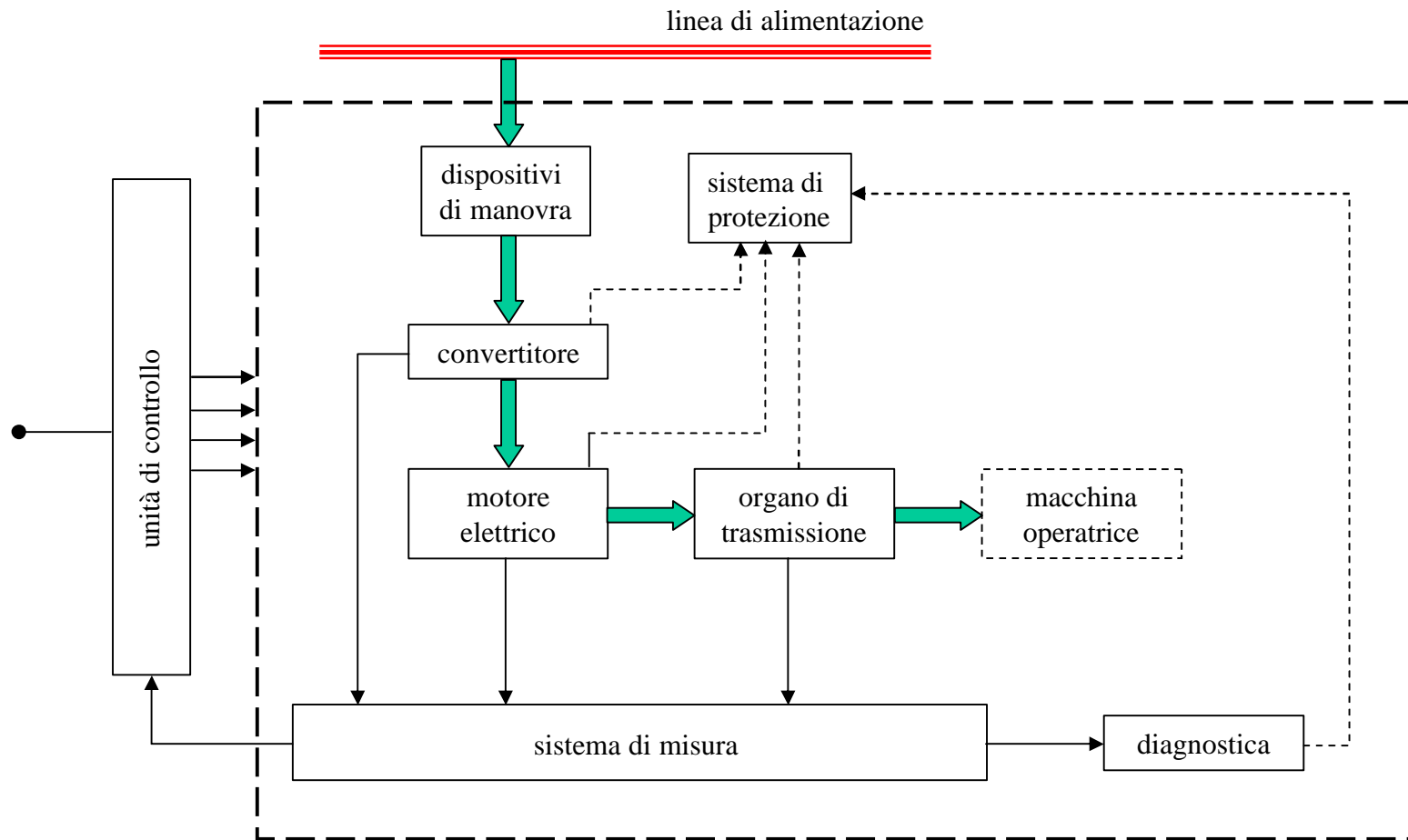
Applicazione	potenza (kW) (valori tipici)
• Veicoli a trazione elettrica (ferroviari, metropolitani, tramviari, funicolari, auto elettrica); funivie, seggiovie ecc..	20 - 4000
• Manipolazione materiali: Sollevamento (gru, montacarichi, ascensori); Convogliatori, nastri trasportatori, ecc.	5 - 100
• Movimentazione fluidi: pompe, ventilatori.	2 - 20 - 1000 e oltre
• Macchine utensili: azionamento mandrini, azionamento avanzamenti.	3 - 200 0.5 - 5
• Siderurgia: laminatoi reversibili, laminatoi continui, linee di trattamento, ecc.	300 - 10.000
• Macchine operatrici in genere: macchine per la lavorazione del legno, del vetro, del cemento, ecc. ecc.	5 - 200
• Servomeccanismi (robotica, brandeggio di armi, puntamento radar ecc.	0.5 - 100

