



---

## ***Corso di Robotica 1***

# **Componenti per la robotica: Generalità e Attuatori**

Prof. Alessandro De Luca

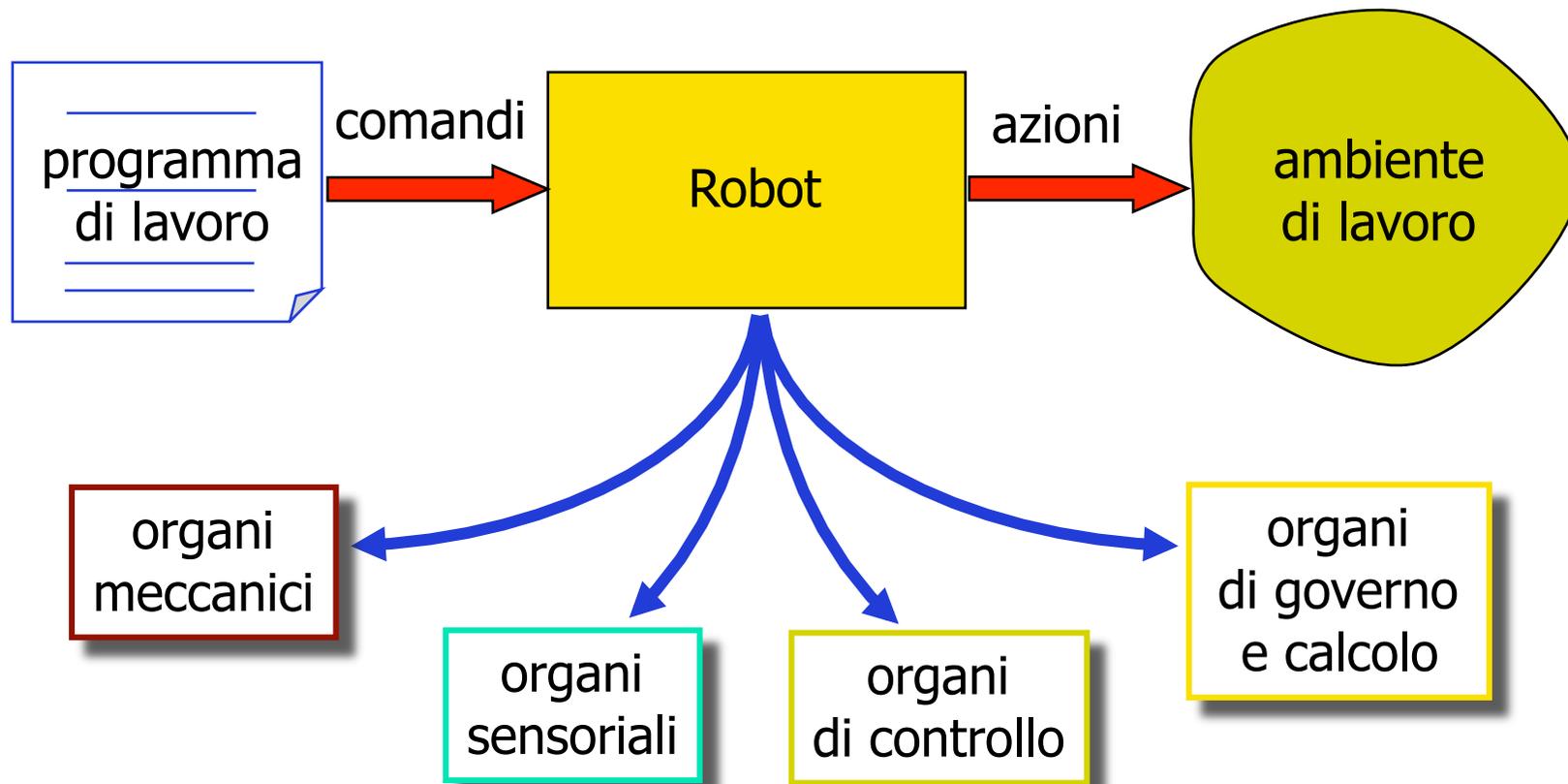
DIPARTIMENTO DI INFORMATICA  
E SISTEMISTICA ANTONIO RUBERTI



**SAPIENZA**  
UNIVERSITÀ DI ROMA



# Robot come sistema





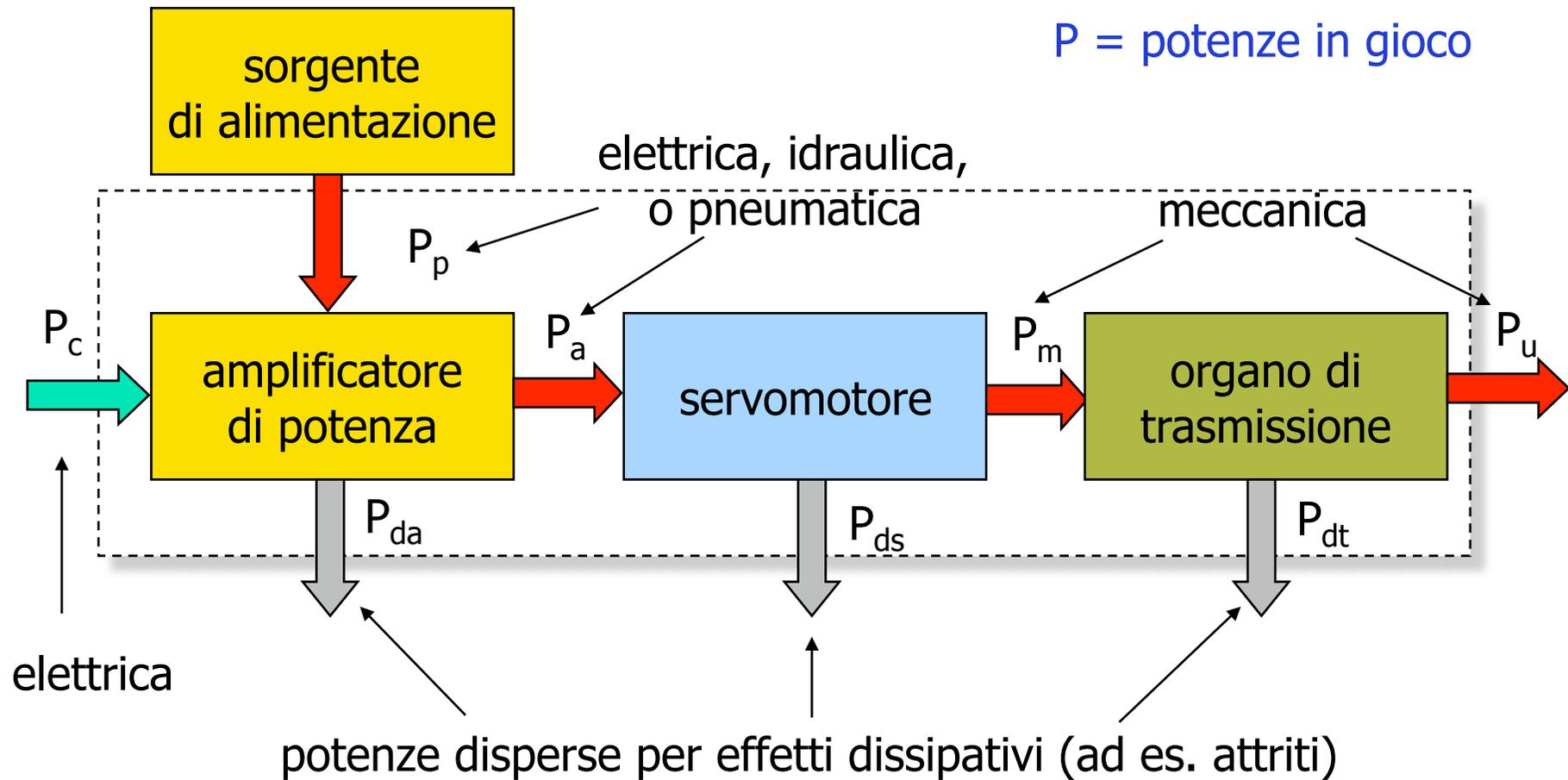
# Unità funzionali di un robot

---

- organi meccanici (robot manipolatori)
  - bracci rigidi connessi da giunti *prismatici* o *rotoidali* (1 grado di libertà)
  - nella struttura meccanica si individuano spesso
    - *struttura portante* (mobilità), *polso* (destrezza), *organo terminale* o *end-effector* (esecuzione del compito, ad es. manipolazione)
- organi sensoriali
  - propriocettivi (stato interno del robot: posizione e velocità)
  - esteroceettivi (ambiente esterno: forza e prossimità, visione artificiale)
- organi di controllo
  - attuatori (*elettrici*, *idraulici*, *pneumatici*)
  - algoritmi di controllo
- organi di governo e calcolo
  - programma di lavoro
  - intelligenza artificiale



