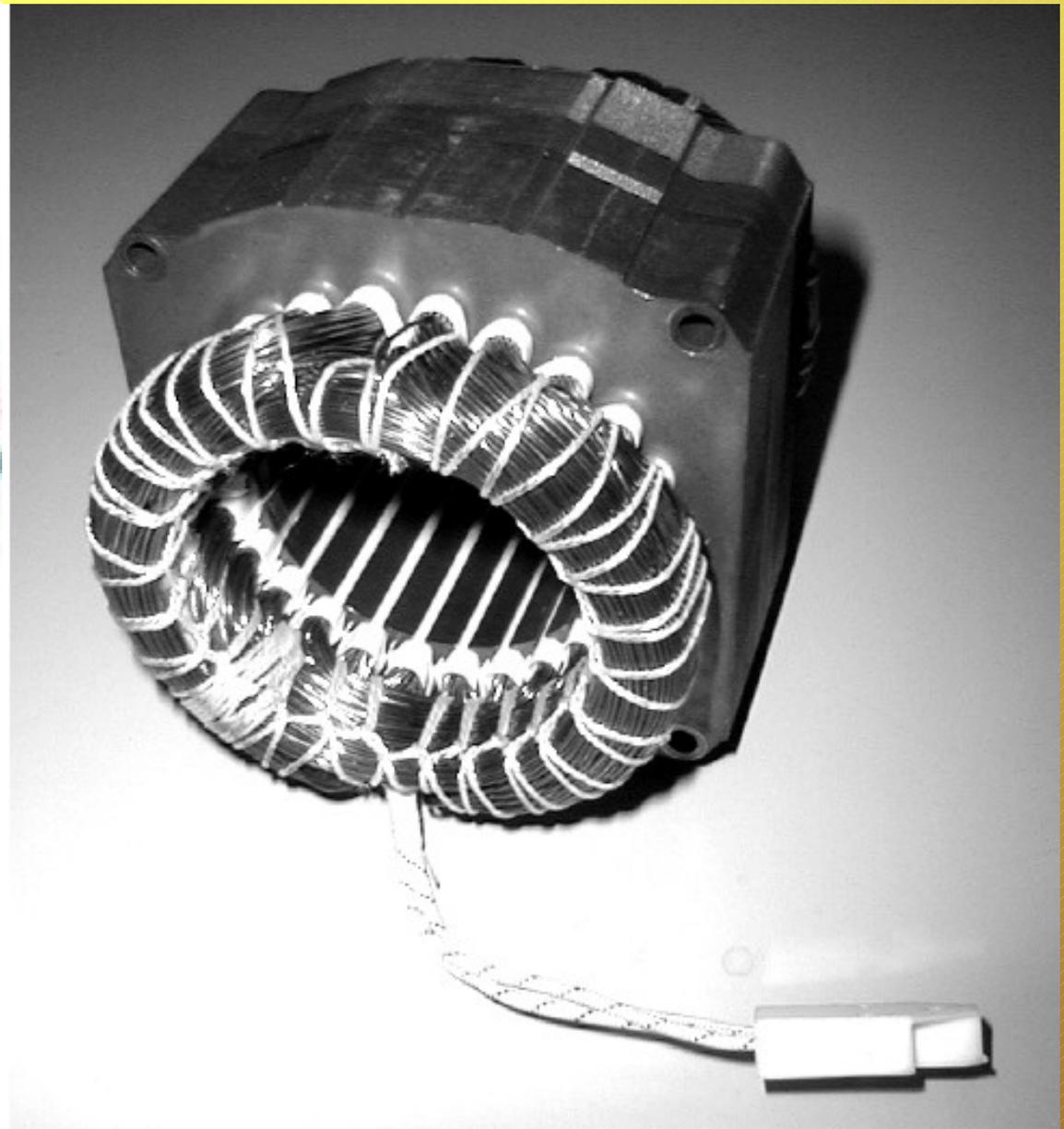


ELETTROTECNICA

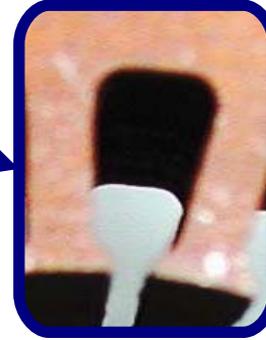
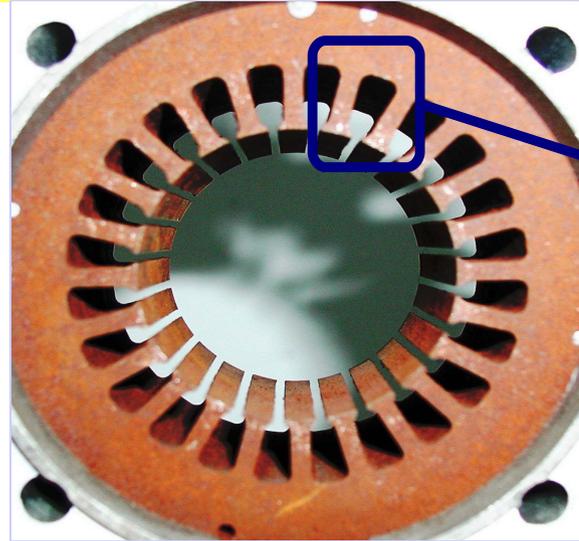
MACCHINE ASINCRONE



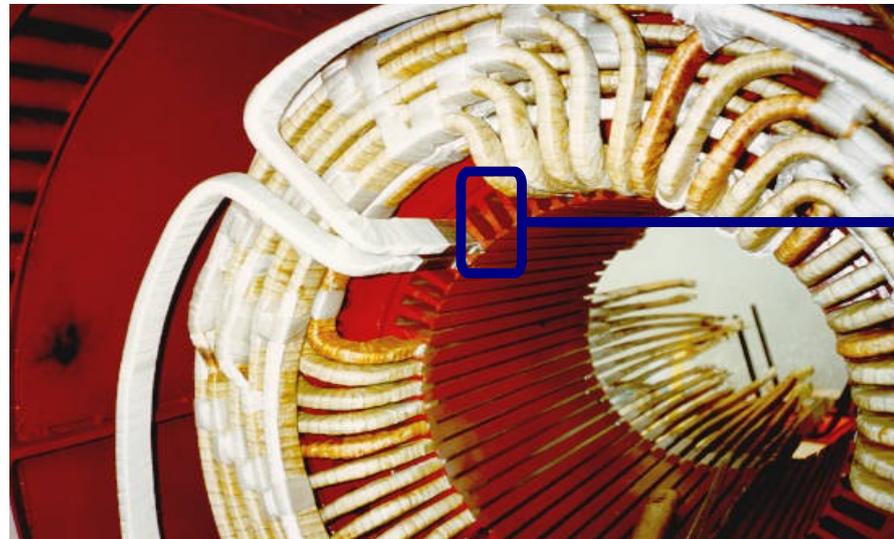
Cenni costruttivi: statori ed avvolgimenti statorici di piccoli motori



