

Electric Drives  
Laboratory  
DII - UniPD

# Azionamenti Elettrici

Slides delle lezioni  
prof. Silverio Bolognani

# Informazioni preliminari 2020-21

- Docenti: [silverio.bolognani@unipd.it](mailto:silverio.bolognani@unipd.it), [luigi.alberti@unipd.it](mailto:luigi.alberti@unipd.it)
- Inscriversi in Moodle; *chiave di accesso*: nessuna (in futuro AZEL2020-21?)
- Esami: *NON ci saranno compiti in itinere; 6 appelli per a.a. (12 mesi)*
- Esami: *consta di due prove: TEORIA & ESERCIZI; vedere Pagina dell'offerta Formativa; Esigenze legate al CoVID potrebbero costringere a unire le due prove.*
- Dall.a.a 2020-21 l'insegnamento NON prevede più le esercitazioni di laboratorio. **Gli interessati possono seguire l'insegnamento di **Tecnologie per il controllo di convertitori e azionamenti elettrici** al II semestre.**

# Informazioni preliminari

- Programma d'esame (preliminare) in Moodle (con indicazione di testi per consultazione)
- Dispense e copia delle slide in Moodle
- Prerequisiti: *Machine elettriche, Enertronica, Controlli, Conversione statica*

# Generalità sulle macchine e sugli azionamenti elettrici

1. *Macchine elettriche (definizione: vedi dispense)*
2. *Conversione elettromeccanica dell'energia (non in programma; per consultazione personale vedi dispense)*

### 3. *Azionamento elettrico*

#### Definizione

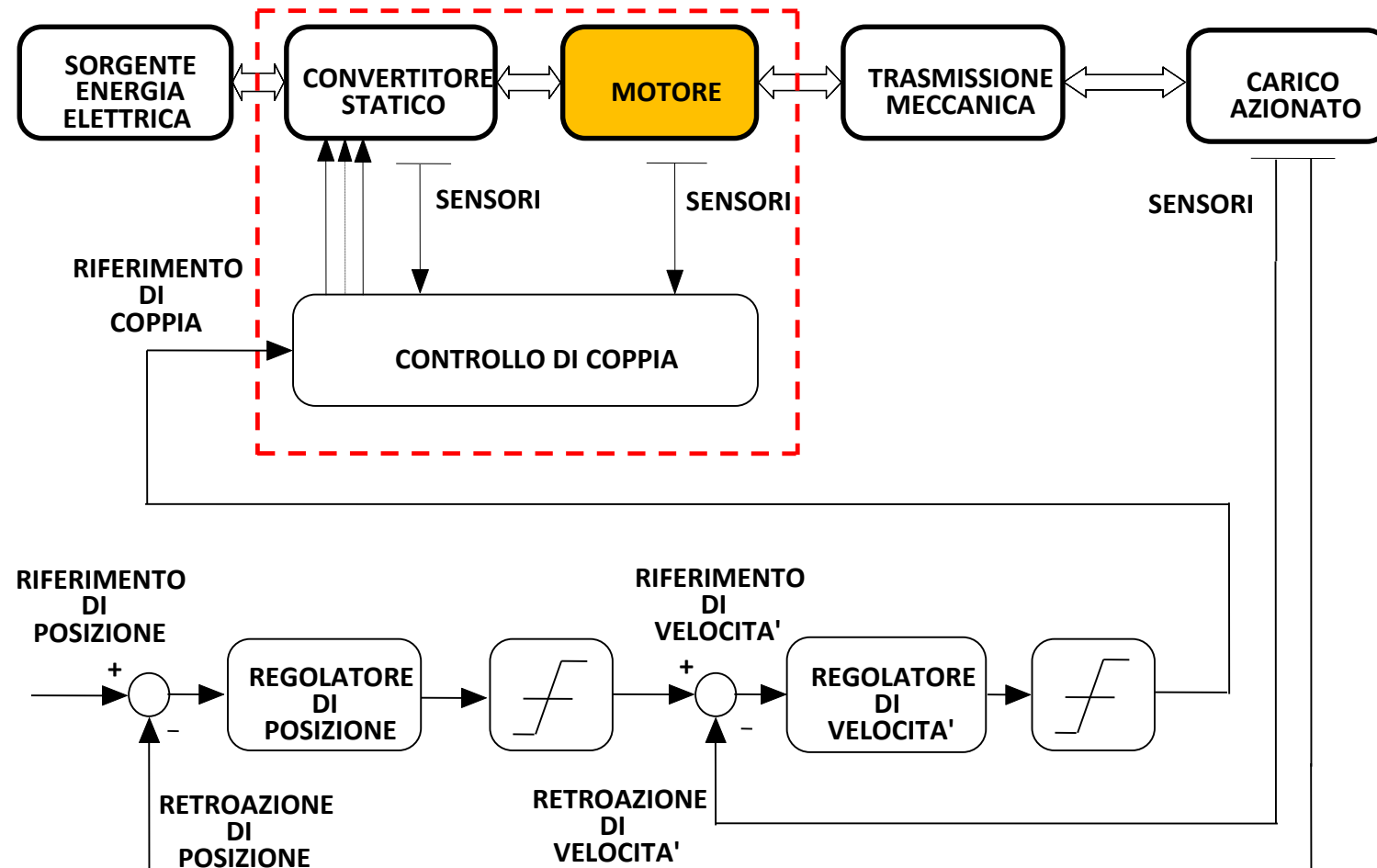
**Azionamento:** sistema capace di produrre e controllare il moto di un organo meccanico (carico meccanico). Le grandezze che si controllano possono essere sia statiche (posizione) che cinematiche (velocità) che dinamiche (accelerazione, coppia o forza).