# Sistemi di attuazione





# Organi di trasmissione

---

- ottimizzano il trasferimento di coppia meccanica dai motori ai bracci movimentati
- trasformazione quantitativa (da **bassa coppia/alta velocità** ad **alta coppia/bassa velocità**)
- trasformazione qualitativa (ad es. da rotazione del motore a traslazione del braccio lungo un giunto)
- permettono di migliorare le prestazioni statiche e dinamiche alleggerendo la struttura meccanica (posizionando i motori alla base del robot)



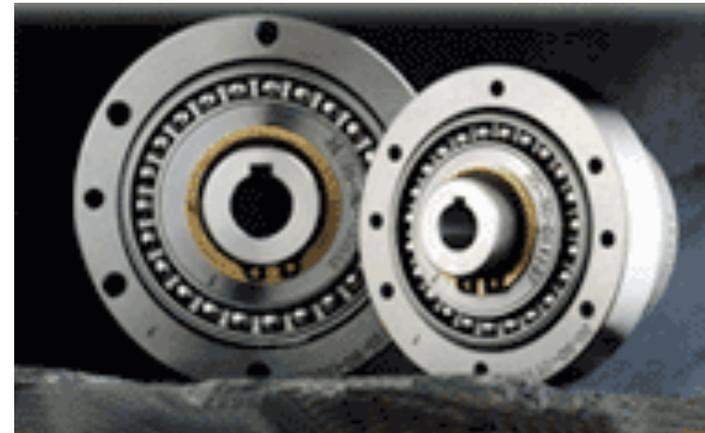
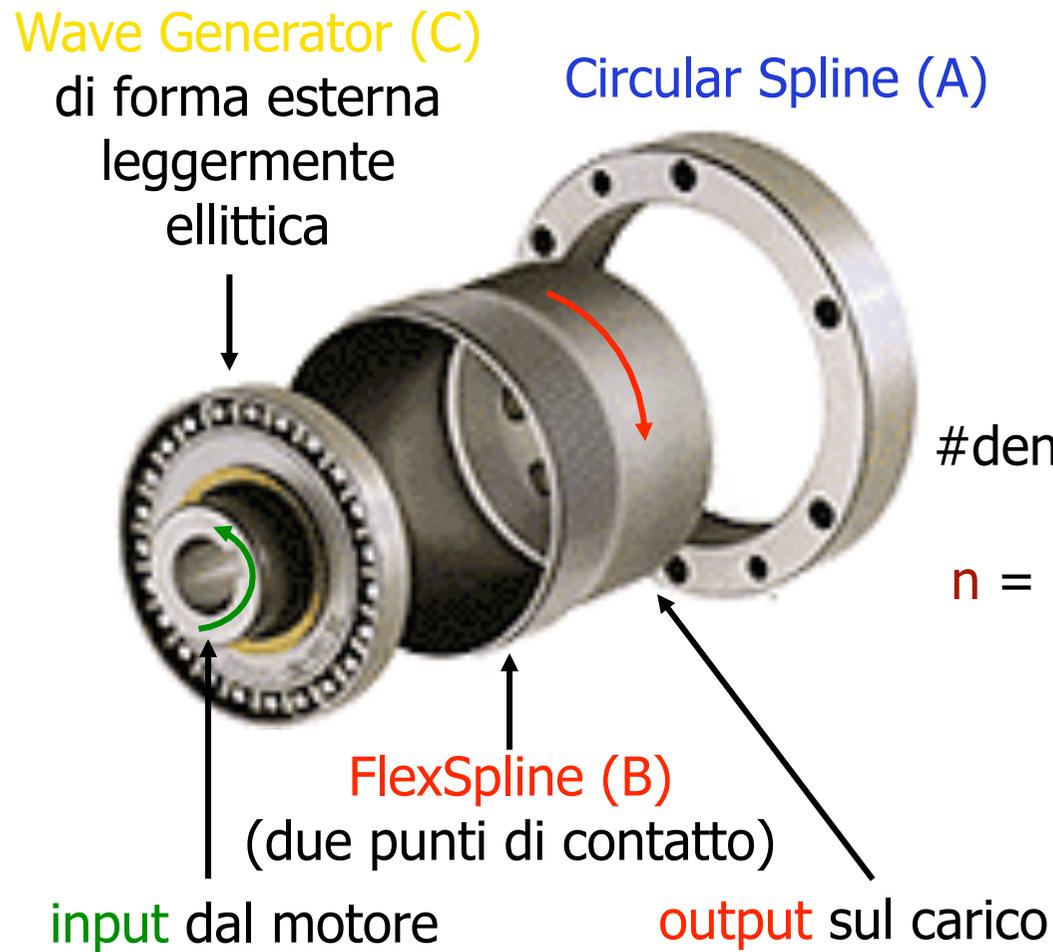
# Trasmissioni in robotica