Vantaggi degli azionamenti elettrici:

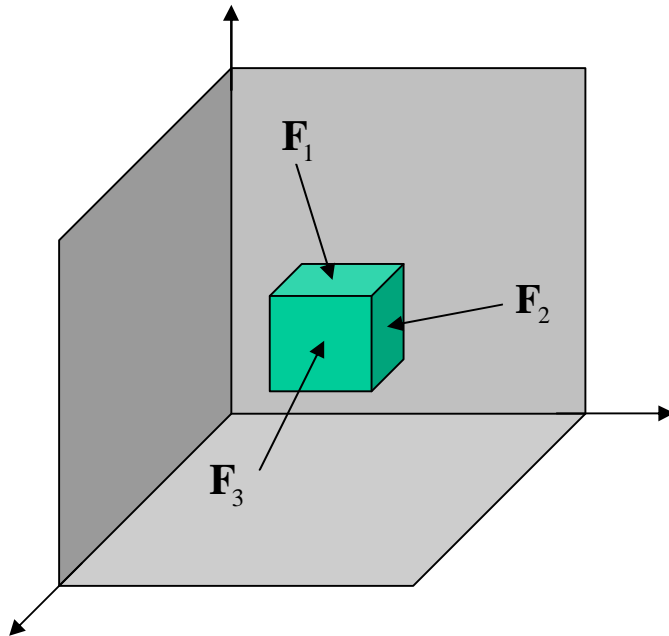
- sono disponibili in intervalli di potenza che vanno da 10^{-6} W (*orologi elettronici*) a più di 10^8 W (*impianti di pompaggio di sistemi di accumulo idro-energetico*);
- coprono un intervallo molto ampio sia in erogazione di coppia ($>10^7 \text{ Nm}$ -industrie siderurgiche) che di velocità ($>10^5 \text{ rpm}$ nelle centrifughe);
- possono lavorare anche in condizioni operative critiche;
- emettono basso rumore;
- hanno elevati rendimenti;
- hanno bassi consumi quando lavorano senza carico;
- sono facilmente controllabili;
-

Esempio
regolazione del flusso di un liquido mediante pompa centrifuga





Moto traslatorio



$$\sum_i \mathbf{F}_i = \frac{d\mathbf{Q}}{dt} = \frac{d(m\mathbf{v})}{dt}$$



$$\mathbf{F}_m - \mathbf{F}_r = \frac{d\mathbf{Q}}{dt} = \frac{d(m\mathbf{v})}{dt}$$