Ogni azionamento comprende un organo di potenza, detto **attuatore**. Tale attuatore può essere idraulico, pneumatico o elettrico.

**Azionamento elettrico:** azionamento che fa uso di un attuatore elettrico, ossia di una macchina elettrica, nella quale avviene conversione elettromeccanica di energia.

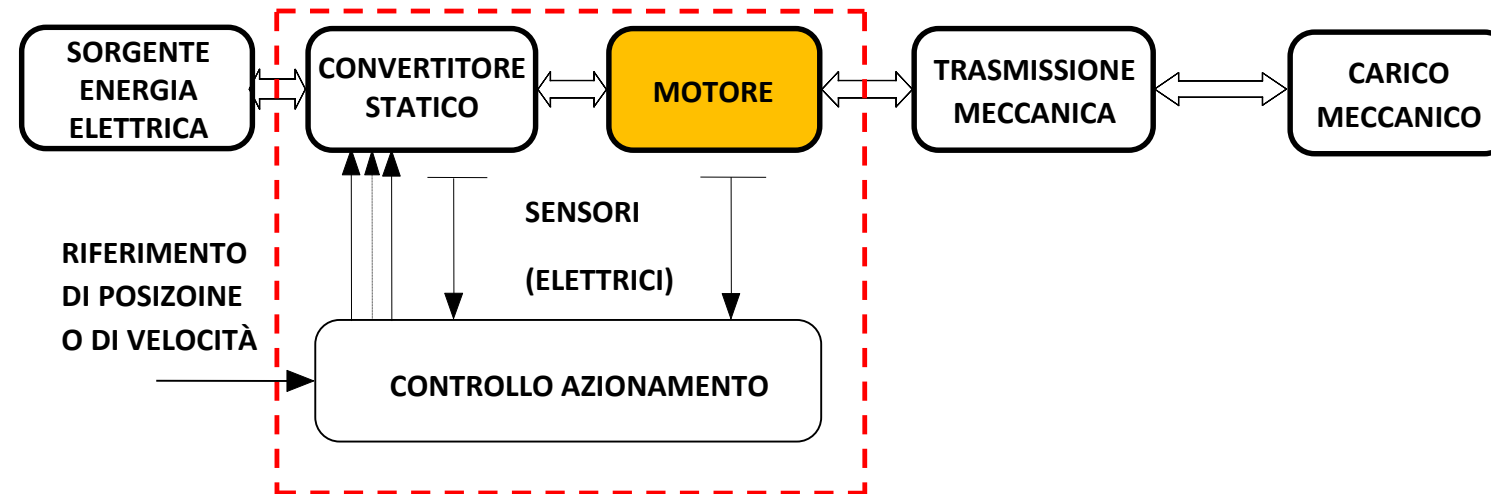