Cenni costruttivi: esempi di cave statoriche

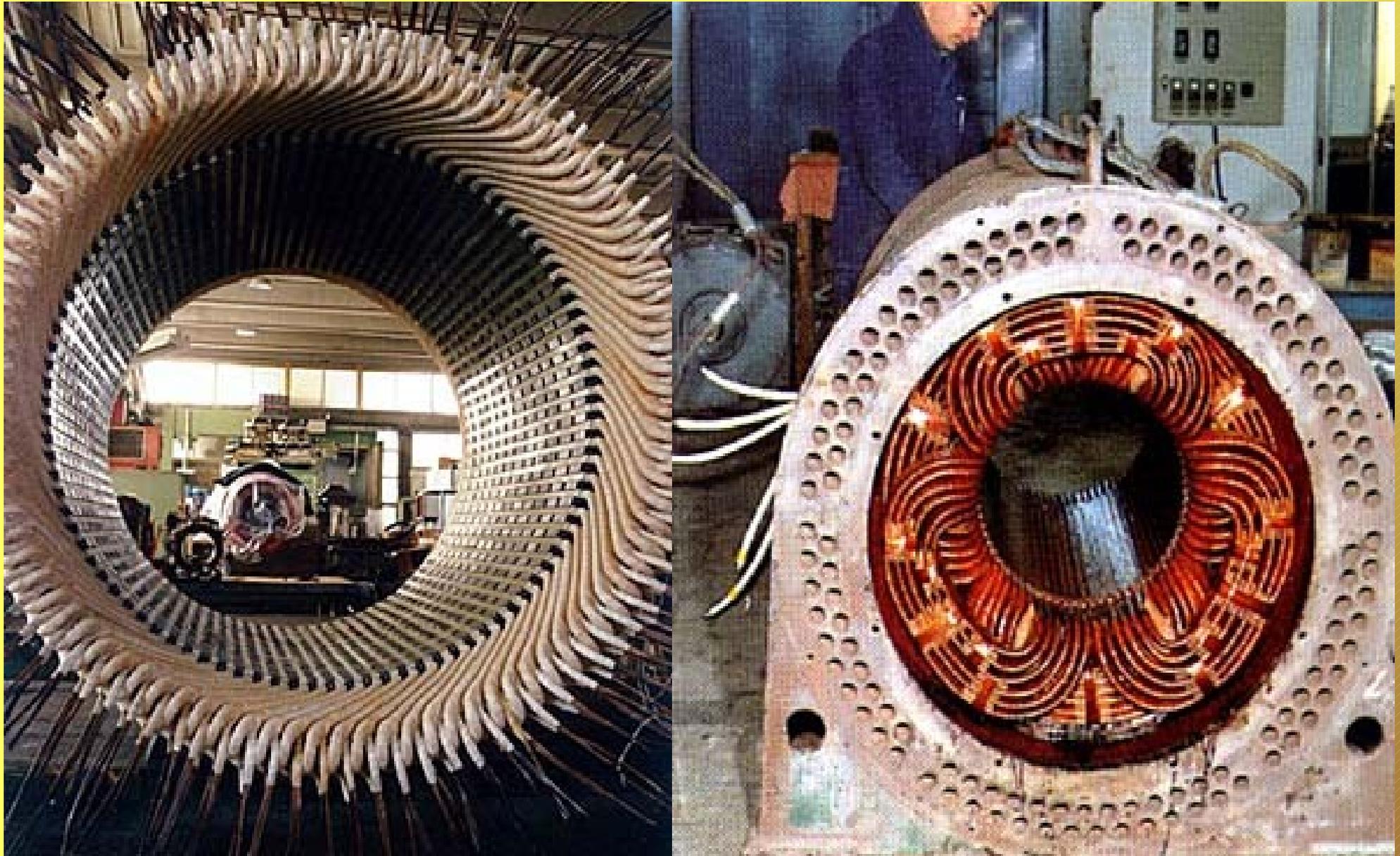


motore di piccola
potenza



motore da 1,2 MW, 6 kV

Cenni costruttivi: esempi di cave statoriche di motori

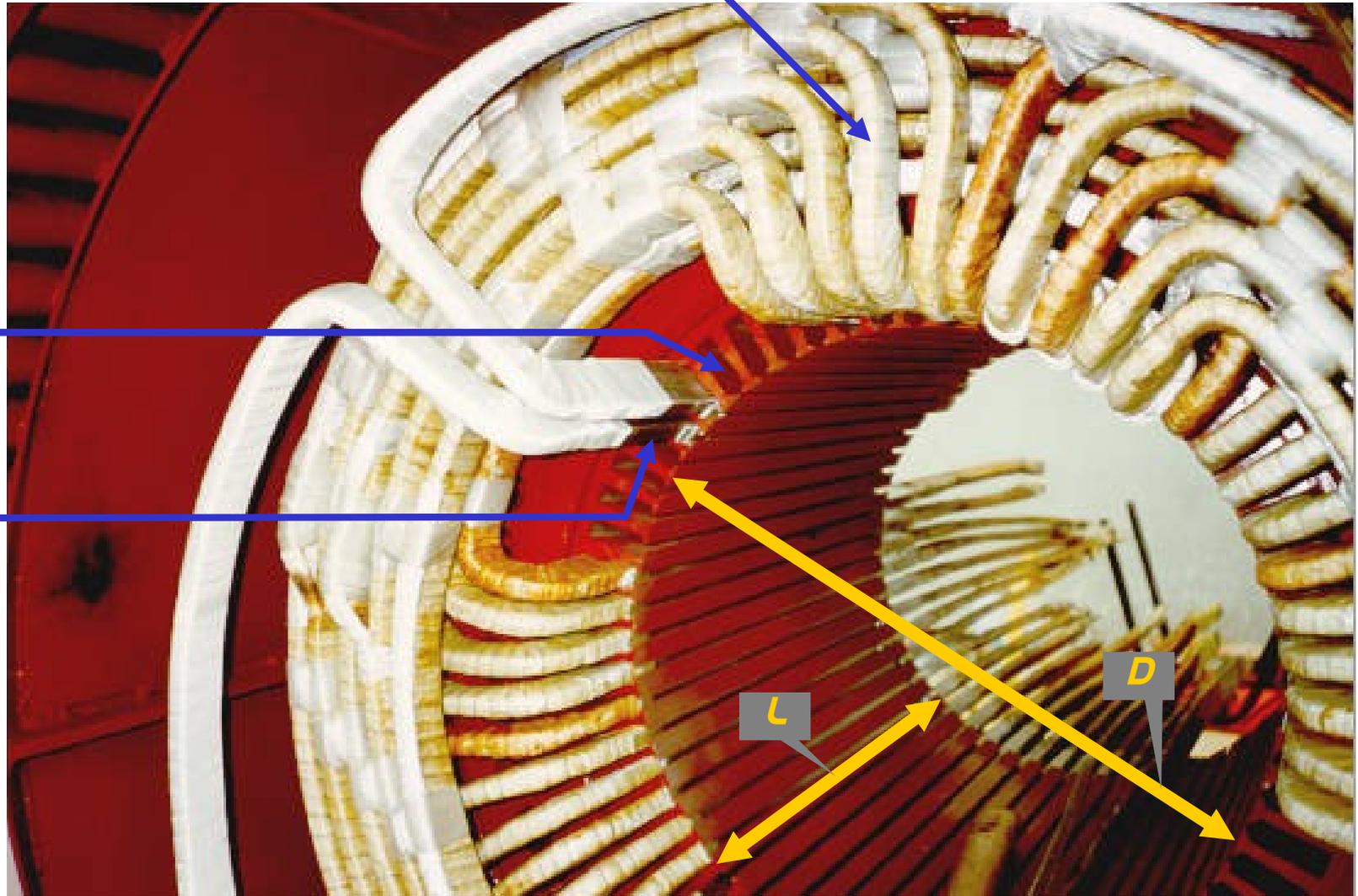


Cenni costruttivi: statore di un motore di potenza da 6 kV e 1,2 MW

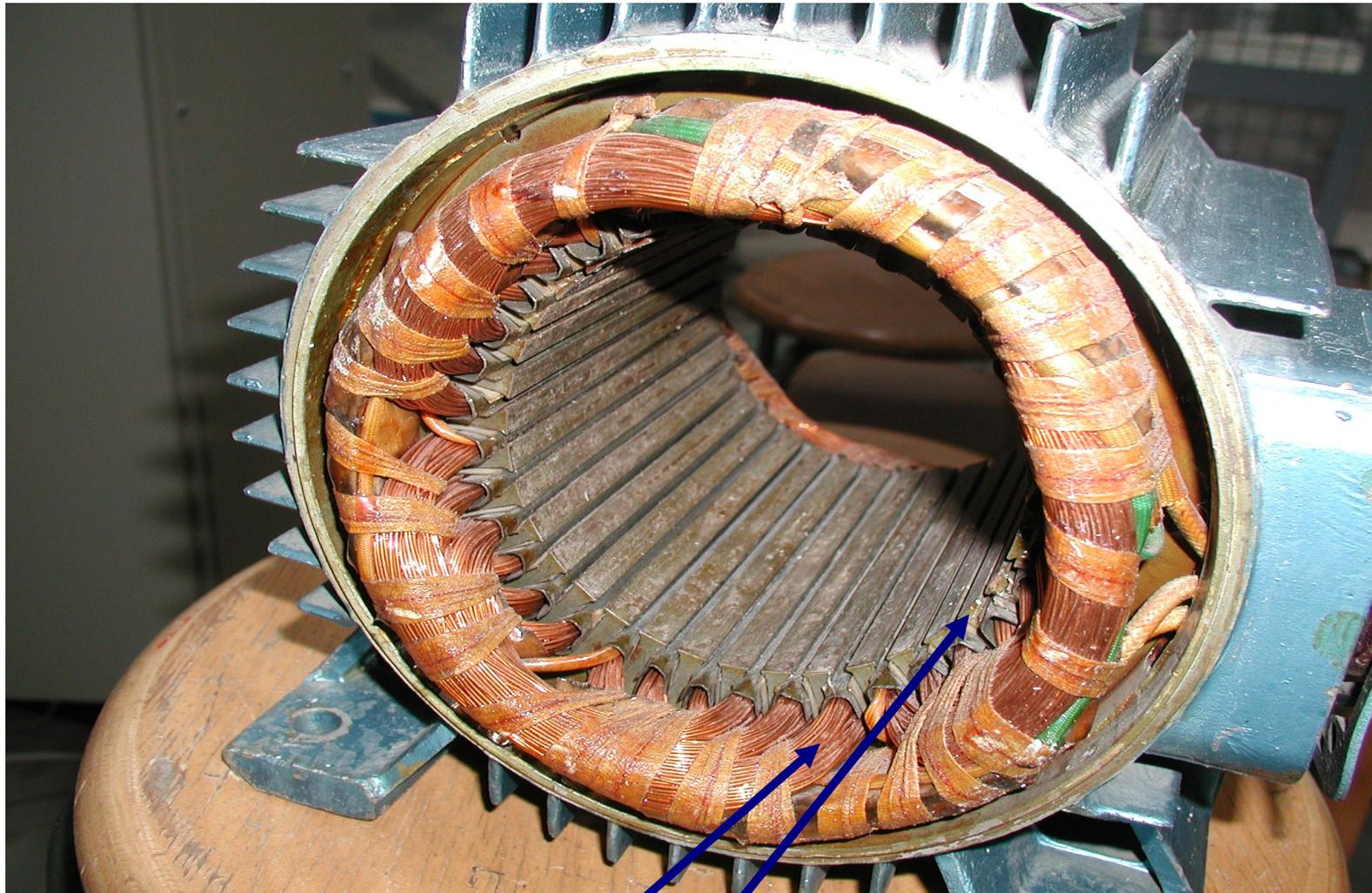
connessioni
frontali

cave di
statore

conduttori
attivi



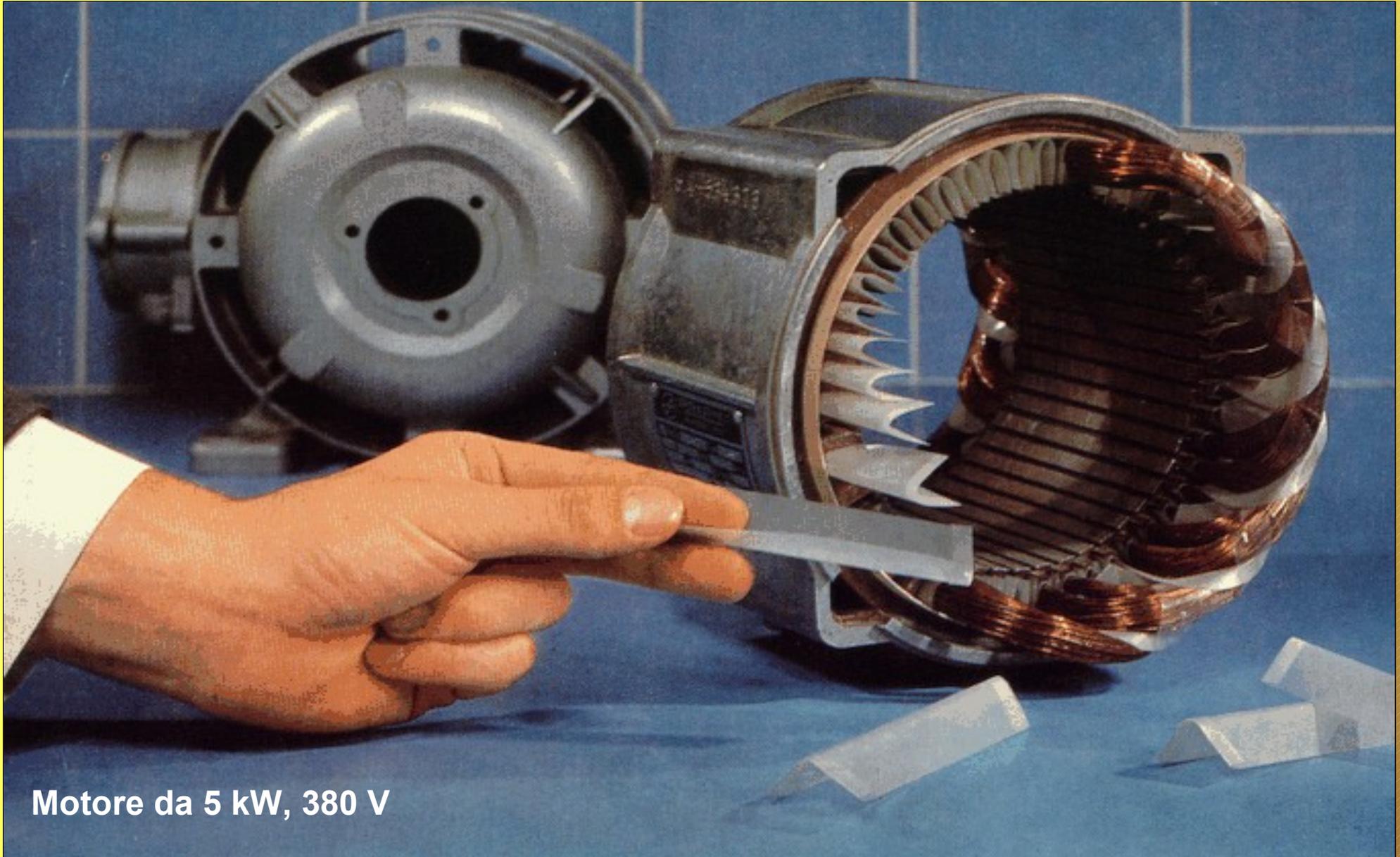
Cenni costruttivi: statore di una macchina di piccola potenza con avv. a matasse.



Matasse

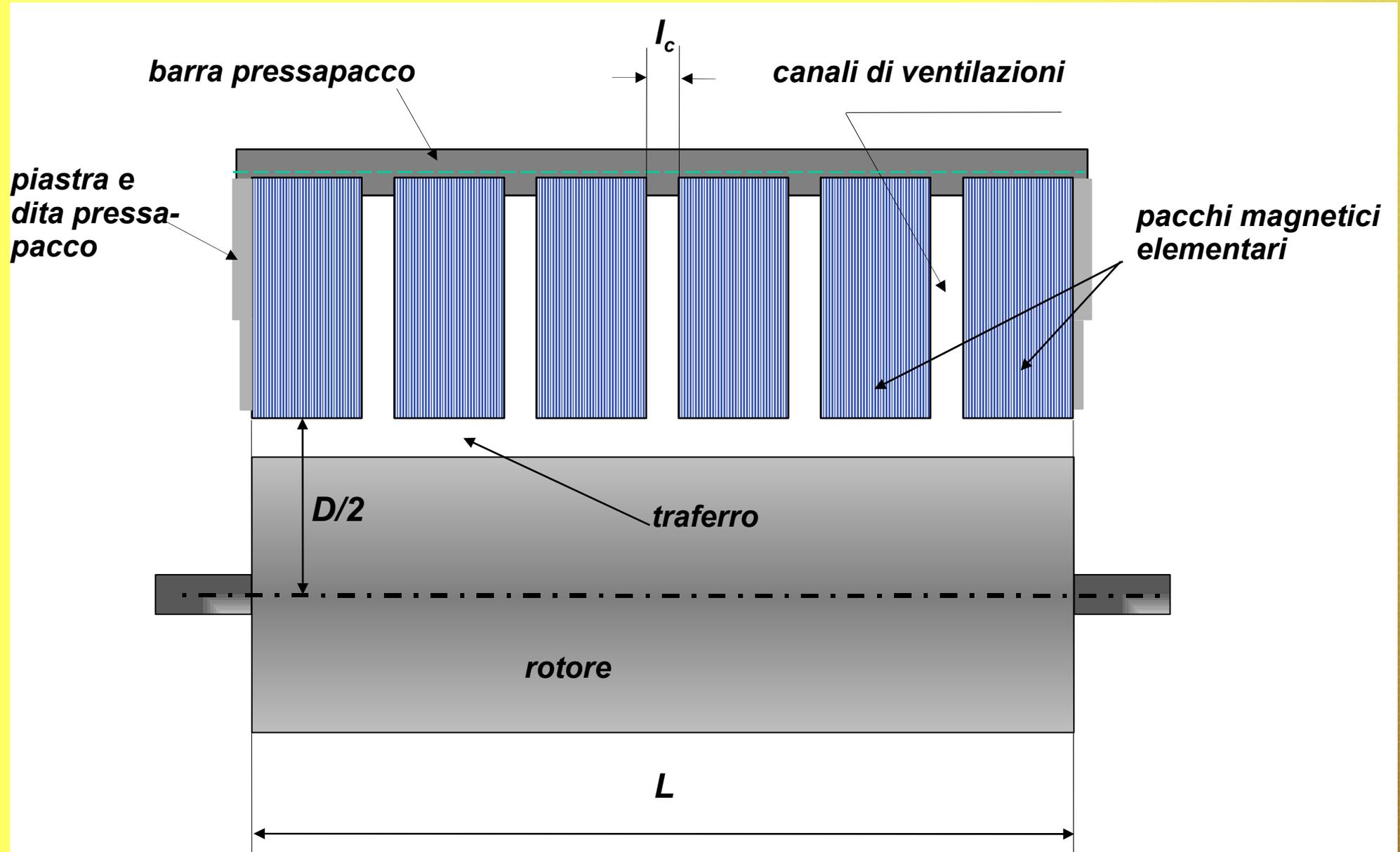
**Isolamento verso massa
della matassa**