---

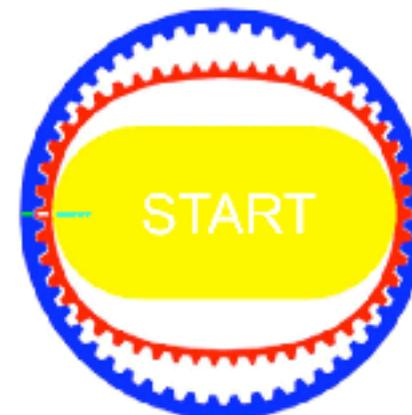
- **ruote dentate:** consentono lo spostamento (rotazione e traslazione) dell'asse di rotazione
  - problemi: **deformazioni**, **giochi**
- **coppie vite-madrevite:** convertono il moto rotatorio in traslatorio (giunti prismatici)
  - problemi: **attriti**, **elasticità**, **giochi**
- **cinghie dentate e catene:** consentono di dislocare il motore rispetto all'asse del giunto
  - problemi: **deformazioni** (cinghie) o **vibrazioni** indotte dalla massa elevata (catene)
- **harmonic drive:** trasmissione compatta (coassiale) con elevato rapporto di riduzione (fino a 150-200:1)
  - problemi: **elasticità**
- **alberi di trasmissione:** lungo i bracci ...



# Harmonic drive

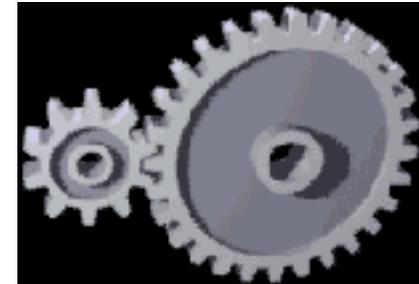
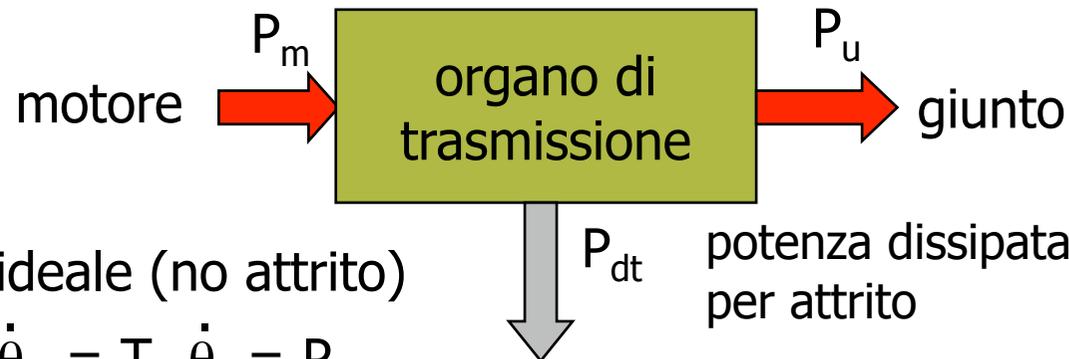


$$\begin{aligned} \# \text{denti esterni FS} &= \# \text{denti interni CS} - 2 \\ \text{rapporto di riduzione} \\ n &= \# \text{denti FS} / (\# \text{denti CS} - \# \text{denti FS}) \end{aligned}$$