### 3. Azionamento elettrico

#### Schema di principio



### 3. *Azionamento elettrico*

Schema di principio (caso particolare)

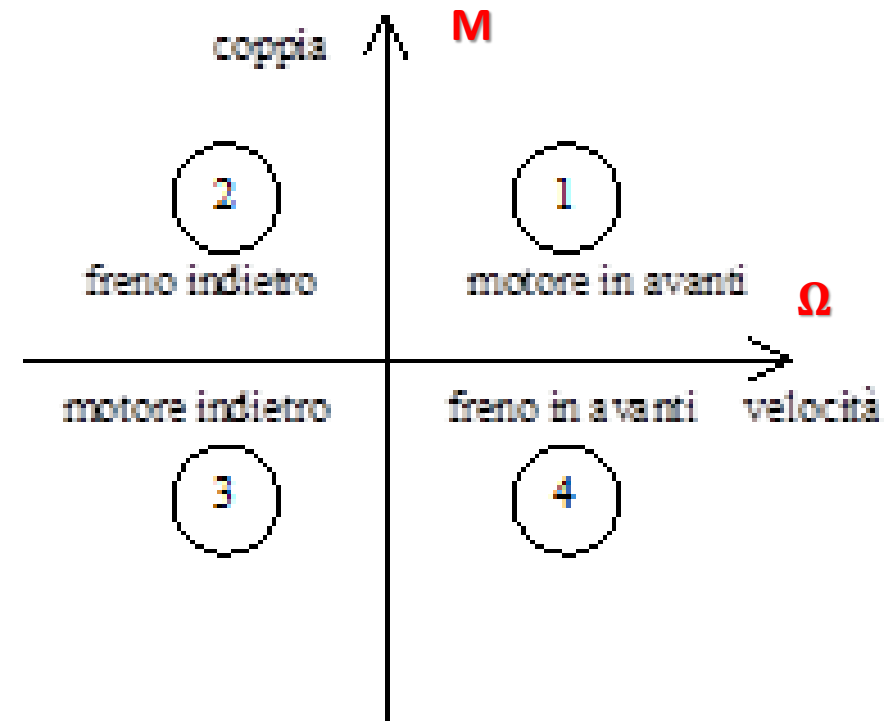
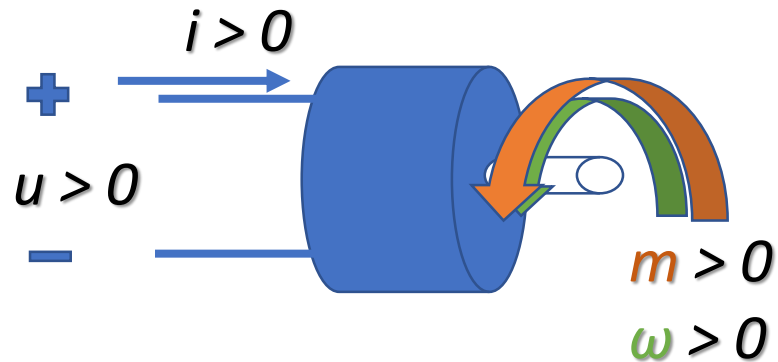


## 3.2 - Quadranti, limiti e regioni di funzionamento

### Convenzioni di segno e Quadranti di funzionamento

#### **Porta meccanica (lato albero):**

*Convenzione di segno dei motori:  $p = m * \omega$  è la potenza meccanica generata/erogata*