Cenni costruttivi: isolamento verso massa della matassa di statore

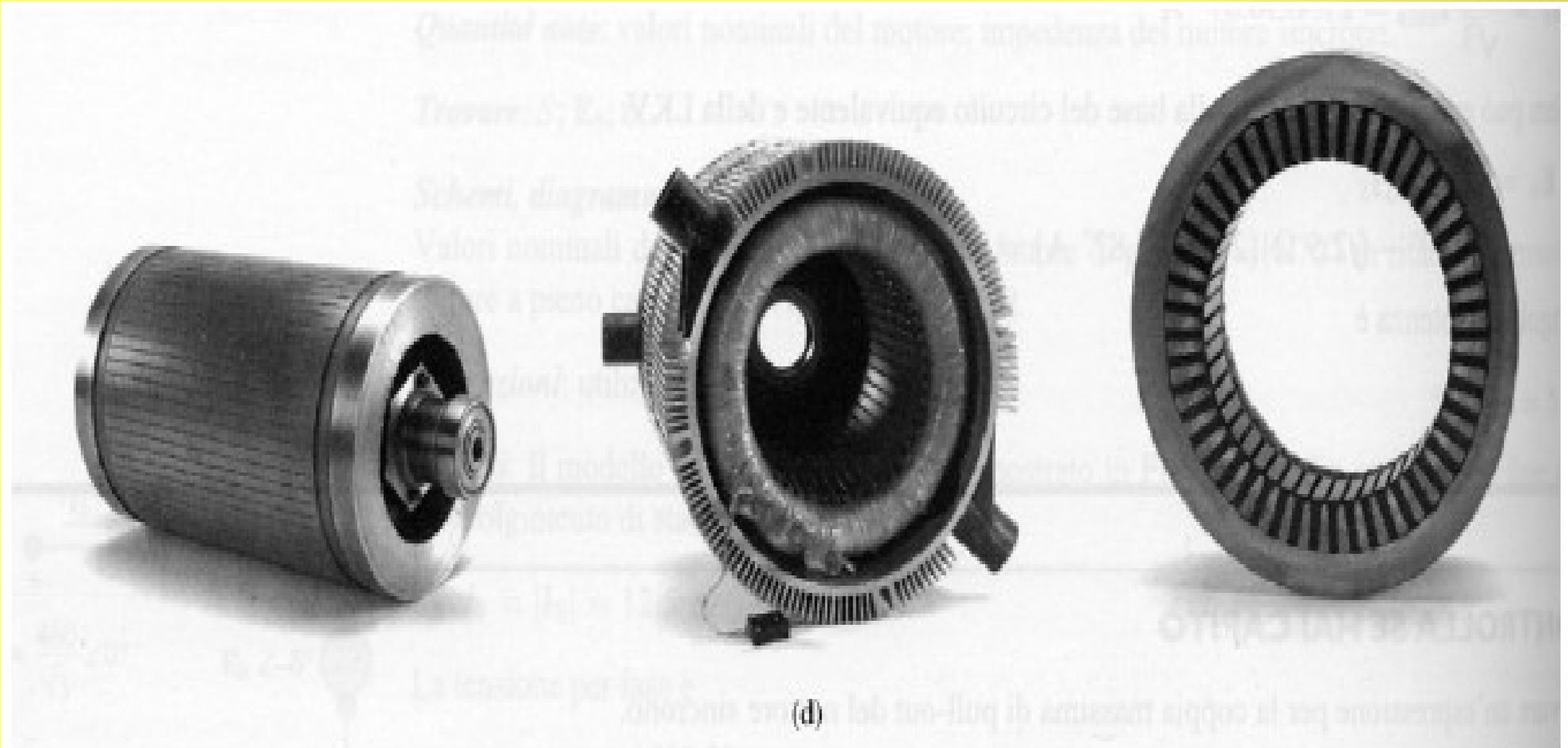


Motore da 5 kW, 380 V

Cenni costruttivi: vista laterale del pacco statorico

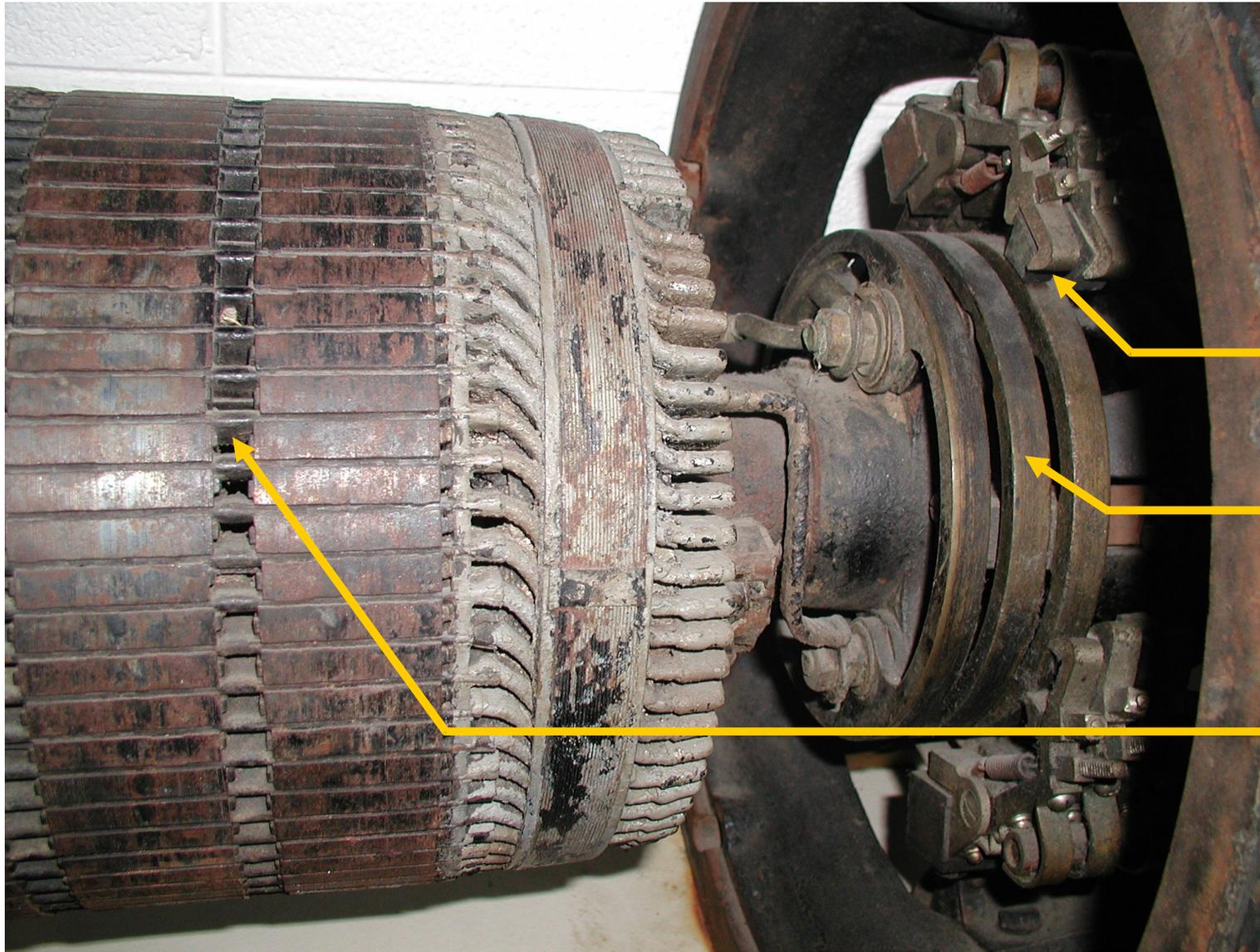


Cenni costruttivi: rotore a gabbia, avvolgimento statorico e statore



Macchina Asincrona: rotore a gabbia di scoiattolo, statore, sezione trasversale dello statore.

Cenni costruttivi: rotore avvolto con collegamento ad anelli (anno 1911)

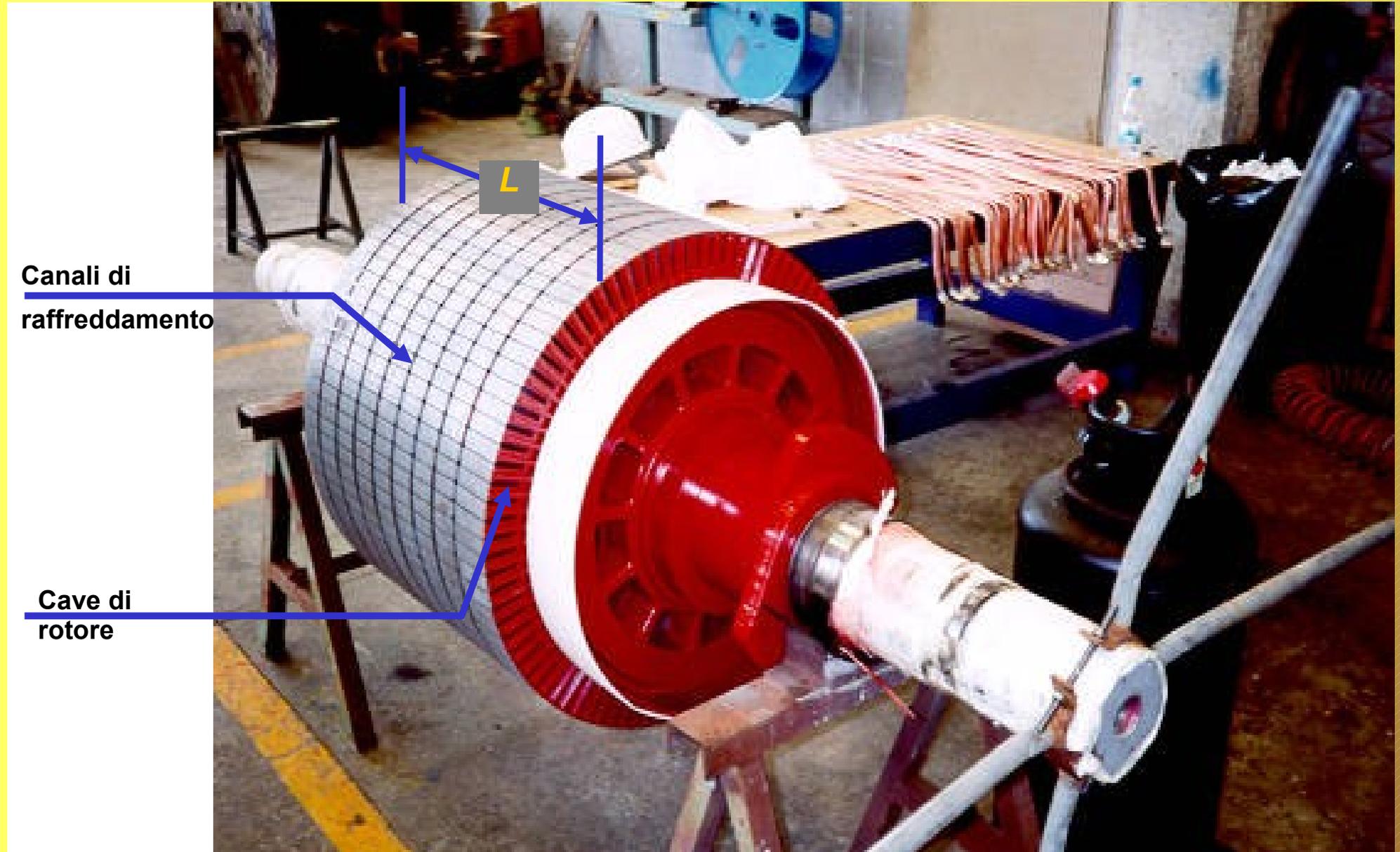


Spazzole

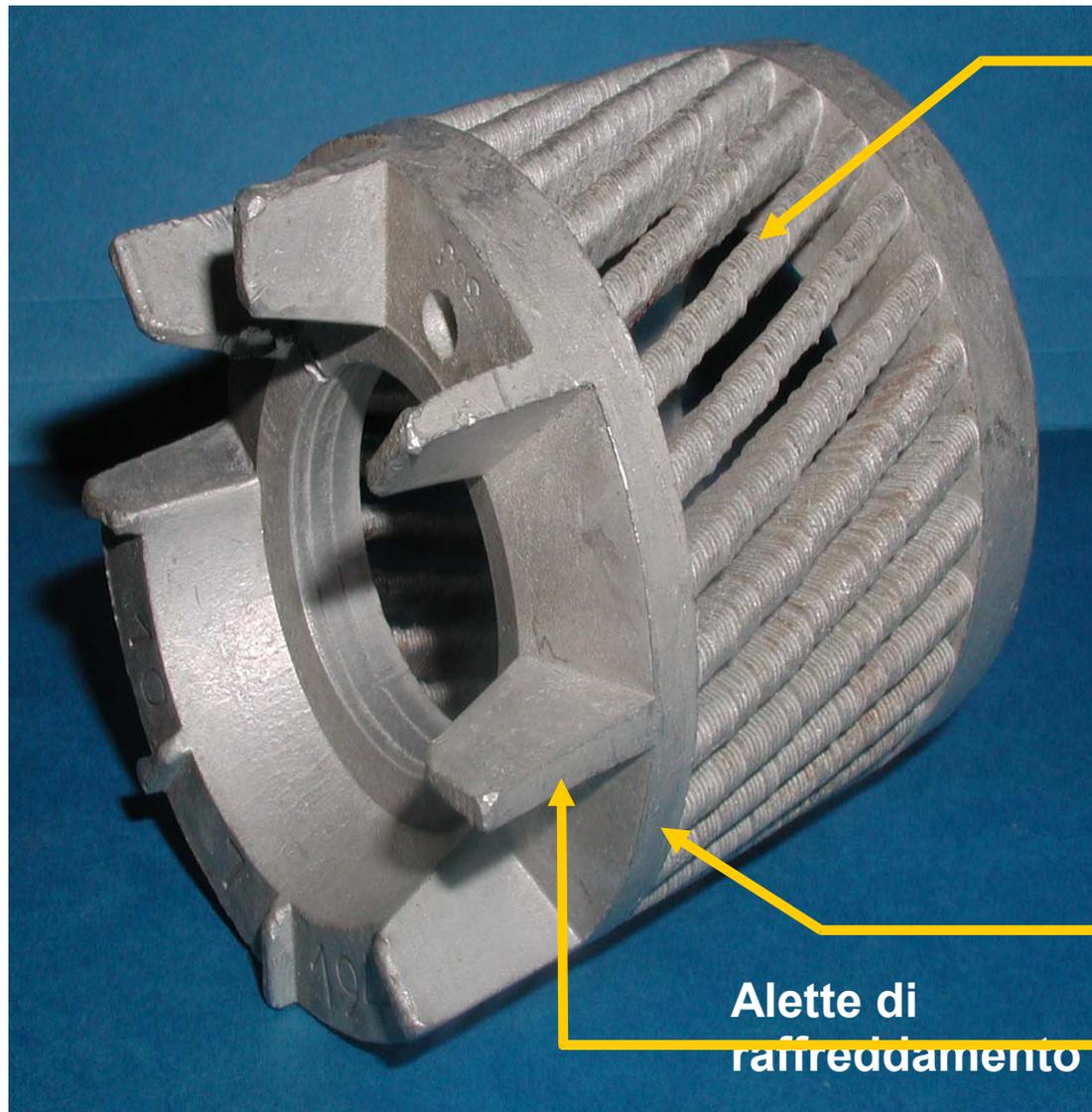
Anelli

Canali di
raffreddamento

Cenni costruttivi: rotore avvolto di un motore di potenza da 6 kV - 1,2 MW



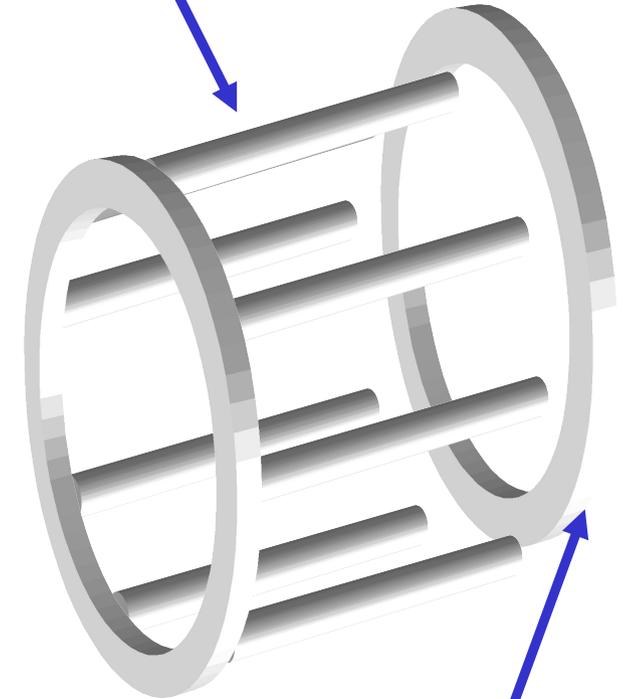
Cenni costruttivi: avvolgimento di rotore a gabbia