# Ottimizzazione del rapporto di riduzione



nel caso ideale (no attrito)

$$P_m = T_m \dot{\theta}_m = T_u \dot{\theta}_u = P_u$$

coppia x velocità angolare

$n =$  rapporto di riduzione ( $\gg 1$ )      $\dot{\theta}_m = n \dot{\theta}_u$       $\Rightarrow$       $T_u = n T_m$

per avere  $\ddot{\theta}_u = a$  (dunque  $\ddot{\theta}_m = n a$ ) il motore deve applicare una coppia

$$T_m = J_m \ddot{\theta}_m + 1/n (J_u \ddot{\theta}_u) = (J_m n + J_u/n) a$$

inerzia x accelerazione angolare

per minimizzare  $T_m$ , si impone:      $\frac{\partial T_m}{\partial n} = (J_m - J_u/n^2) a = 0$

$\Rightarrow$       $n = (J_u / J_m)^{1/2}$      condizione di "matching" tra inerzie



# Caratteristiche di servomotori per robot

---

- bassa inerzia
- elevato rapporto potenza/peso
- capacità di accelerazione elevata
  - moto variabile con inversioni frequenti
- ampio campo di variazione delle velocità
  - da 1 a 1000 giri/min
- elevata precisione di posizionamento
  - almeno 1/1000 di giro
- bassa ondulazione della coppia
  - rotazioni continue a basse velocità



# Servomotori

---

- **pneumatici:** energia pneumatica (compressore) → pistoni o turbine → energia meccanica
  - difficoltà di controllo (compressibilità fluido) → no controllo di traiettoria
  - impiegati in apertura/chiusura utensili tipo pinza
- **idraulici:** energia idraulica (serbatoio di accumulazione) → pompe → energia meccanica
  - **vantaggi:** assenza di surriscaldamento statico, auto-lubrificati, intrinsecamente sicuri (no scintille), ottimo rapporto potenza/peso, alte coppie a basse velocità (senza riduzioni)
  - **svantaggi:** disponibilità alimentazione, costo elevato, ingombro, basso rendimento, manutenzione, inquinamento



# Servomotori elettrici

---

## ■ vantaggi

- disponibilità alimentazione
- costo contenuto
- vasta gamma di prodotti
- buon rendimento
- facile manutenzione
- assenza di inquinamento

## ■ svantaggi

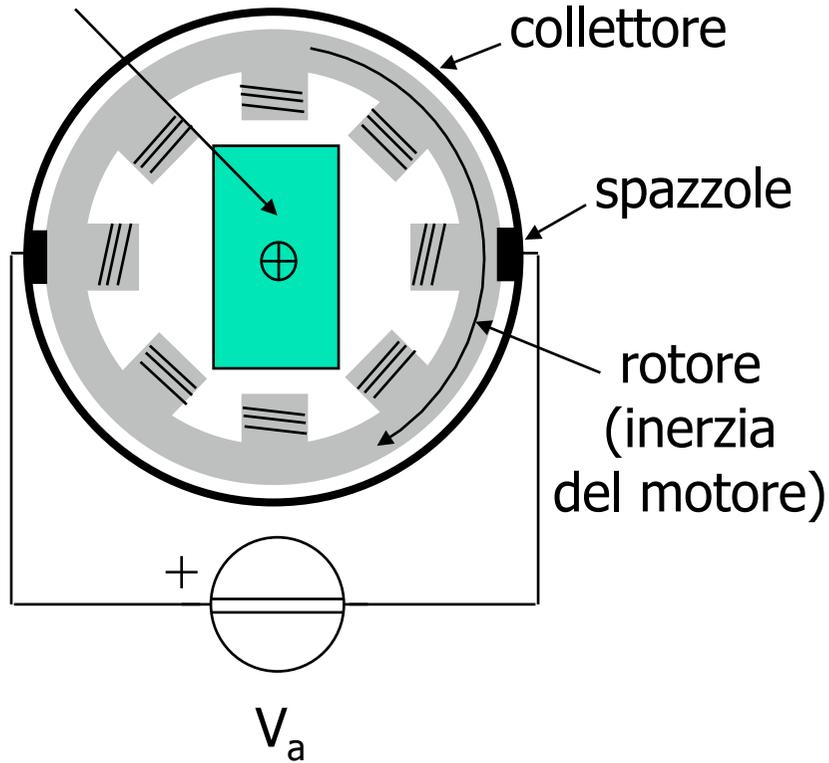
- surriscaldamento in situazioni statiche (in presenza di gravità)
- necessità di protezione in ambienti infiammabili