#### **Porta elettrica (lato morsetti):**

*Convenzione di segno degli utilizzatori:  $p = u * i$  è la potenza elettrica assorbita*



### 3.2 - Quadranti, limiti e regioni di funzionamento

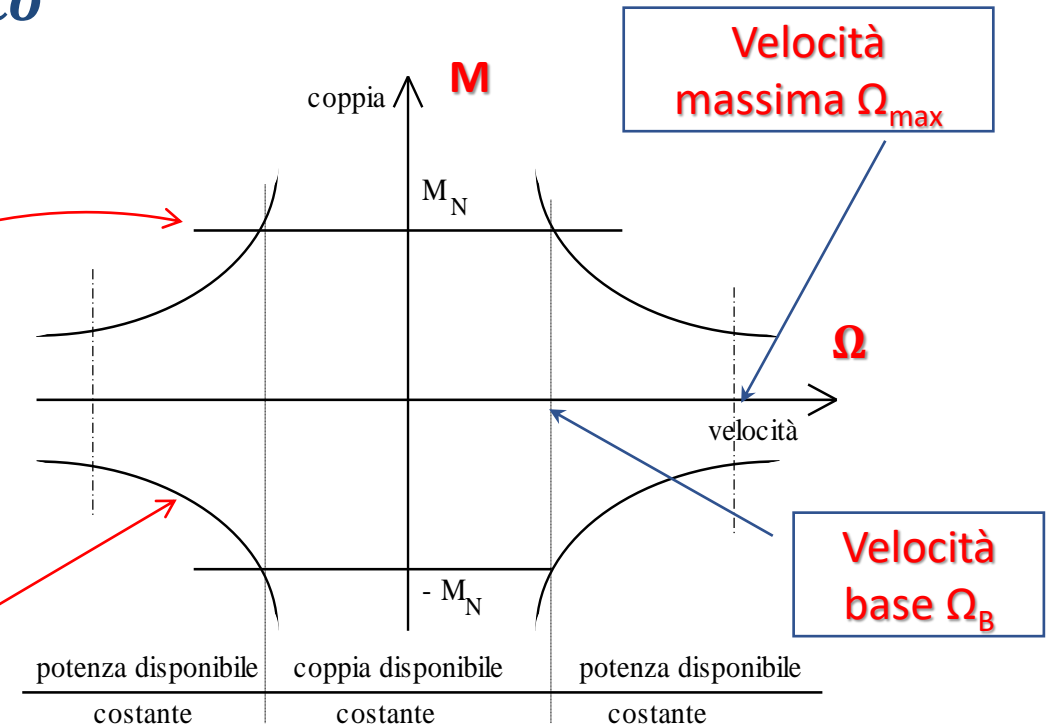
#### Limiti e regioni di funzionamento

$$f = Bli$$

Limite di corrente  $\Rightarrow$  limite di  $f \Rightarrow$  limite di  $M$

$$e = Blv \cong u$$

Limite di tensione  $\Rightarrow$  limite di  $v \Rightarrow$  limite di  $\Omega$



**NB: coppie  $m, M$ ; tensioni  $u, U$   
(minuscole per i valori istantanei)**

## 4. Carichi meccanici

- Carico meccanico: il complesso costituito dal motore, organi di trasmissione e carico meccanico vero e proprio.
- I carichi meccanici possono essere in generale distinti in due categorie:
  - a) sistemi rigidi (sistemi a singola (una) massa)
  - b) sistemi elastici (sistemi a due masse; sistemi a più masse)
- **NB - si considereranno solo sistemi rigidi**