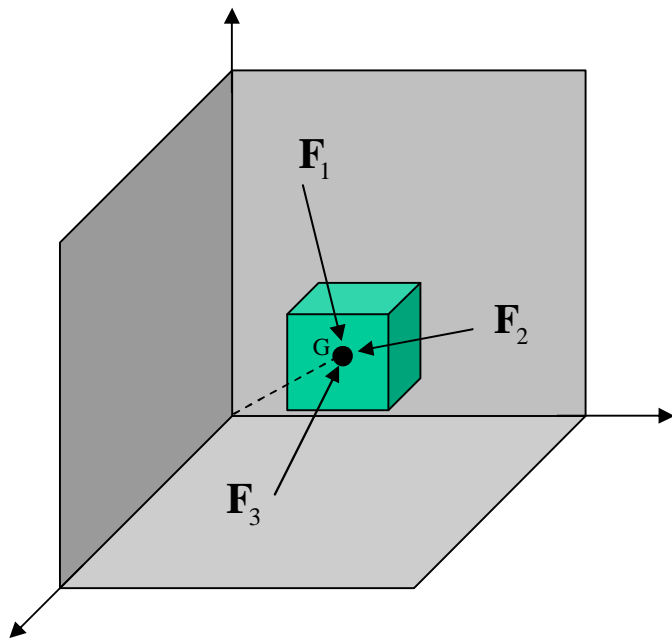
$$\mathbf{F}_m - \mathbf{F}_r = \frac{d\mathbf{Q}}{dt} = \frac{d(m\mathbf{v})}{dt} = m \frac{d(\mathbf{v})}{dt} + \mathbf{v} \frac{d(m)}{dt}$$



se $m = \text{cost}$

$$\mathbf{F}_m - \mathbf{F}_r = m \frac{d(\mathbf{v})}{dt}$$

Moto rotatorio



Componente traslazionale

$$\mathbf{v} = \mathbf{v}_G + \mathbf{w} \times \mathbf{r}$$

Componente rotazionale

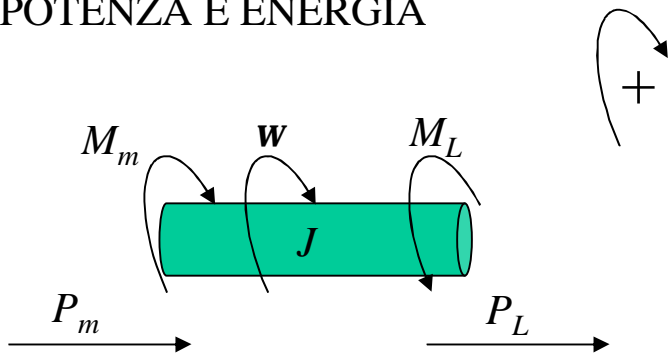
$$\mathbf{M} - \mathbf{M}_L = \frac{d(\mathbf{P})}{dt}$$

Proiettando sull'asse di rotazione a

$$M - M_L = \frac{d(P_a)}{dt} = \frac{d(J_a \mathbf{w})}{dt} = J_a \frac{d(\mathbf{w})}{dt} + \mathbf{w} \frac{d(J_a)}{dt}$$

$$M - M_L = J_a \frac{d(\mathbf{w})}{dt}$$

POTENZA E ENERGIA



$$M_m - M_L = (J) \frac{d(w)}{dt}$$

$$wM_m - wM_L = Jw \frac{dw}{dt}$$

Potenza meccanica in ingresso

variazione di energia cinetica immagazzinata nelle masse rotanti

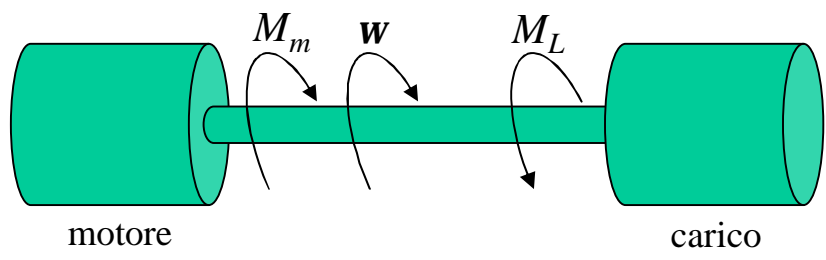
$$P_m = P_L + Jw \frac{dw}{dt}$$

Potenza meccanica in uscita (sul carico)

$$W_m(t) = \int_0^t P_m dt = \int_0^t P_L dt + \int_0^t Jw \frac{dw}{dt} dt$$

$$W_m(t) = \int_0^t P_L dt + \int_0^w J\Omega d\Omega = W_L(t) + \frac{1}{2} Jw^2$$