Conduttori attivi

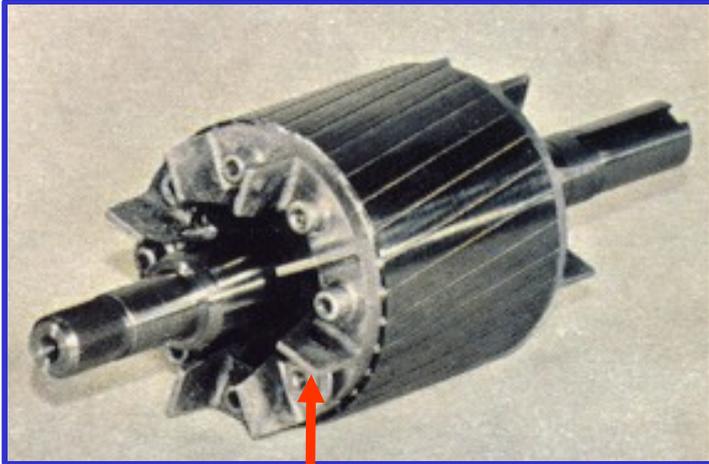
Anelli di corto circuito

Alette di raffreddamento



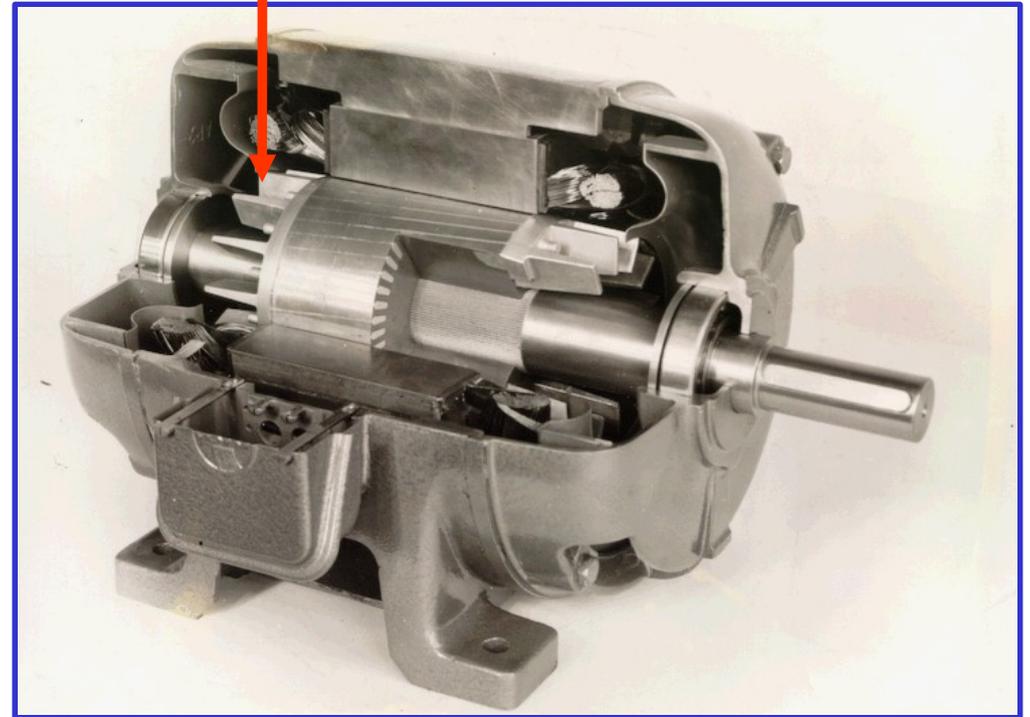
Rotore a gabbia in alluminio pressofuso

Cenni costruttivi: avvolgimento di rotore a gabbia in motori di piccola potenza

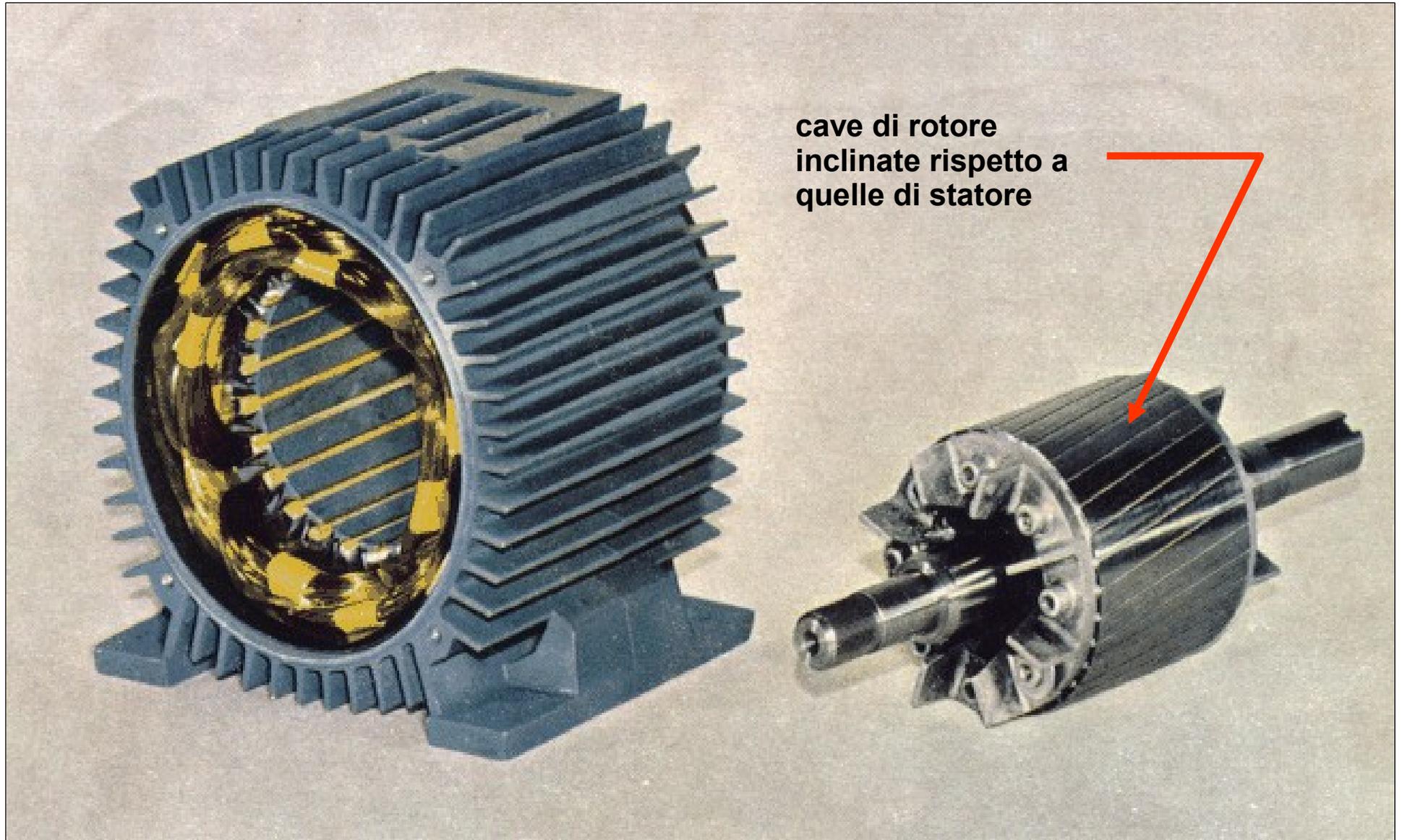


Anelli di corto circuito con alette di raffreddamento

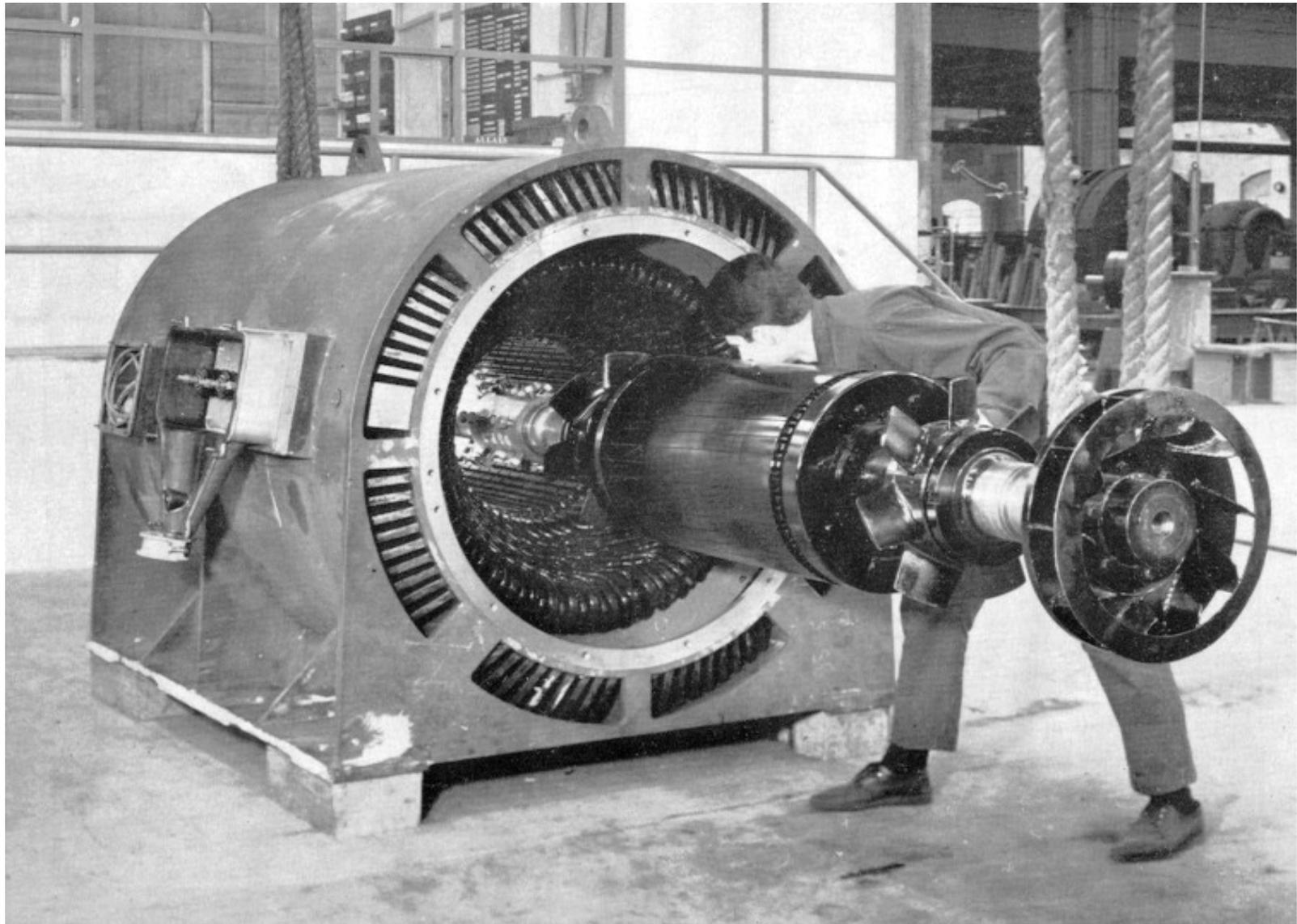
Anelli di corto circuito con alette di raffreddamento



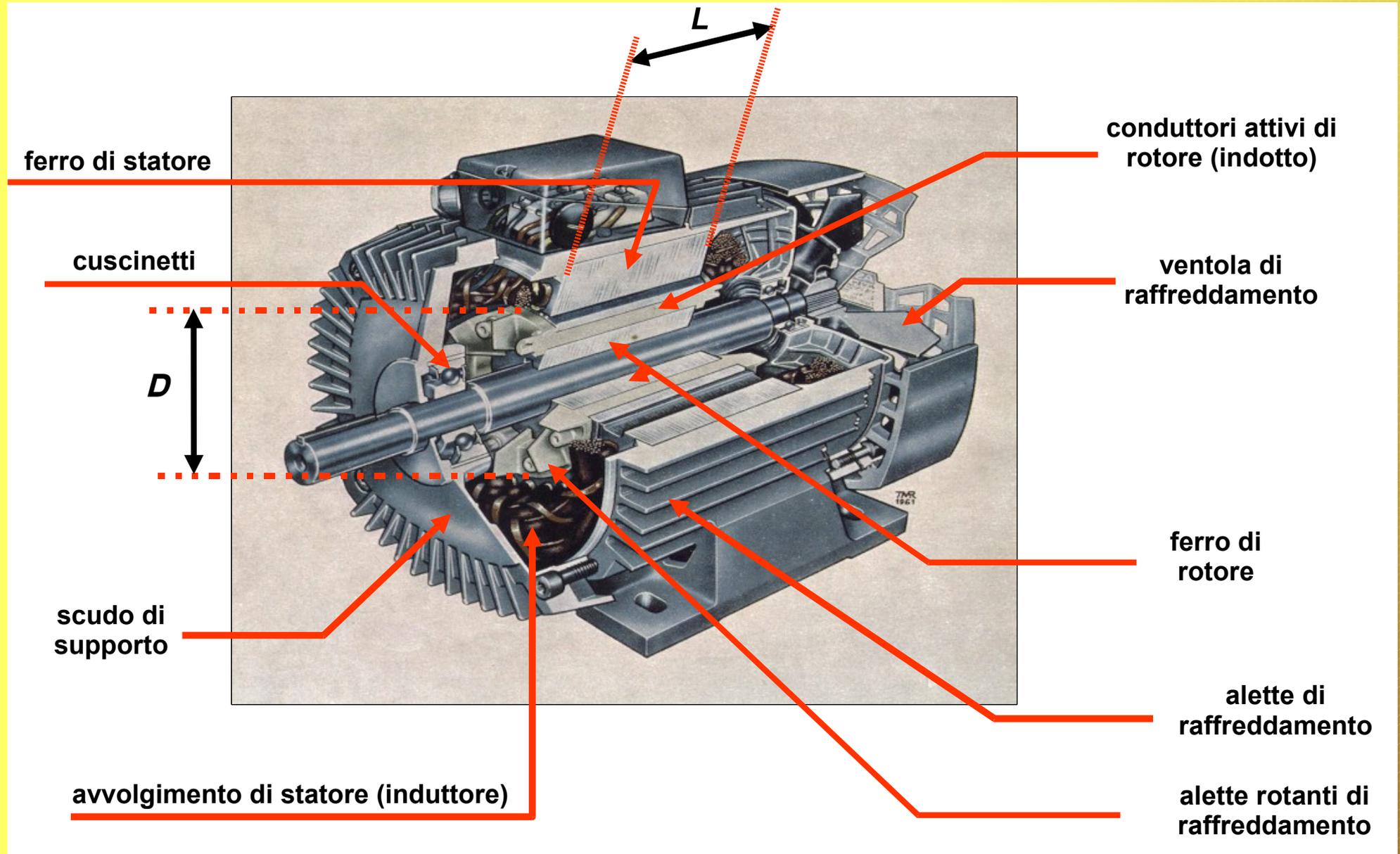
Cenni costruttivi: motore di piccola potenza con rotore a gabbia



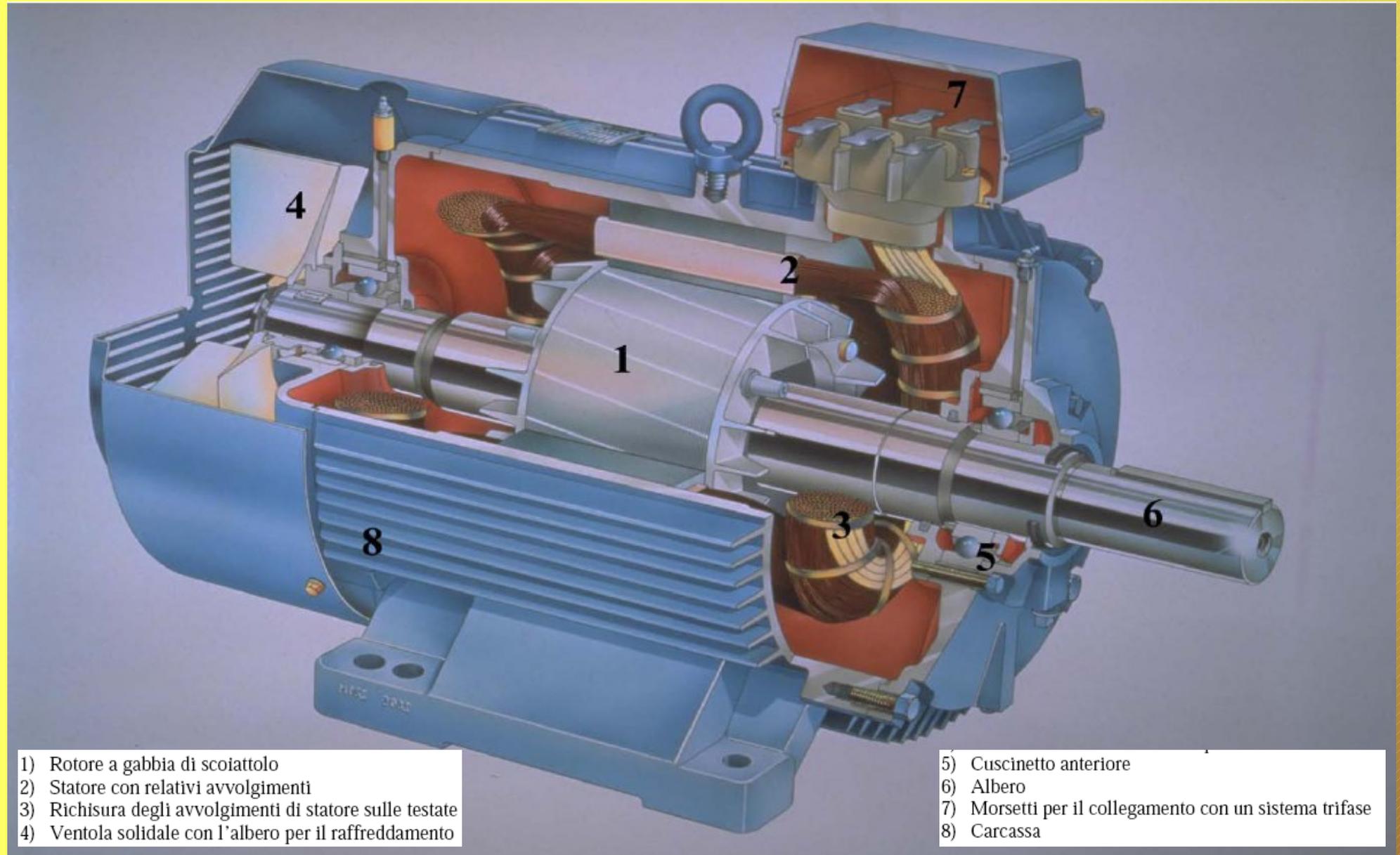
Cenni costruttivi: motore di potenza con rotore a doppia gabbia (≥ 100 kW)



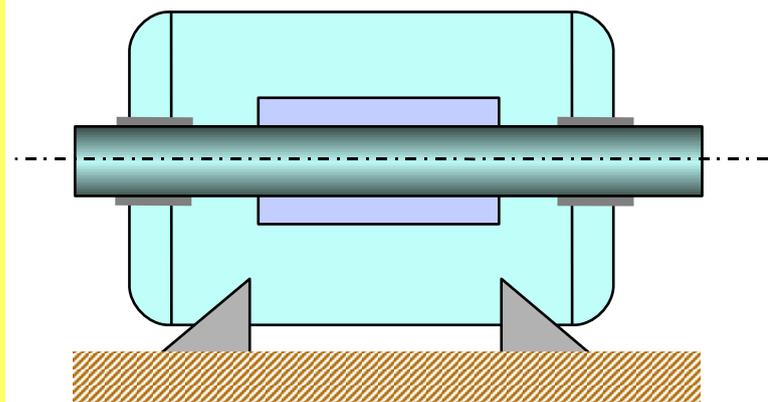
Cenni costruttivi: vista di un motore trifase aperto