## 4.2 - Sistemi rigidi

- Espressione generale della coppia di carico  $m_L$  (*convenzione di segno dei carichi*)

$$m_L(\ddot{\vartheta}, \dot{\vartheta}, \vartheta, t) = m_L(\alpha, \omega, \vartheta, t)$$

posizione angolare  $\vartheta$ ,

velocità angolare  $\dot{\vartheta} = \omega$

Accelerazione angolare  $\ddot{\vartheta} = \alpha$

**Assunzione semplificativa (salvo avviso contrario)**

$$m_L(\alpha, \omega, \vartheta, t) = m_\alpha(\alpha) + m_\omega(\omega) + m_\vartheta(\vartheta) + m_L(t)$$

## 4.2 - Sistemi rigidi

### Coppia inerziale

$$m_{\alpha}(\alpha) = J\alpha = J \frac{d\omega}{dt}$$

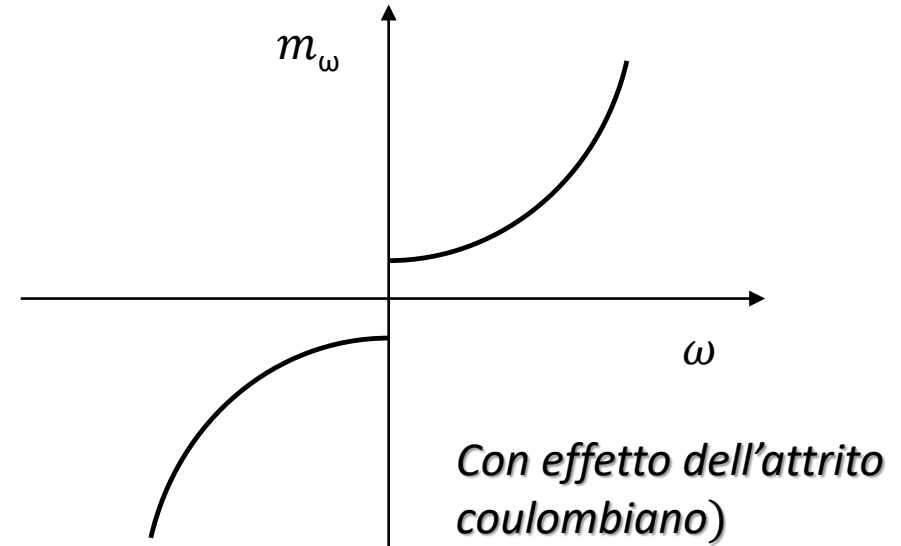
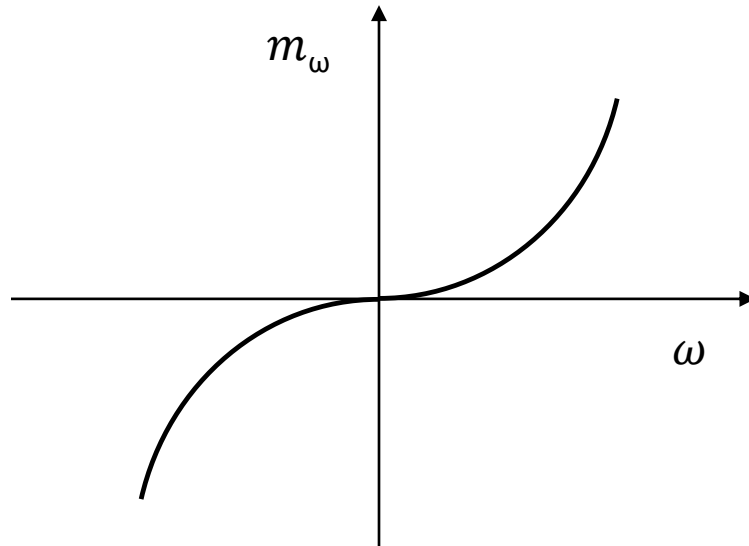
ove  $J$  è il *momento di inerzia equivalente* del sistema riportato all'albero del motore (assunto costante).