Albero rigido



$$M_m - M_L = (J_m + J_L) \frac{d(w)}{dt}$$

$$\frac{M_m}{M_n} = m_m$$

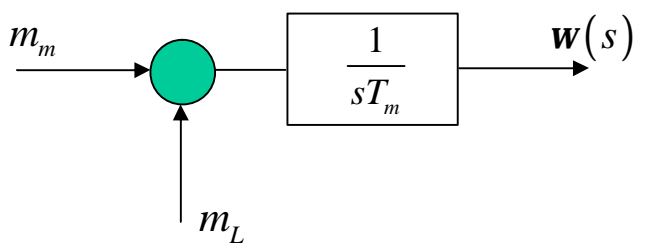
$$\frac{M_L}{M_n} = m_L$$

$$\frac{\Omega}{\Omega_n} = w$$

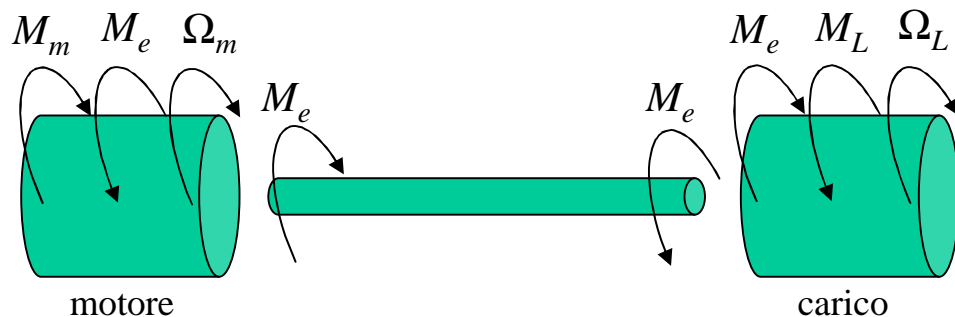
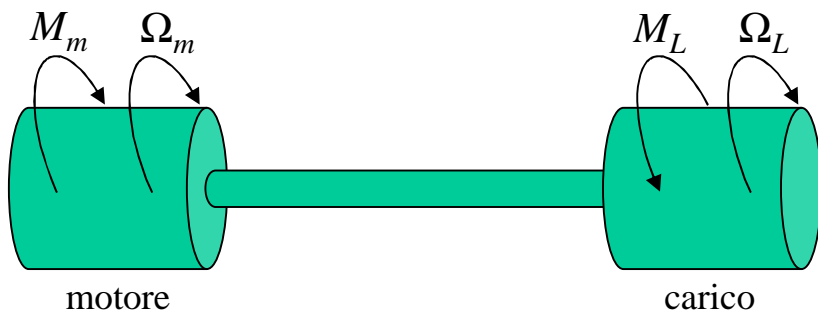
$$m_m - m_L = T_m \frac{dw}{dt}$$