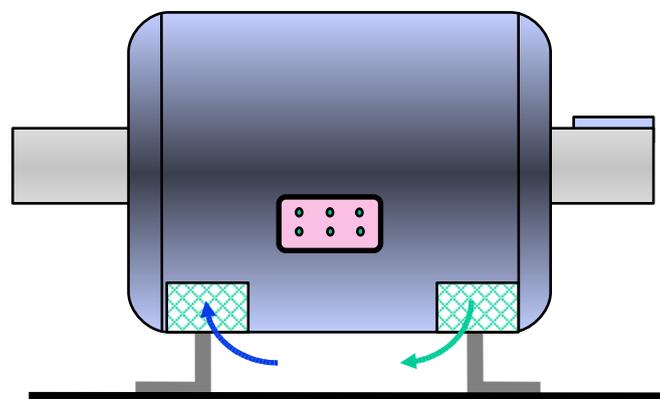
Cenni costruttivi: vista di un motore trifase aperto



Cenni costruttivi: morfologia e raffreddamento di motori di piccola potenza



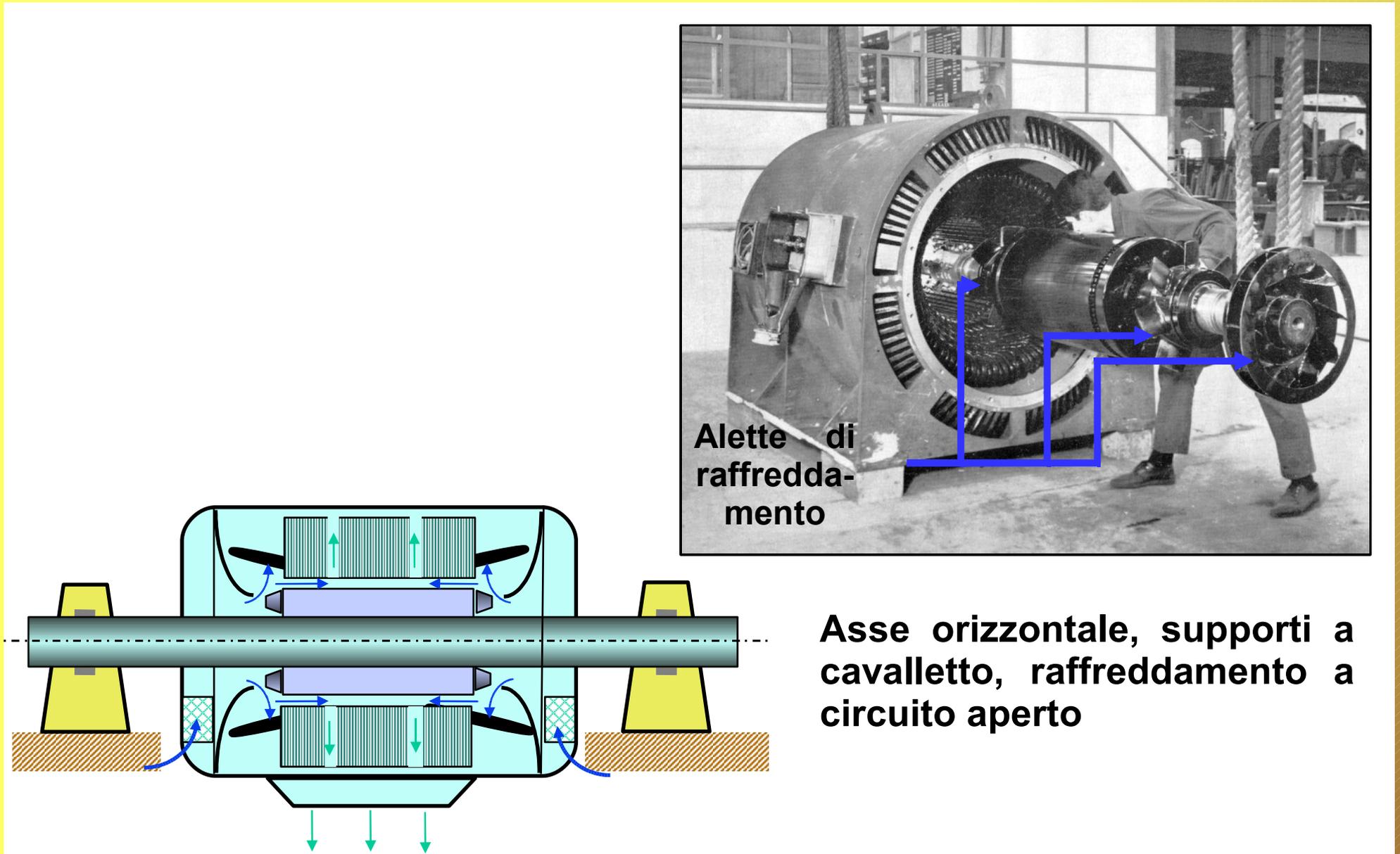
**Asse orizzontale,
supporti a scudo**



**Ventilazione a
circuito aperto**



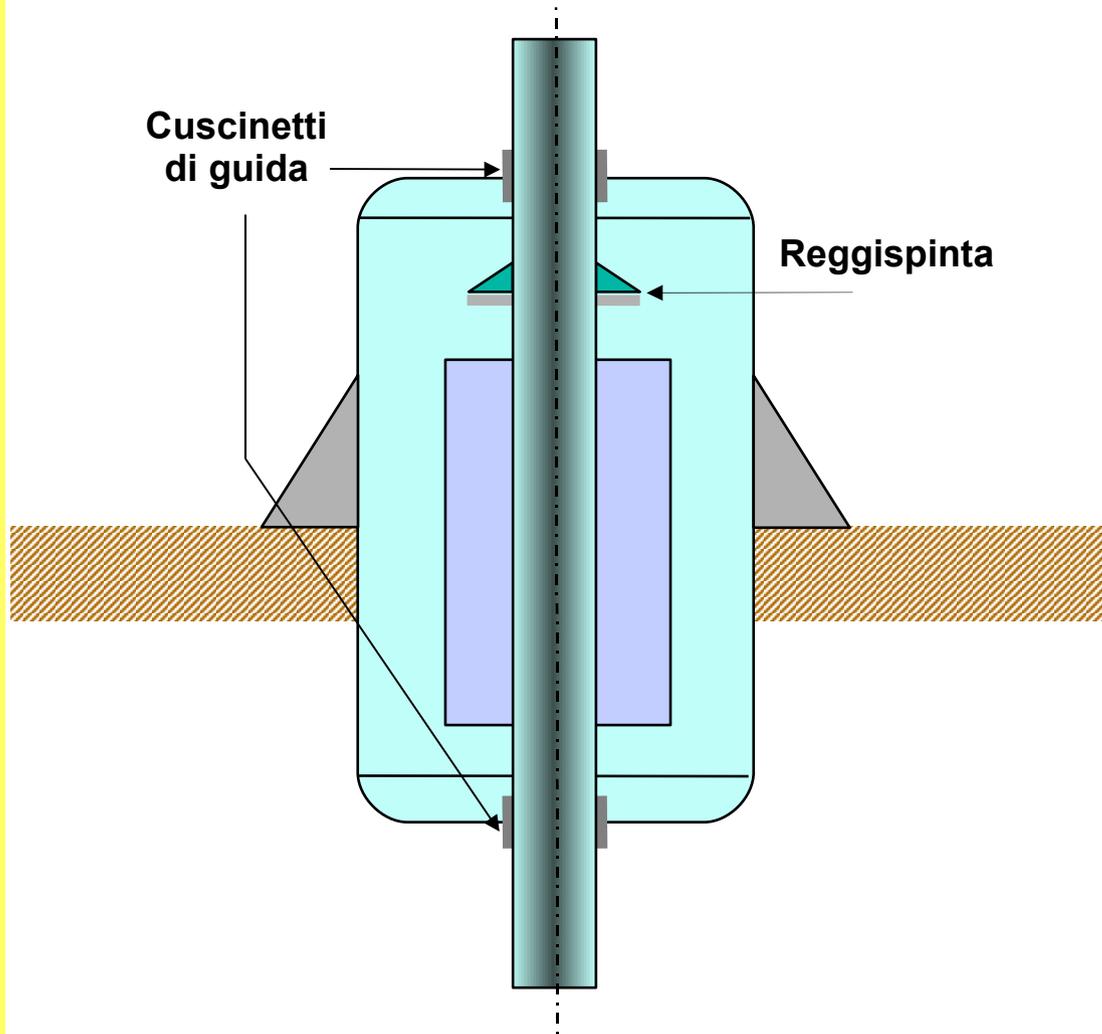
Cenni costruttivi: morfologia e raffreddamento di motori di potenza



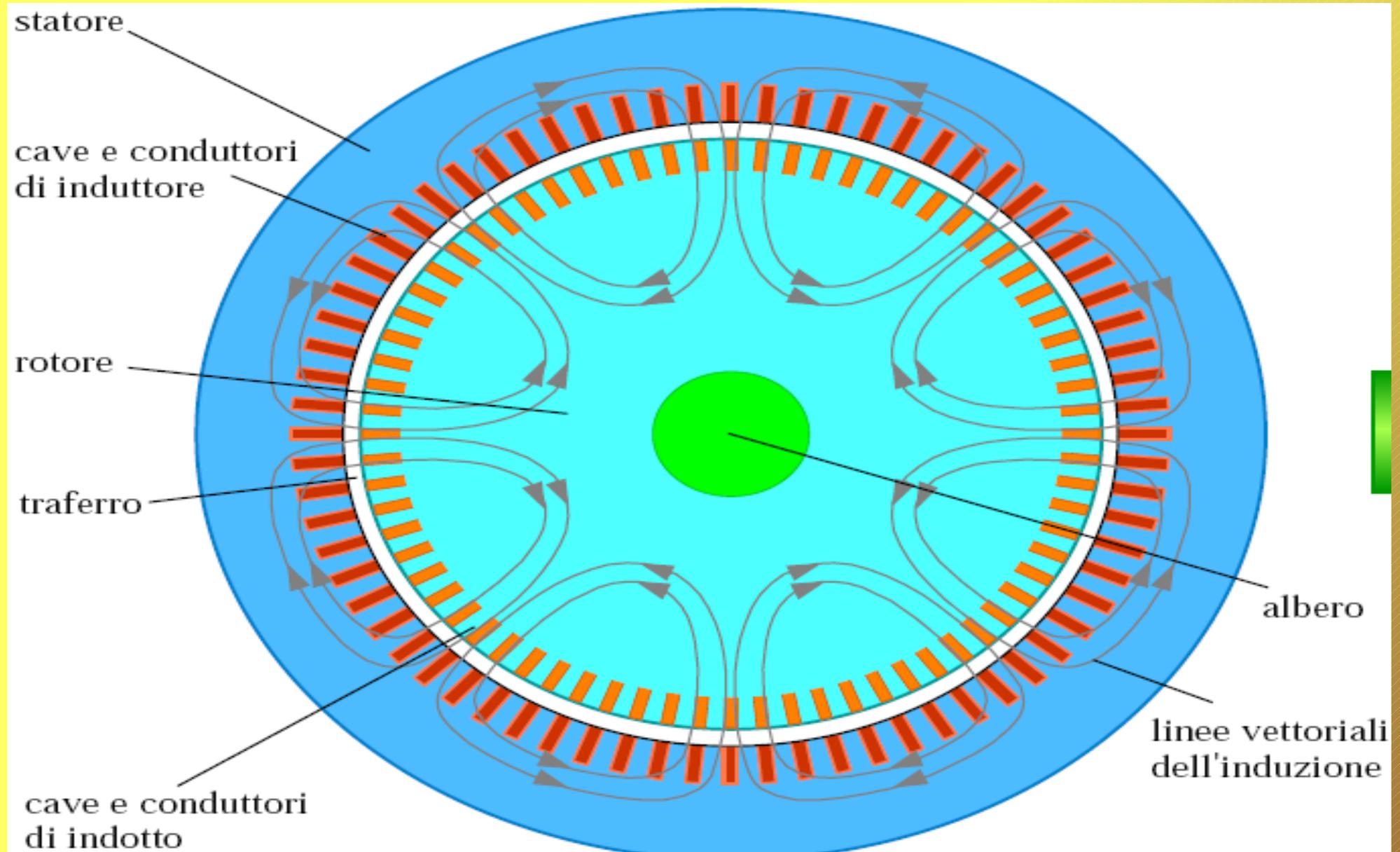
Alette di raffreddamento

Asse orizzontale, supporti a cavalletto, raffreddamento a circuito aperto

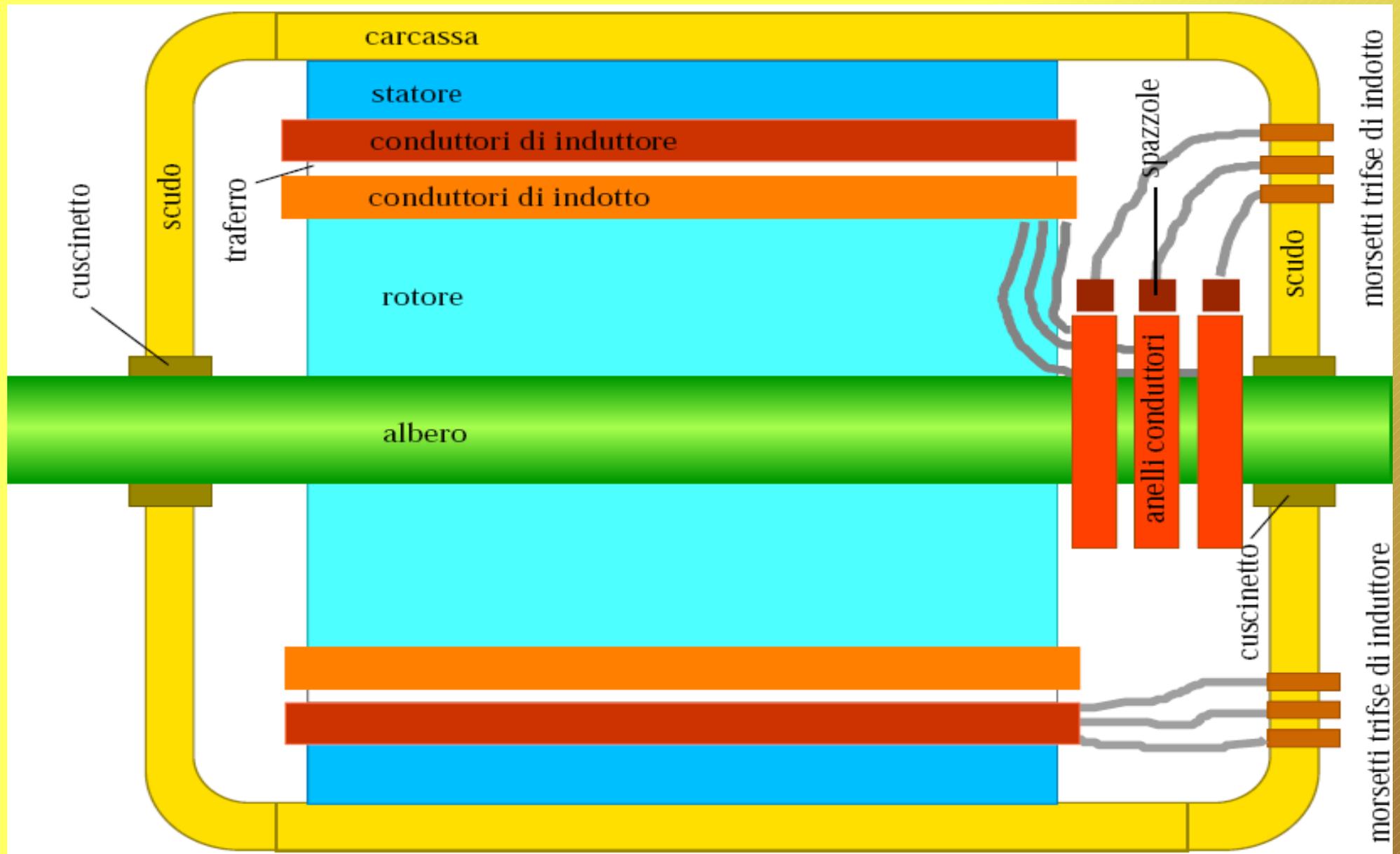
Cenni costruttivi: motore ad asse verticale