(vedi dispense per il calcolo di  $J$ )

## 4.2 - Sistemi rigidi

Coppia viscosa - approssimativamente quadratica con la velocità

$$m_{\omega}(\omega) = k_v |\omega| \omega = k_v \omega^2 \text{sign}(\omega)$$

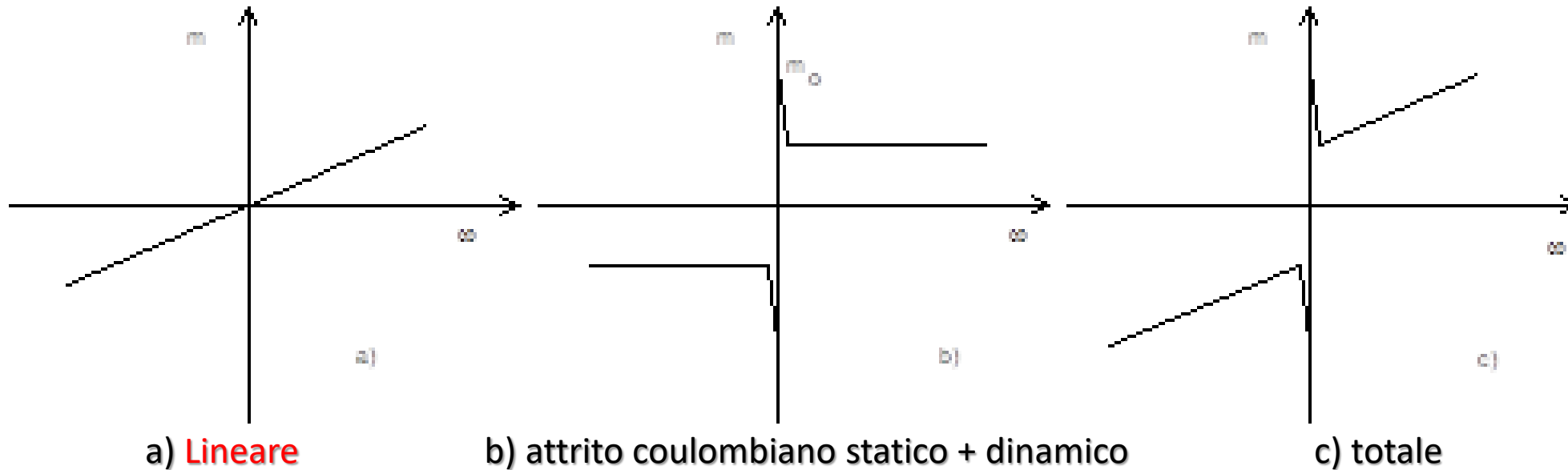


## 4.2 - Sistemi rigidi

Assunzione semplificativa (salvo avviso contrario) : lineare con la velocità

$$m_{\omega}(\omega) = B\omega$$

ove  $B$  è il coefficiente di attrito viscoso



## 4.2 - Sistemi rigidi

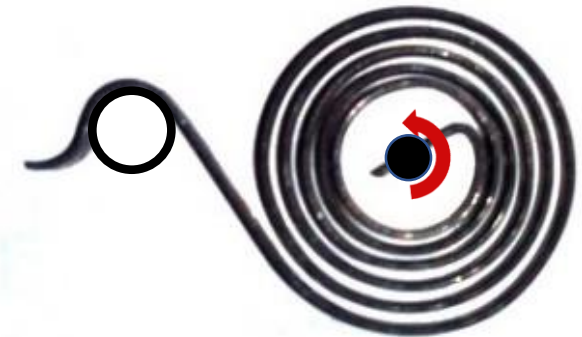
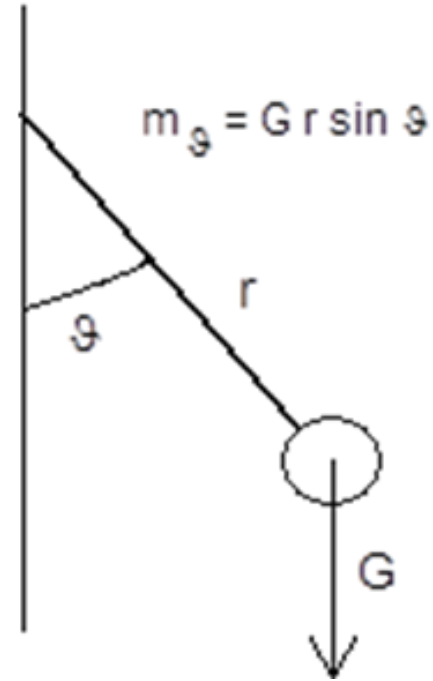
### Coppia statica (elastica)