$$T_m = \frac{(J_m + J_L) \Omega_n}{M_n}$$

$$w(s) = \frac{1}{sT_m} [m_m - m_L]$$



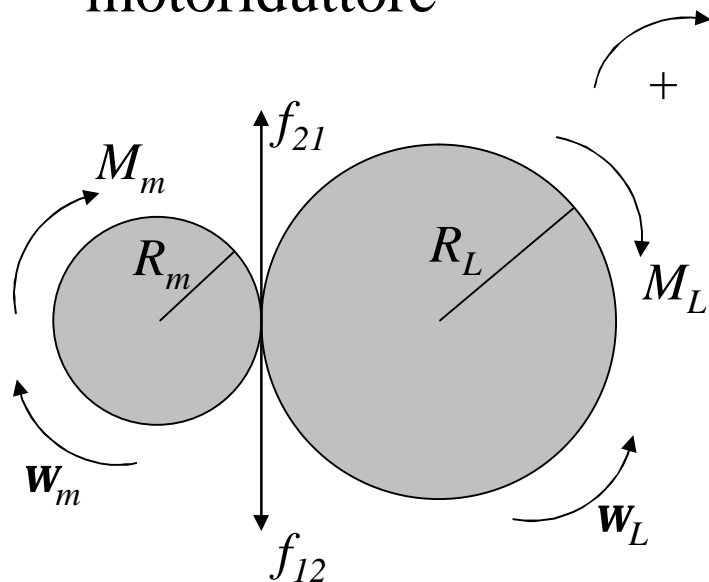
Albero elastico



$$\left\{ \begin{aligned} M_m - M_e &= (J_m) \frac{d(\Omega_m)}{dt} \\ M_e - M_L &= (J_L) \frac{d(\Omega_L)}{dt} \\ \Omega_m &= \frac{d\Theta_m}{dt} \\ \Omega_L &= \frac{d\Theta_L}{dt} \end{aligned} \right.$$

$$M_e = K(\Theta_m - \Theta_L)$$

motoriduttore

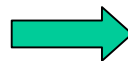


$$\begin{cases} M_m - f_{21}R_m = J_m \frac{d\mathbf{w}_m}{dt} \\ -f_{12}R_L + M_L = J_L \frac{d(-\mathbf{w}_L)}{dt} \end{cases}$$

$$\begin{cases} f_{12} = f_{21} \\ \mathbf{w}_m R_m = \mathbf{w}_L R_L \end{cases}$$

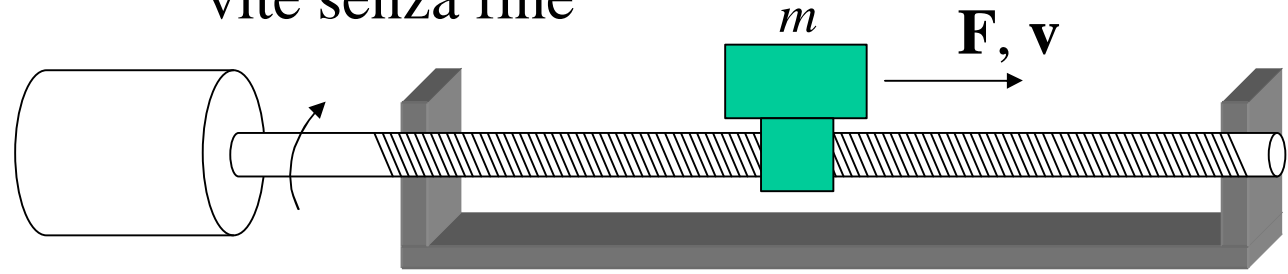
$$M_m - \frac{R_m}{R_L} M_L = \left[J_m + J_L \left(\frac{R_m}{R_L} \right)^2 \right] \frac{d\mathbf{w}_m}{dt}$$

$$M_{L,eq} = \frac{R_m}{R_L} M_L \quad J_{eq} = J_m + J_L \left(\frac{R_m}{R_L} \right)^2$$