# Servomotori elettrici per robot

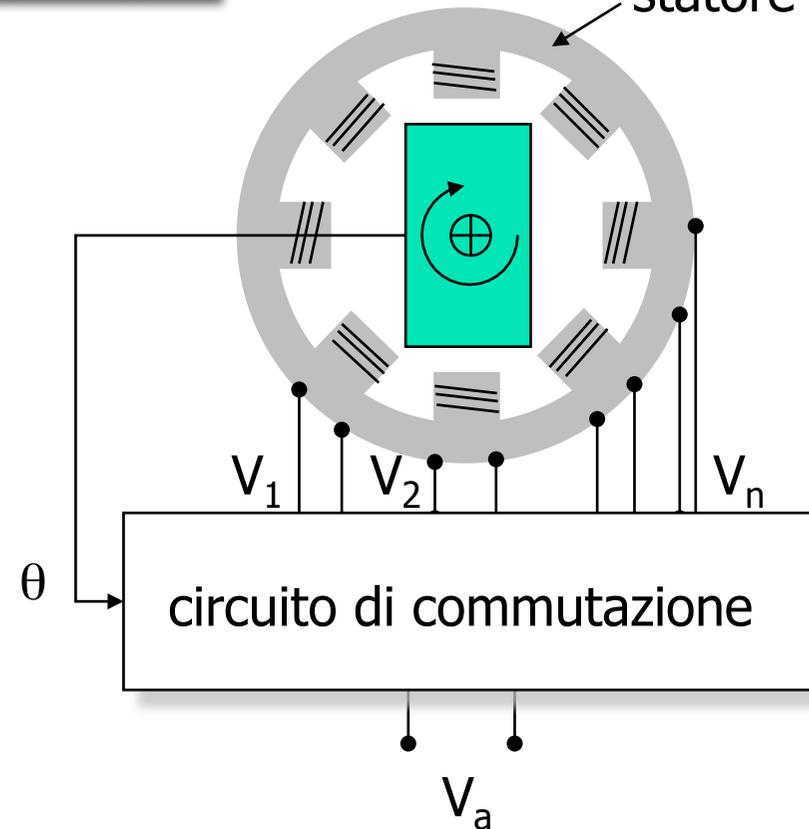
## schemi di principio

statore (magnete permanente)



a corrente continua (DC)

statore



a commutazione elettronica (brushless)



## Vantaggi motore brushless

---

- minori perdite elettriche (dovute a caduta di tensione al contatto spazzole-collettore) e meccaniche (attrito)
- minore manutenzione (sostituzione spazzole)
- smaltimento di calore più semplice
- rotore più compatto (minore inerzia e dimensioni più contenute)

**... a fronte di un costo più elevato!**



# Motore elettrico DC: modello

## equilibrio elettrico

$$V_a = (R_a + sL_a) I_a + V_g$$

$$V_g = k_v \Omega$$

nel dominio di  
Laplace  
(funzioni di  
trasferimento)