$$m_{\vartheta}(\vartheta) = Gr \sin \vartheta = \mathcal{M}gr \sin \vartheta$$

ove  $G$  indica il peso e  $\mathcal{M}$  la massa

$$m_{\vartheta}(\vartheta) = k_s \vartheta$$

ove  $k_s$  è la *costante di rigidezza (stiffness)* della molla

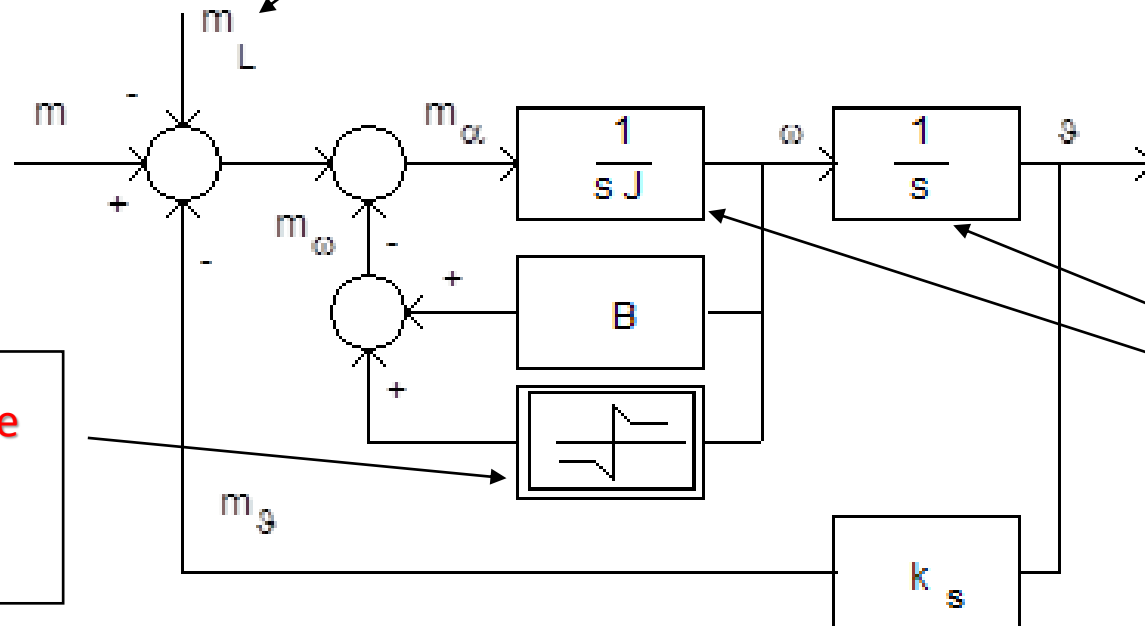


## 4.2 - Sistemi rigidi

### Schema a blocchi

Coppia di disturbo  $m_L(t)$

È un contributo indipendente dalle condizioni operative del carico (accelerazione, velocità, posizione), ma dovuto a cause autonome esterne



Doppia cornice  
per i blocchi  
NON lineari

Schema nel dominio  
del tempo, ma  
alcuni blocchi sono  
descritti con le loro  
fdt nel dominio di  $s$ .