$$M_m - M_{L,eq} = J_{eq} \frac{d\mathbf{w}_m}{dt}$$

vite senza fine



$$E = \frac{1}{2}mv^2$$

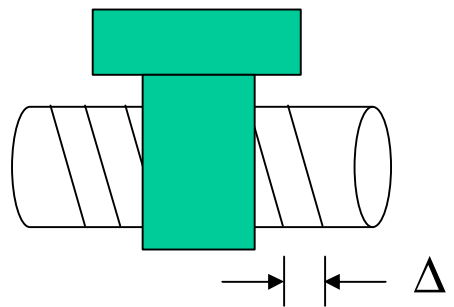
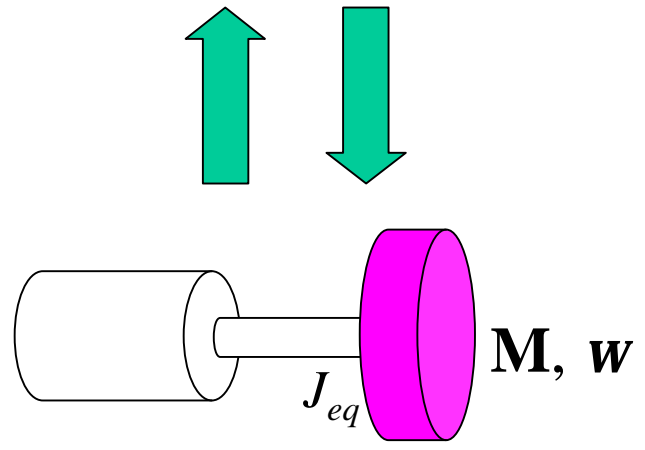
$$P = Fv$$