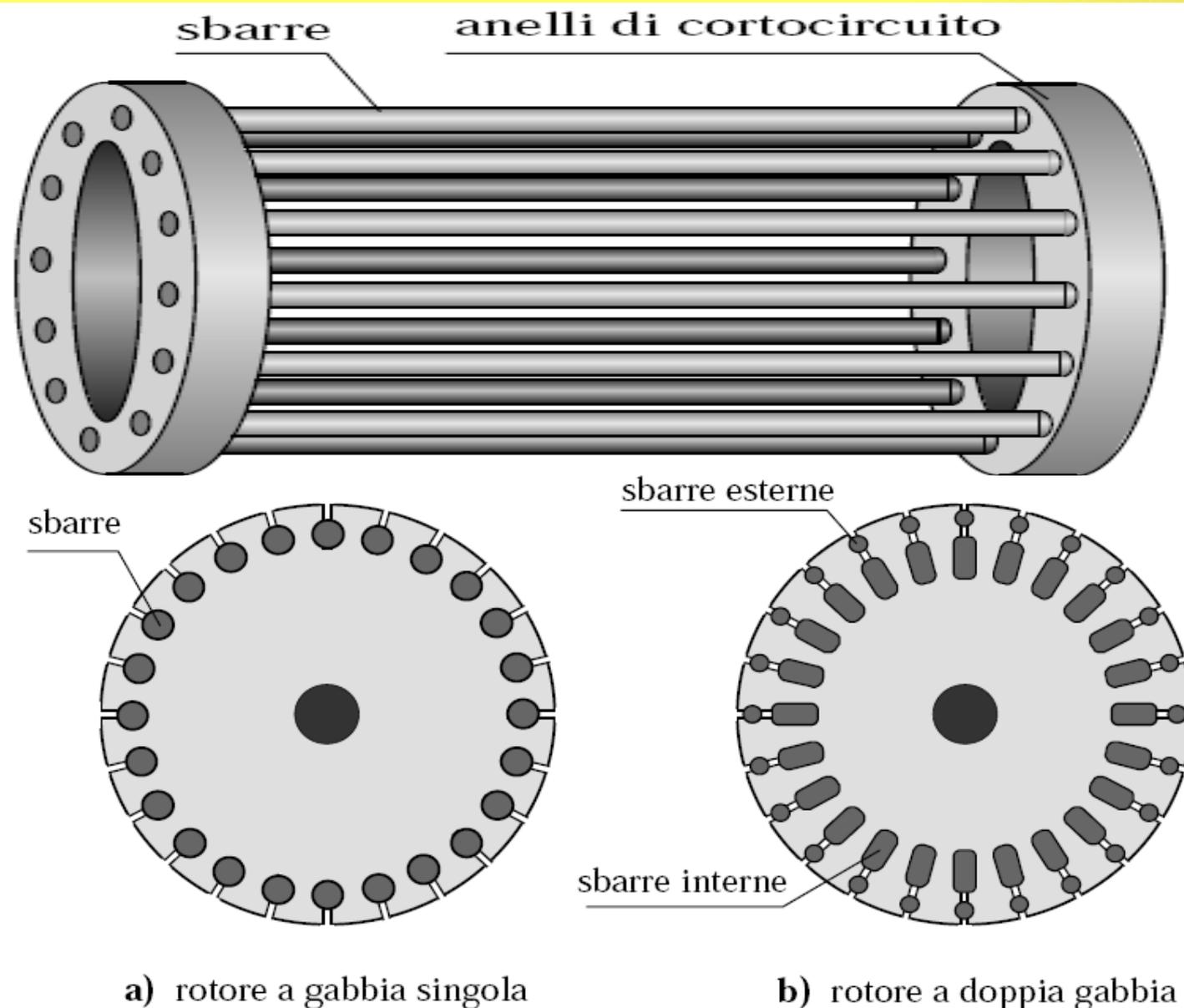
Cenni costruttivi: struttura del nucleo magnetico (sezione trasversale)



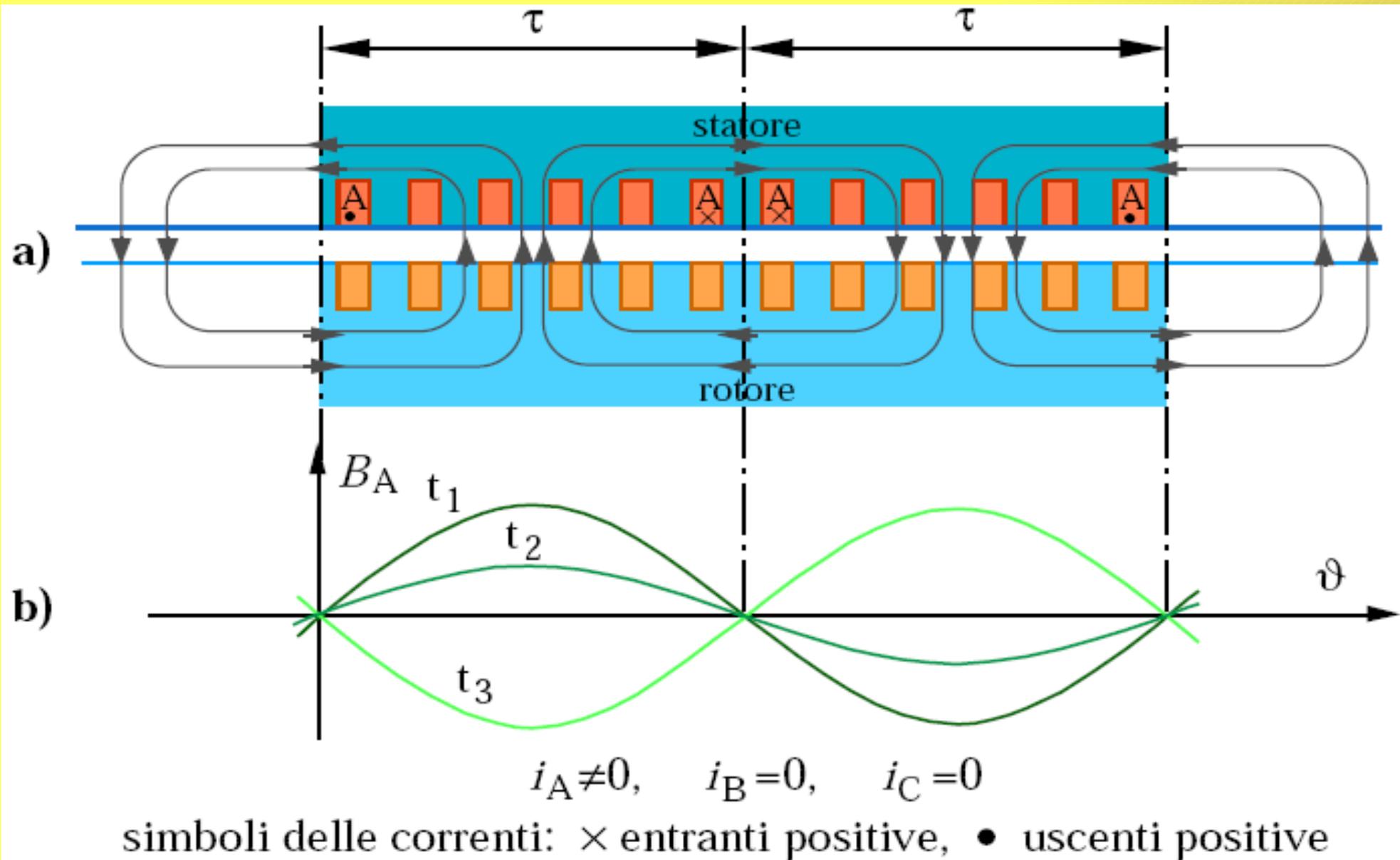
Cenni costruttivi: struttura portante e nucleo magnetico (sezione longitudinale)



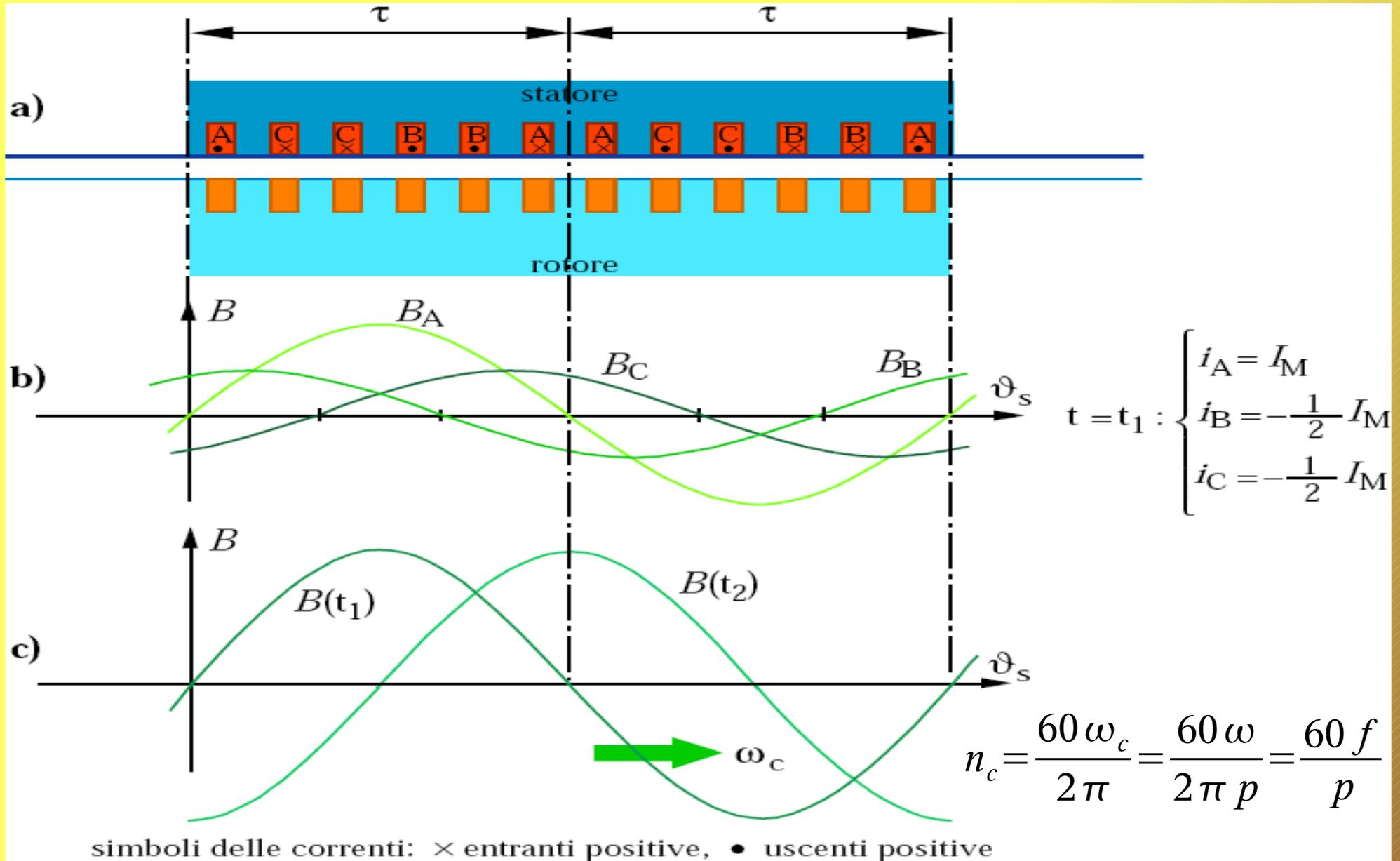
Cenni costruttivi: rotore a gabbia di scoiattolo (a singola e a doppia gabbia)



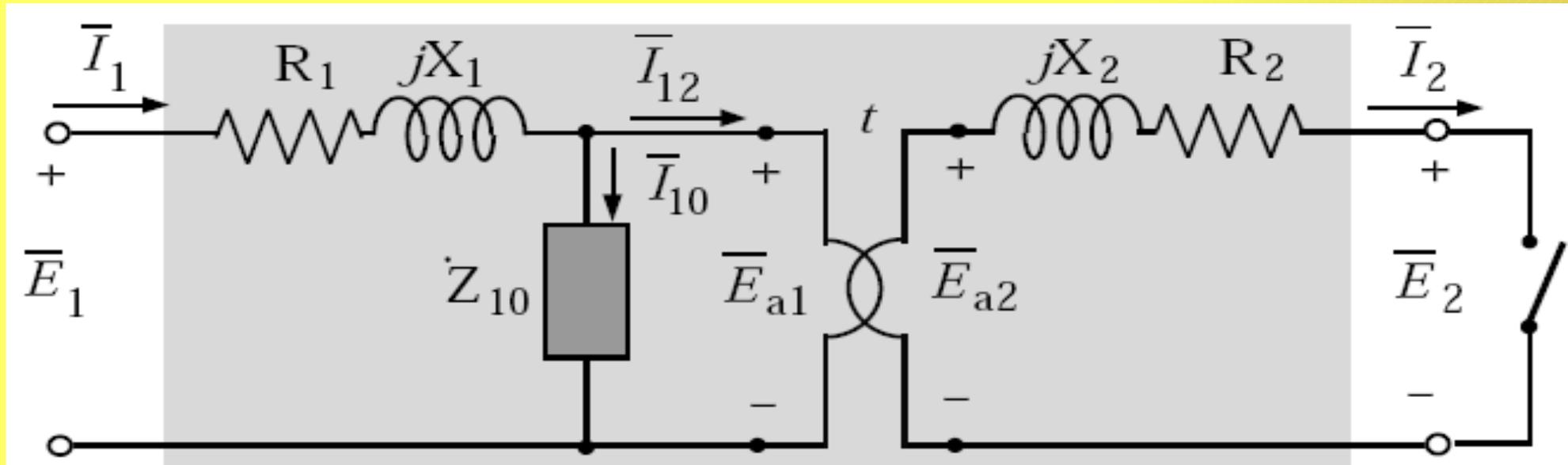
Campo magnetico pulsante



Campo magnetico rotante



Rotore bloccato: indotto aperto



$$E_{a1} = 2k_{a1}k_f N_1 \Phi f \quad E_{a2} = 2k_{a2}k_f N_2 \Phi f \quad t = \frac{m_1 E_{a1}}{m_2 E_{a2}} = \frac{m_1 k_{a1} N_1}{m_2 k_{a2} N_2}$$