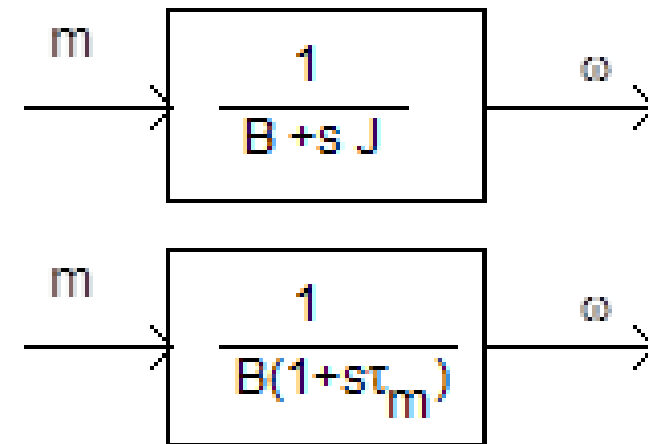
## 4.2 - Sistemi rigidi

### Carico inerziale-viscoso lineare (carico JB)

Nel caso particolare in questione

$$m = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega$$

$$\tau_m = \frac{J}{B} \quad \text{costante di tempo meccanica}$$



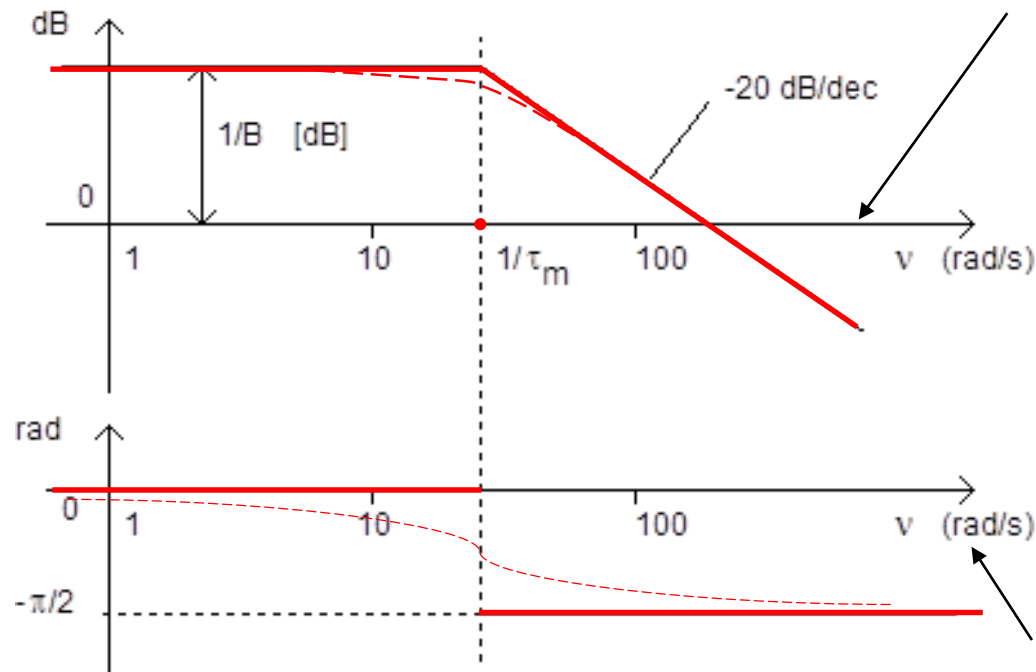
## 4.2 - Sistemi rigidi

### Carico JB - risposta in frequenza (diagramma di Bode)

-risposta in frequenza del modulo

$$\left. \frac{\hat{\Omega}}{\hat{M}} \right|_{dB} = 20 \log_{10} \frac{\hat{\Omega}}{\hat{M}}$$

-risposta in frequenza della fase.



Scala «logaritmica»  
delle frequenze

Frequenza (angolare)  
«ausiliaria» (di test)

**NB: Rivedere i concetti di Controlli automatici. In particolare: fdt, risposte in frequenza (Bode), controllo catena a chiusa, progetto regolatori**