$$J_{eq} = m\left(\frac{v}{w}\right)^2$$

$$M = F\frac{v}{w}$$

$$E = \frac{1}{2}J_{eq}w^2$$

$$P = Mw$$

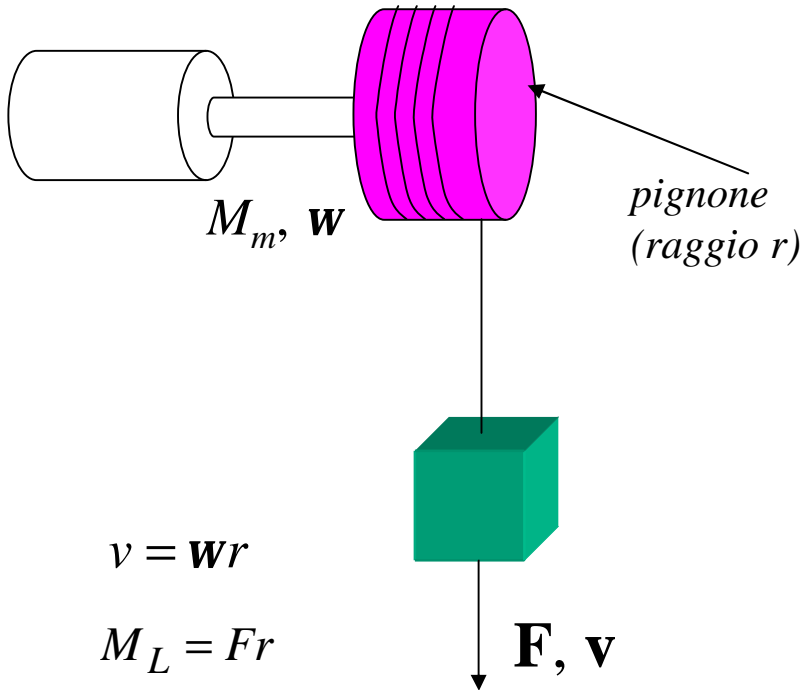


$$v = \frac{w\Delta}{2p} \longrightarrow$$

$$M = F\frac{\Delta}{2p}$$

$$J_{eq} = m\left(\frac{\Delta}{2p}\right)^2$$

Impianto di sollevamento

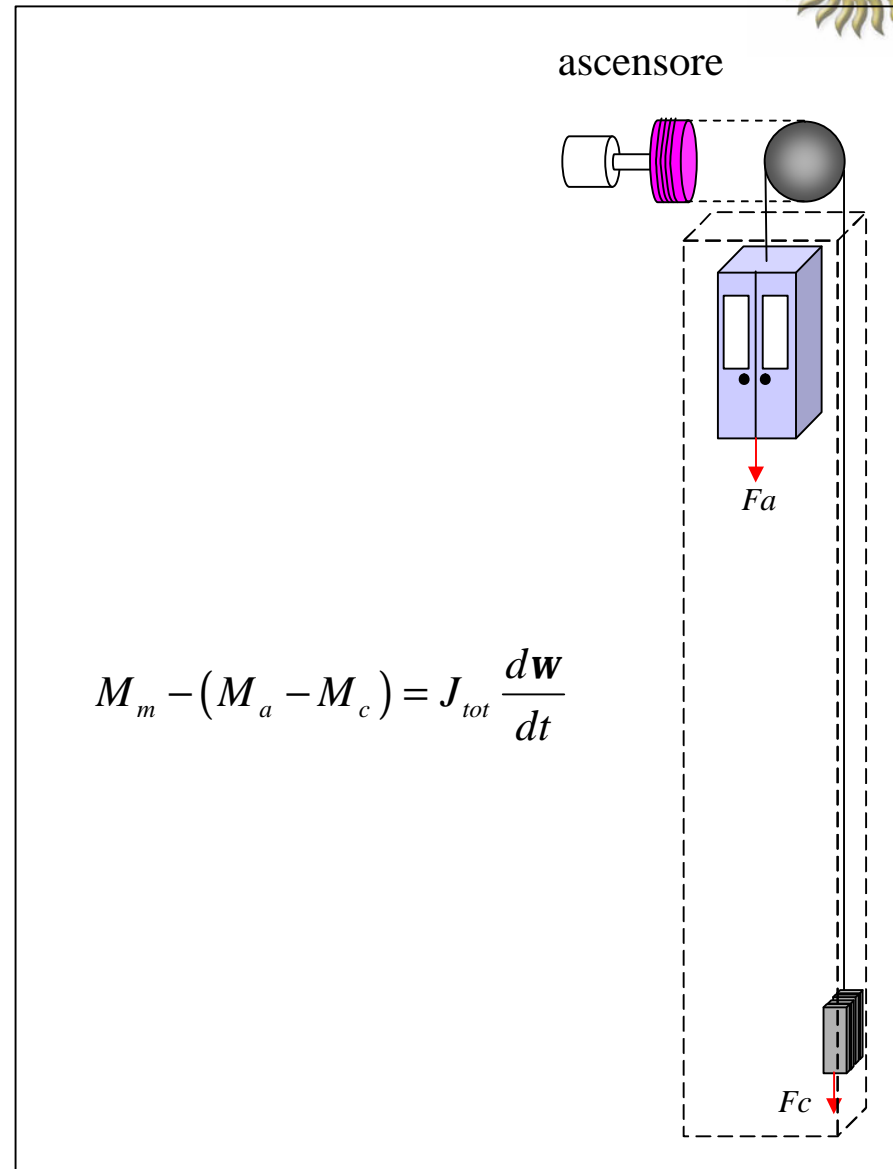