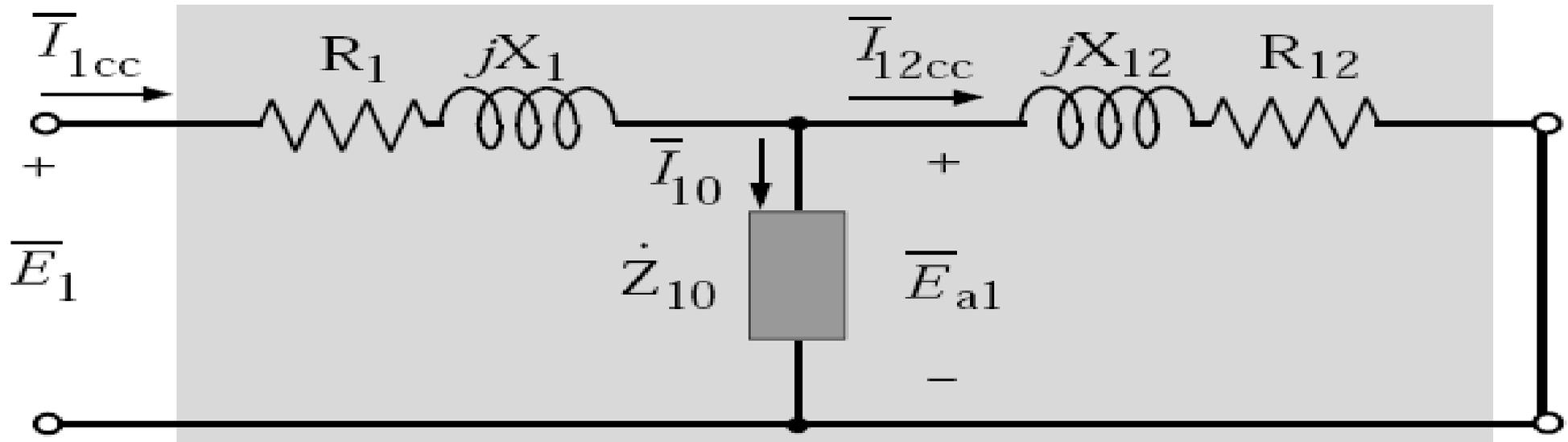
Per l'avvolgimento a gabbia: $N_2 = 1$ $k_{a2} = 1$ ed $m_2 = \frac{N_s}{p}$

A vuoto $\bar{I}_2 = 0$ da cui segue $\bar{I}_{12} = \frac{\bar{I}_2}{t} = 0$

Pertanto si ha $\bar{I}_1 = \bar{I}_{10}$ e quindi $\bar{E}_1 = \bar{E}_{a1} + (R_1 + jX_1)\bar{I}_{10}$

Rotore bloccato: indotto chiuso in corto circuito

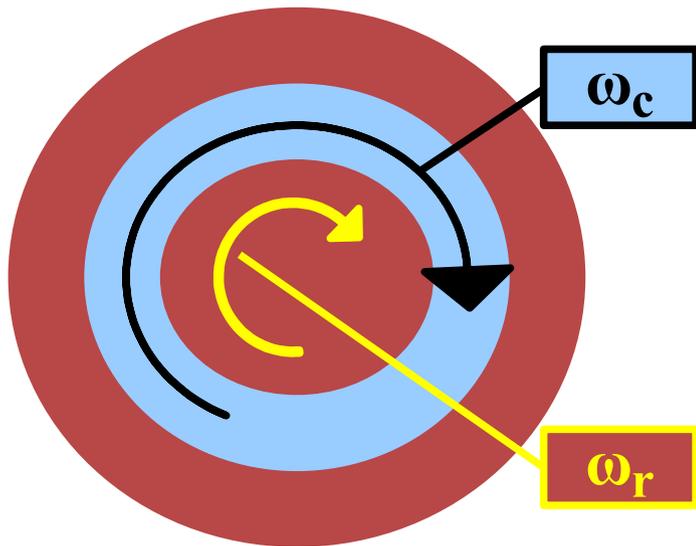
$$I_{2cc}^- = \frac{\bar{E}_{a2}}{R_2 + jX_2} \quad I_{1cc}^- = \bar{I}_{10} + I_{12cc}^- = I_{10} + \frac{1}{t} I_{2cc}^- \quad \bar{E}_1 = \bar{E}_{a1} + (R_1 + jX_1) I_{1cc}^-$$



Riportando al primario $R_{12} = t^2 R_2$ e $X_{12} = t^2 X_2$ si ha

$$I_{12cc}^- = \frac{\bar{E}_{a1}}{R_{12} + jX_{12}} \quad I_{1cc}^- = \bar{I}_{10} + I_{12cc}^- \quad \bar{E}_1 = \bar{E}_{a1} + (R_1 + jX_1) I_{1cc}^-$$

Funzionamento a carico: lo scorrimento



$$s = \frac{\omega_c - \omega_r}{\omega_c} = \frac{\frac{60}{2\pi}(\omega_c - \omega_r)}{\frac{60}{2\pi}\omega_c} = \frac{n_c - n_r}{n_c}$$

$$n_r = n_c(1 - s) \quad \omega_r = \omega_c(1 - s) = \frac{\omega}{p}(1 - s)$$

$$\omega_c - \omega_r = s\omega_c \quad f_s = s f$$

$$\bar{E}_{a2s} = s \bar{E}_{a2} \quad X_{2s} = s X_2$$

con rotore bloccato $n_r = 0 - s = 1$

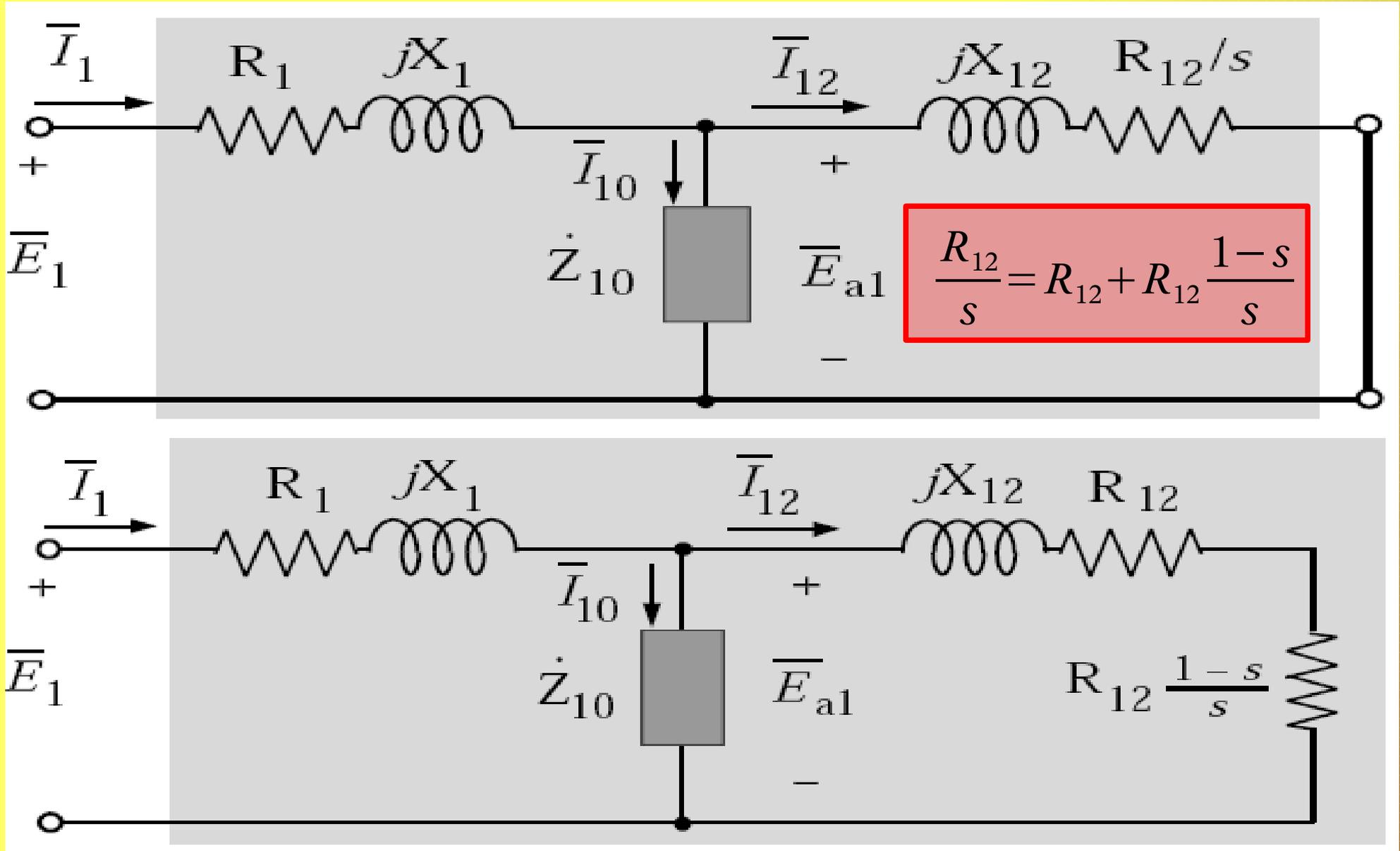
al sincronismo $n_r = n_c - s = 0$

$$\bar{I}_{2s} = \frac{E_{a2s}}{R_2 + jX_{2s}}$$

$$\bar{I}_{2s} = \frac{s E_{a2}}{R_2 + jsX_2} = \frac{E_{a2}}{\frac{R_2}{s} + jX_2}$$

$$\bar{I}_{1cc} = \bar{I}_{10} + \bar{I}_{12} = \bar{I}_{10} + \frac{\bar{I}_2}{t}$$

Funzionamento a carico: circuiti equivalenti



Funzionamento a carico: potenza, coppia e rendimento

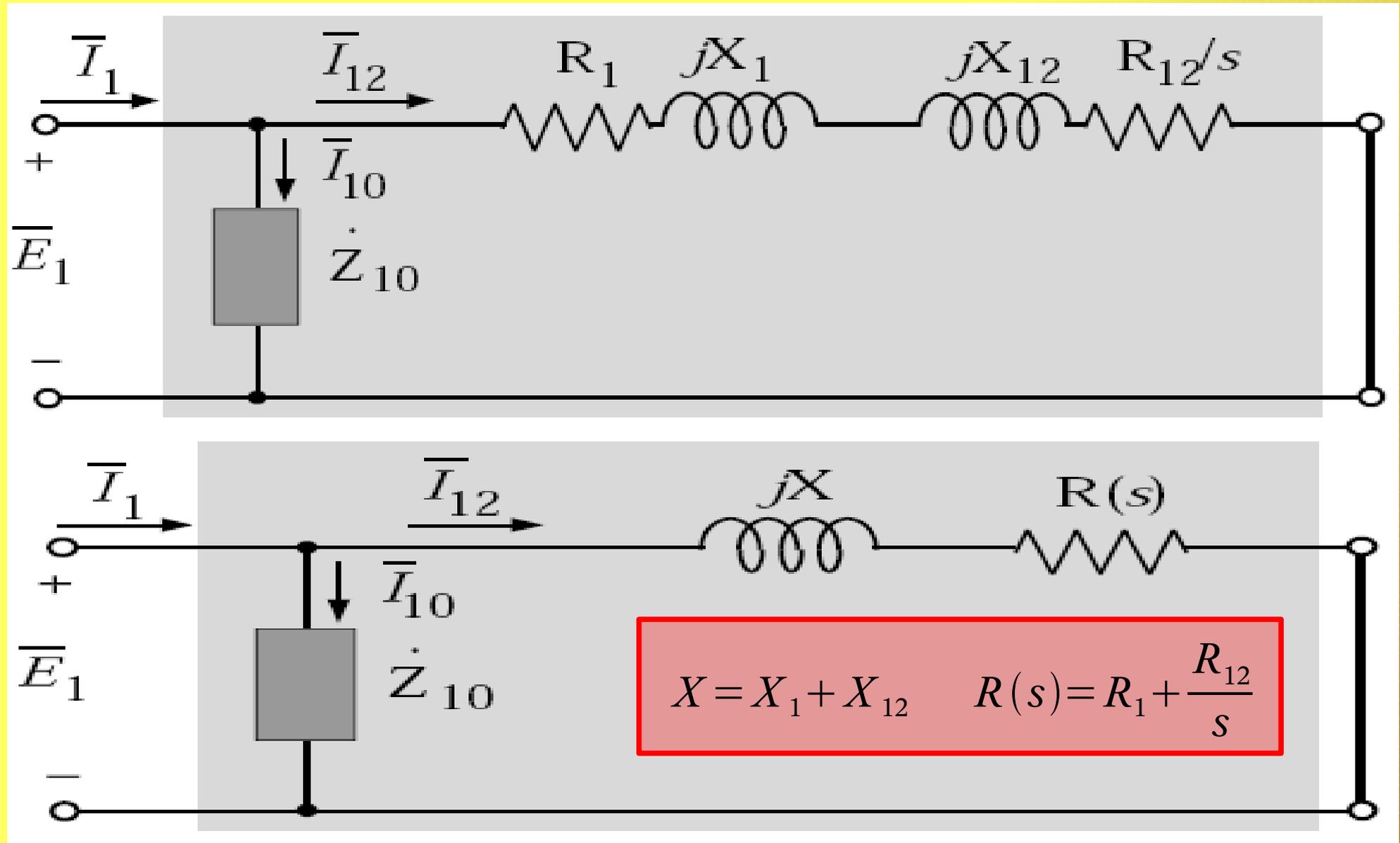
Potenza trasferita al rotore $P_r = 3 \frac{R_{12}}{s} I_{12}^2 = 3 R_{12} I_{12}^2 + 3 R_{12s} I_{12}^2$

Potenza trasferita all'asse $P_m = 3 R_{12s} I_{12}^2 = 3 R_{12} \frac{1-s}{s} I_{12}^2 = 3 R_2 \frac{1-s}{s} I_2^2$

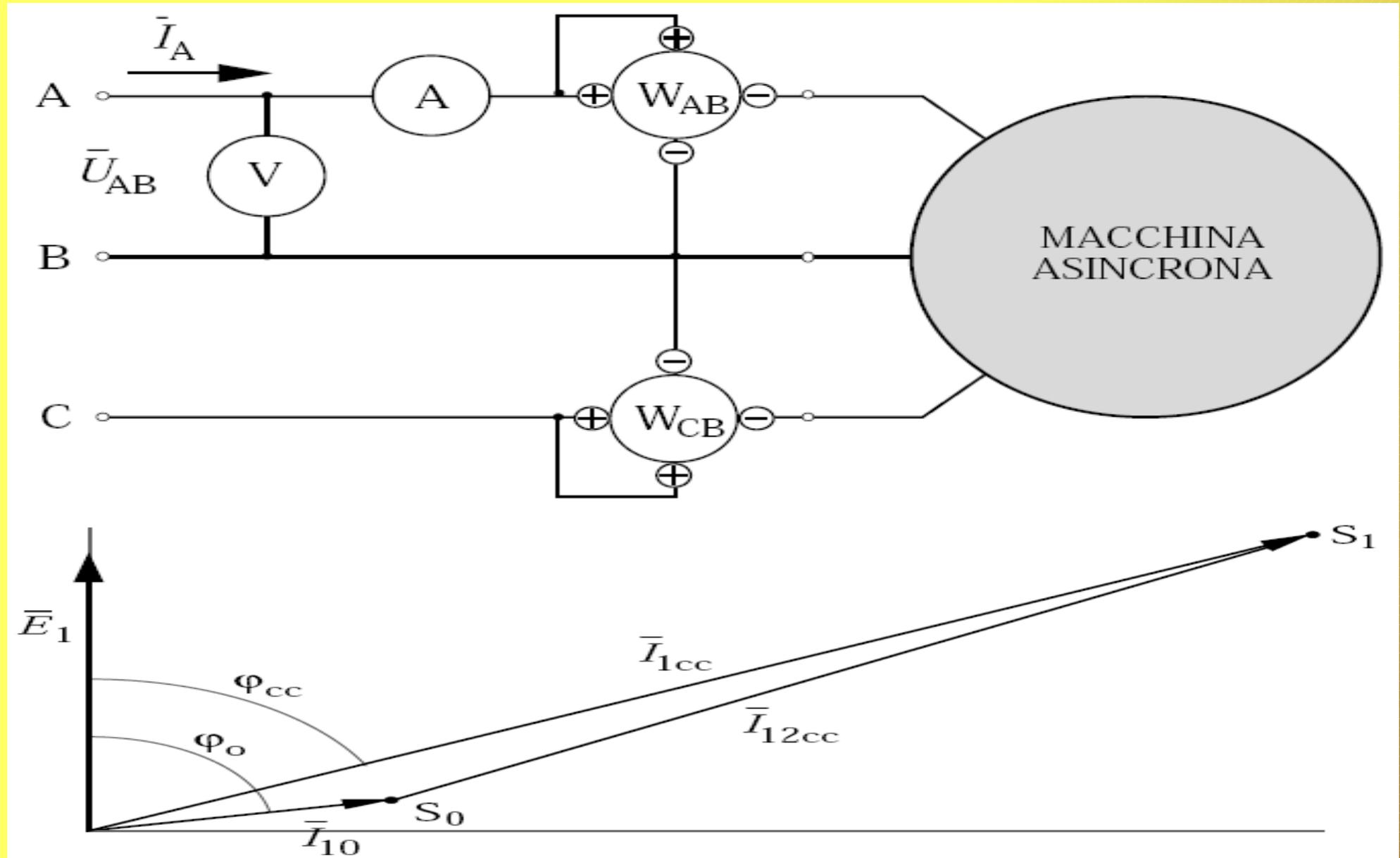
Coppia elettromeccanica $C = \frac{P_m}{\omega_r} = \frac{3 R_2 \frac{1-s}{s} I_2^2}{\frac{\omega}{p}(1-s)} = \frac{p}{\omega} \frac{3 R_2 I_2^2}{s} = \frac{p}{\omega} P_r$