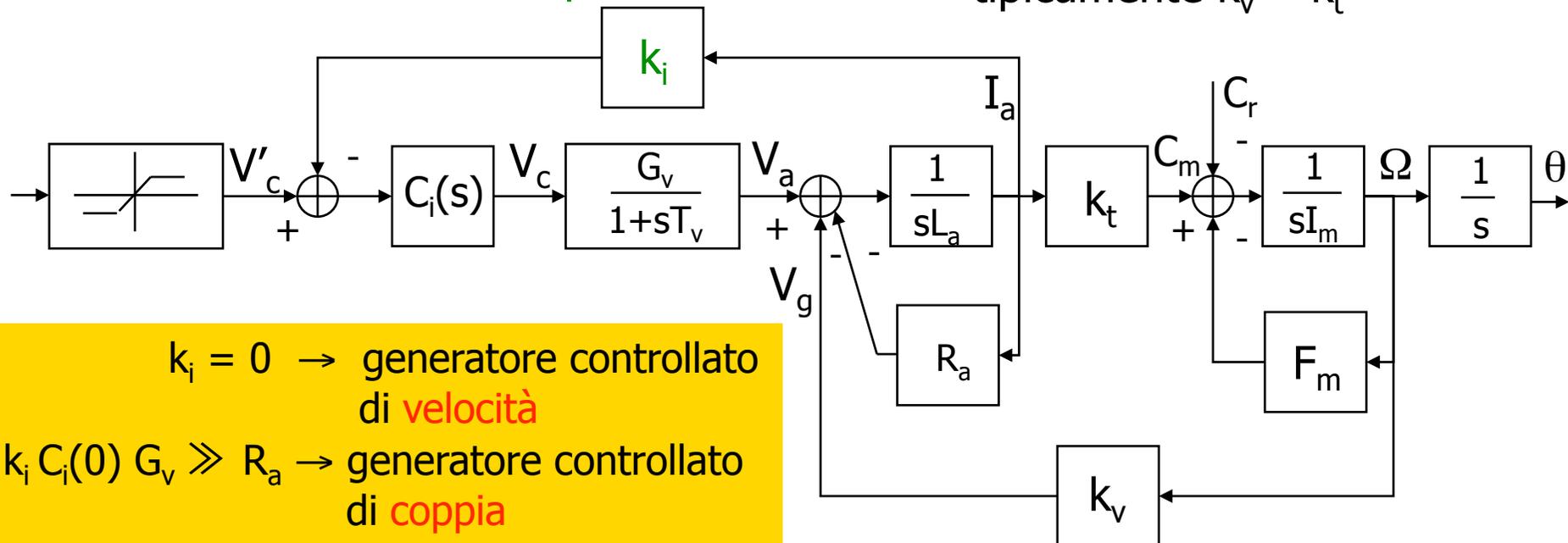
## equilibrio meccanico

$$C_m = (sI_m + F_m) \Omega + C_r$$

$$C_m = k_t I_a$$

tipicamente  $k_v = k_t$

loop di corrente



$k_i = 0 \rightarrow$  generatore controllato di **velocità**

$k_i C_i(0) G_v \gg R_a \rightarrow$  generatore controllato di **coppia**



# Data sheet servomotori elettrici

- DC drives



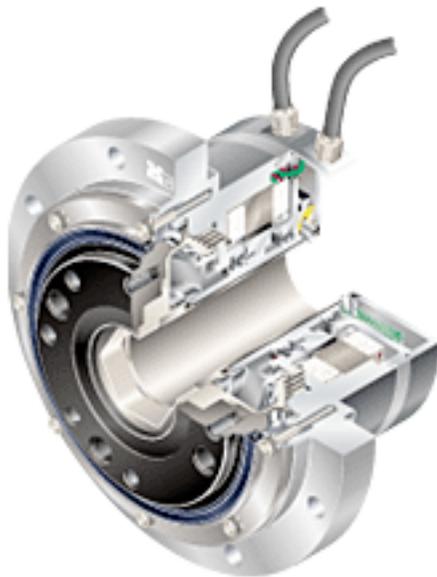
Model of actuator		RHS-14		RHS-17		RHS-20/RFS-20				RHS-25/RFS-25				RHS-32/RFS-32			
		6003	3003	6006	3006	6007	3007	6012	3012	6012	3012	6018	3018	6018	3018	6030	3030
Rated Torque	Inlb	48	69	87	177	106	212	177	266	177	354	266	531	266	531	443	885
	Nm	5.4	7.8	9.8	20	12	24	20	30	20	40	30	60	30	60	50	100
Rated Speed of Rotation	rpm	60	30	60	30	60	30	60	30	60	30	60	30	60	30	60	30
Max. Instant. Torque	Inlb	159	248	301	478	504	743	504	743	885	1416	885	1416	1947	3009	1947	3009
	Nm	18	28	34	54	57	84	57	84	100	160	100	160	220	340	220	340
Max.Speed of Rotation	rpm	100	50	80	40	80	40	80	40	80	40	80	40	80	40	80	40

coppia e velocità nominali e di picco



# Data sheet servomotori elettrici

- AC drives



	unit	HKM-20-60	HKM-20-30	HKM-25-60	HKM-25-30
Rated Power	Watts	100		200	
Rated Torque	in-lb	115	223	233	440
	N-m	13	26	26	50
Maximum Torque	in-lb	345	700	830	1330
	N-m	39	79	94	150
Rated Speed	r/min	60	30	60	30
Maximum Speed	r/min	80	40	80	40
Current Rated	A	1.8	1.4	4.8	3
Current Max	A	5	4	14	9
Thermal Time Constant	min.				
Gear Reduction Ratio	R:1	50	100	50	100
Output Resolution	P/rev	50,000	100,000	75,000	150,000
	arc sec	26	13	17	9
Absolute Accuracy	+/- arc sec	75	40	60	40

# Esploso di un giunto del robot DLR-III