$$v = \omega r$$

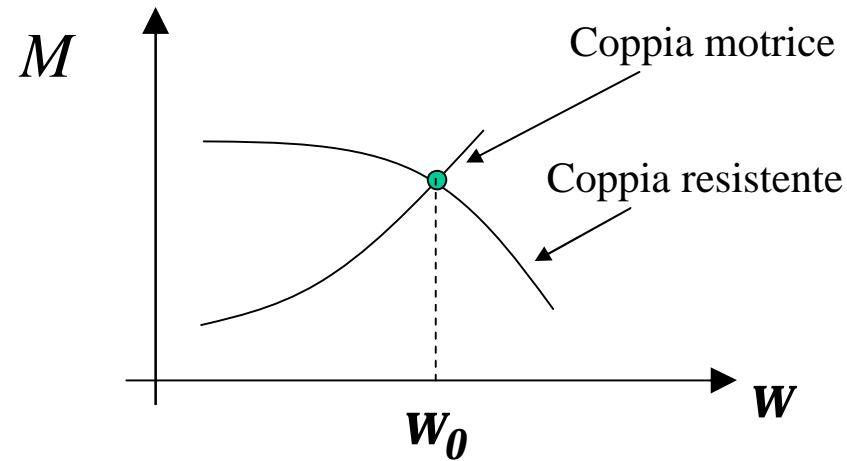
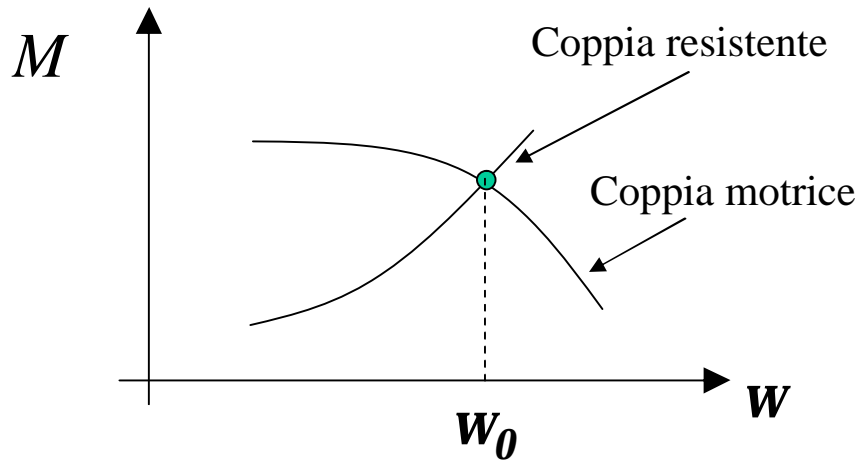
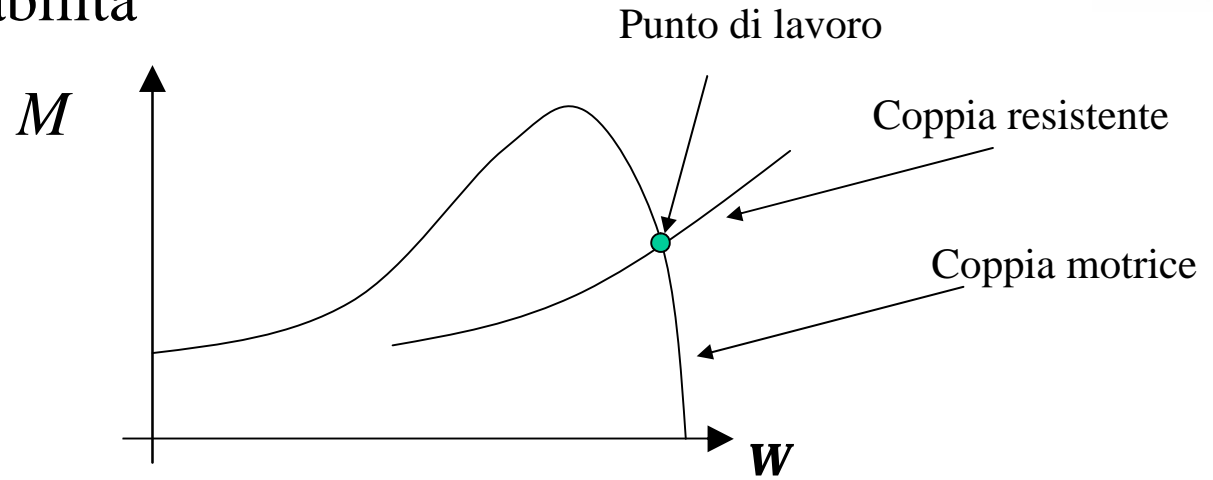
$$M_L = Fr$$

$$J_{eq} = m \left(\frac{v}{\omega} \right)^2$$

$$J_{tot} = J_p + J_{eq}$$



Punto di lavoro e stabilità



Modalità operative di un azionamento