Rendimento $\eta = \frac{P_u}{P_a} = \frac{P_{mecc}}{P_{mecc} + \sum P_{diss}}$

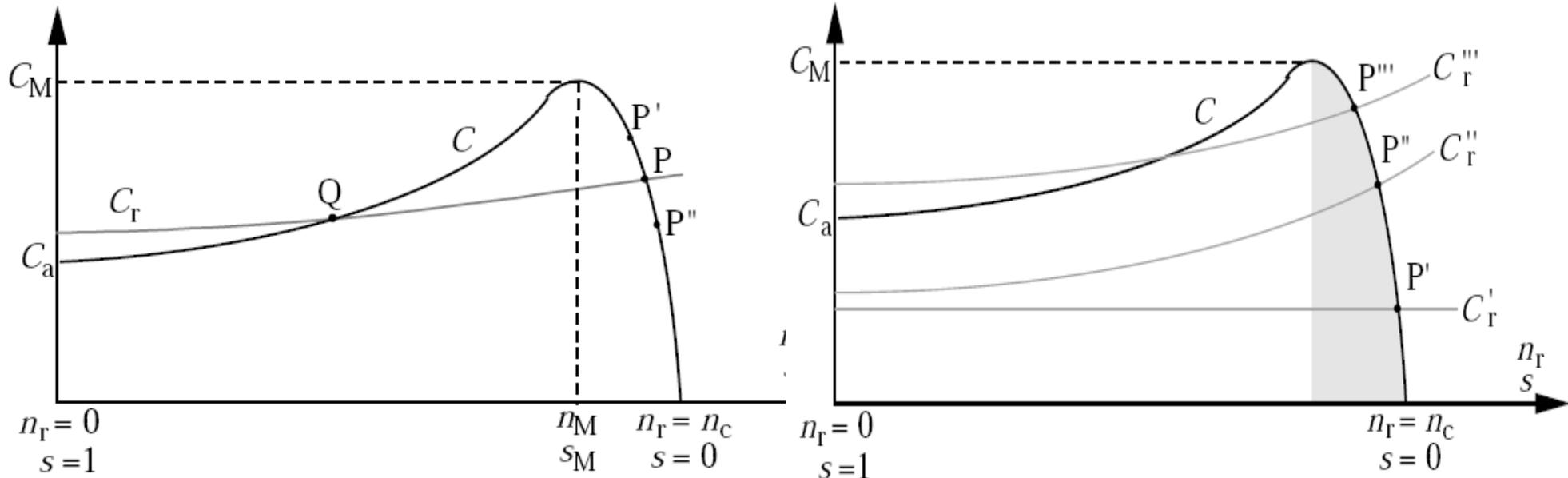
Funzionamento a carico: circuiti equivalenti semplificati



Prova a vuoto ($s=0$) ed in c.to c.to ($s=1$): determinazione dei parametri



Caratteristica meccanica e stabilità di funzionamento

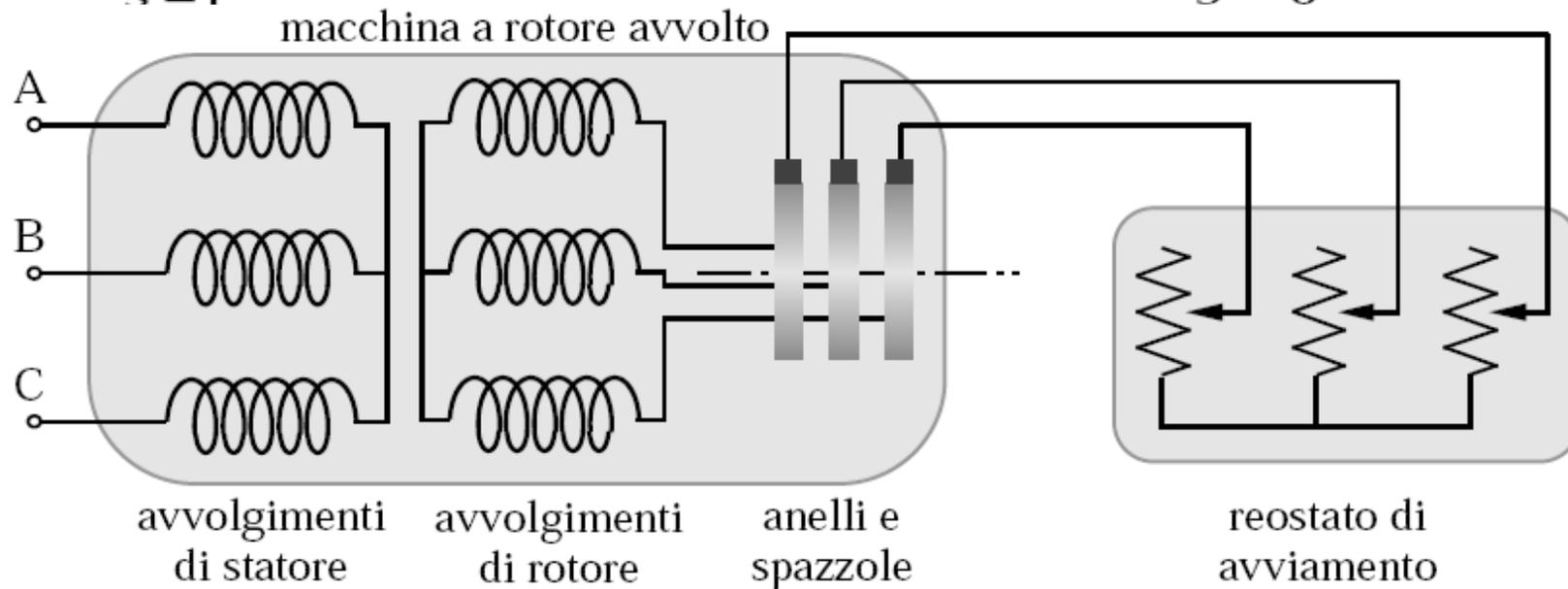
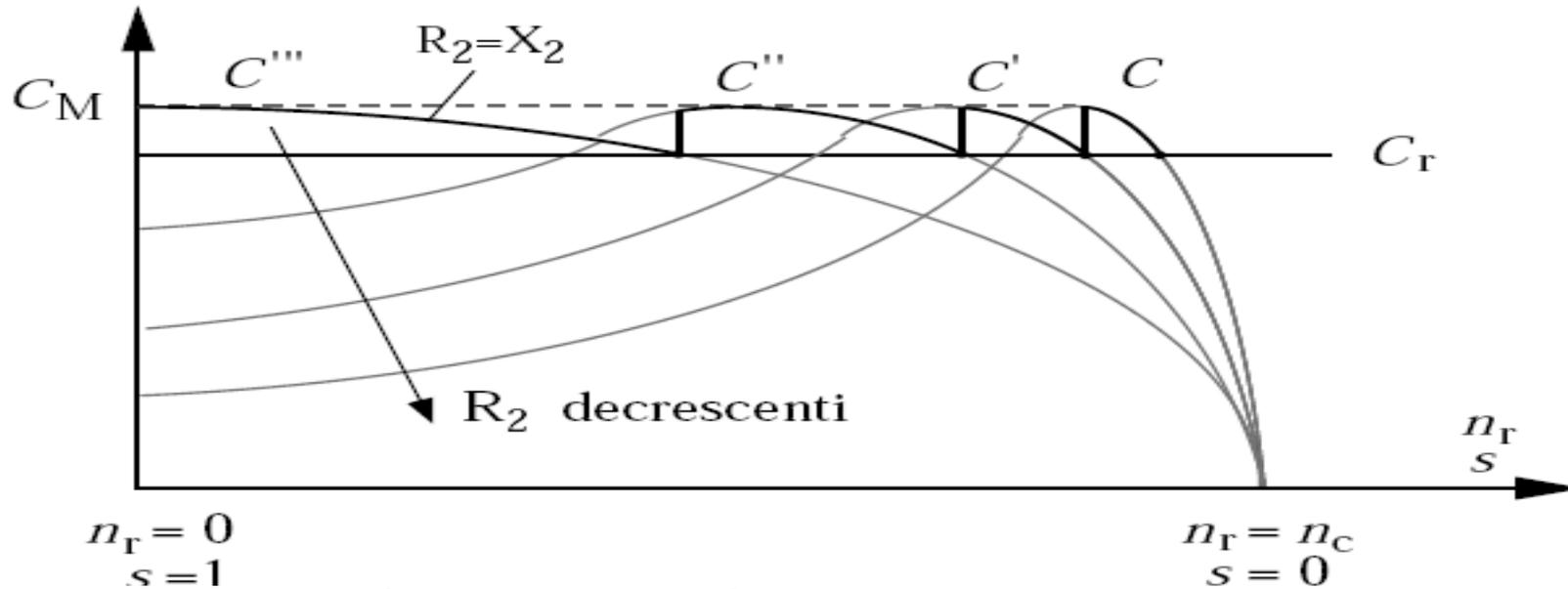


$$C(s) = \frac{p}{\omega} \frac{3 R_2 I_2^2}{s} = \frac{3 p s R_2 E_{a2}^2}{\omega (R_2^2 + s^2 X_2^2)} = \frac{3 p E_{a2}^2}{\omega} \frac{s R_2}{R_2^2 + s^2 X_2^2}$$

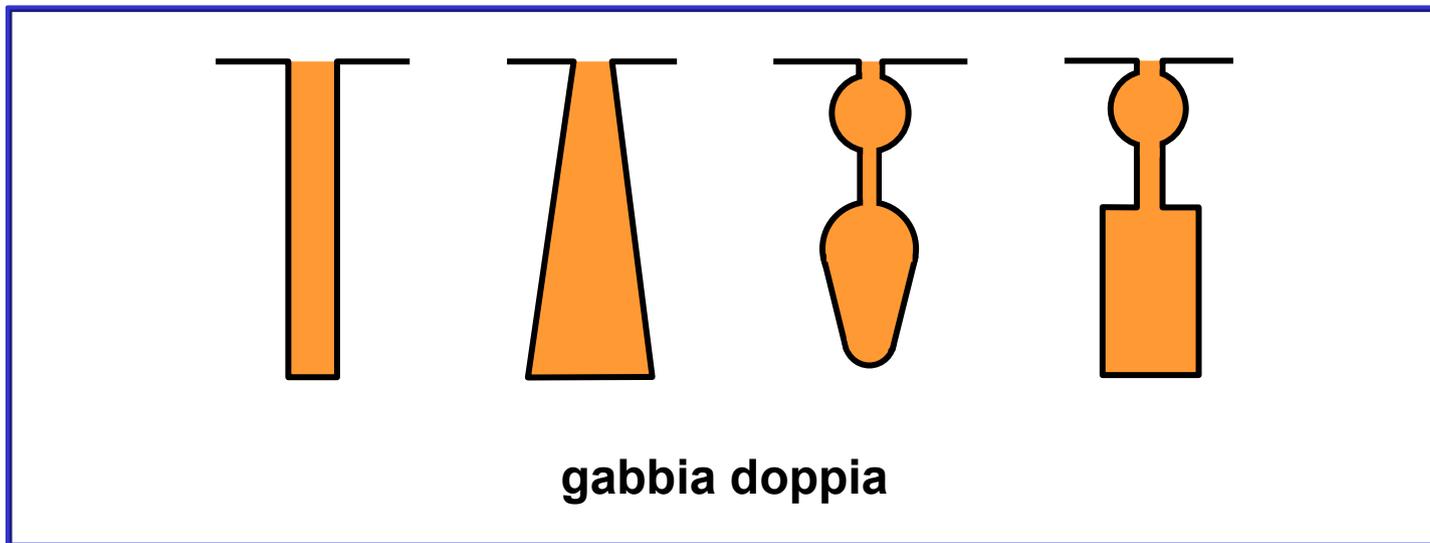
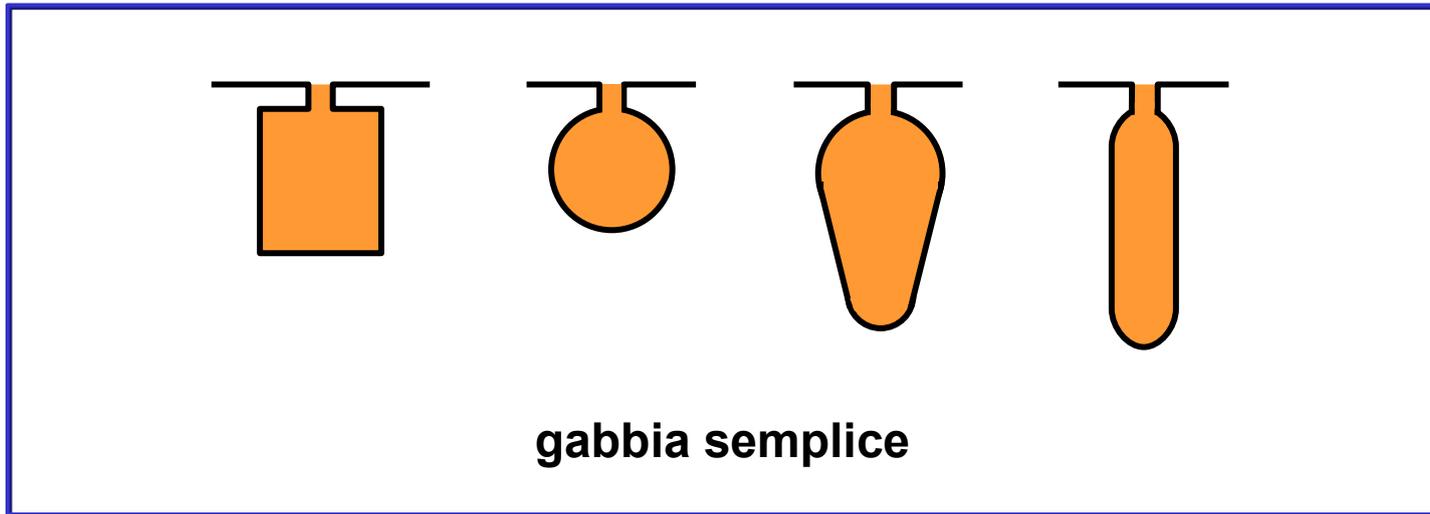
Coppia di spunto ($s=1$) $C_a = \frac{3 p E_{a2}^2}{\omega} \frac{R_2}{R_2^2 + X_2^2}$

$$\frac{dC(s)}{ds} = 0 \quad s_M = \frac{R_2}{X_2} \quad C_M = \frac{3 p E_{a2}^2}{\omega} \frac{1}{2 X_2^2} \quad n_M = n_c (1 - s_M) = n_c \left(1 - \frac{R_2}{X_2}\right)$$

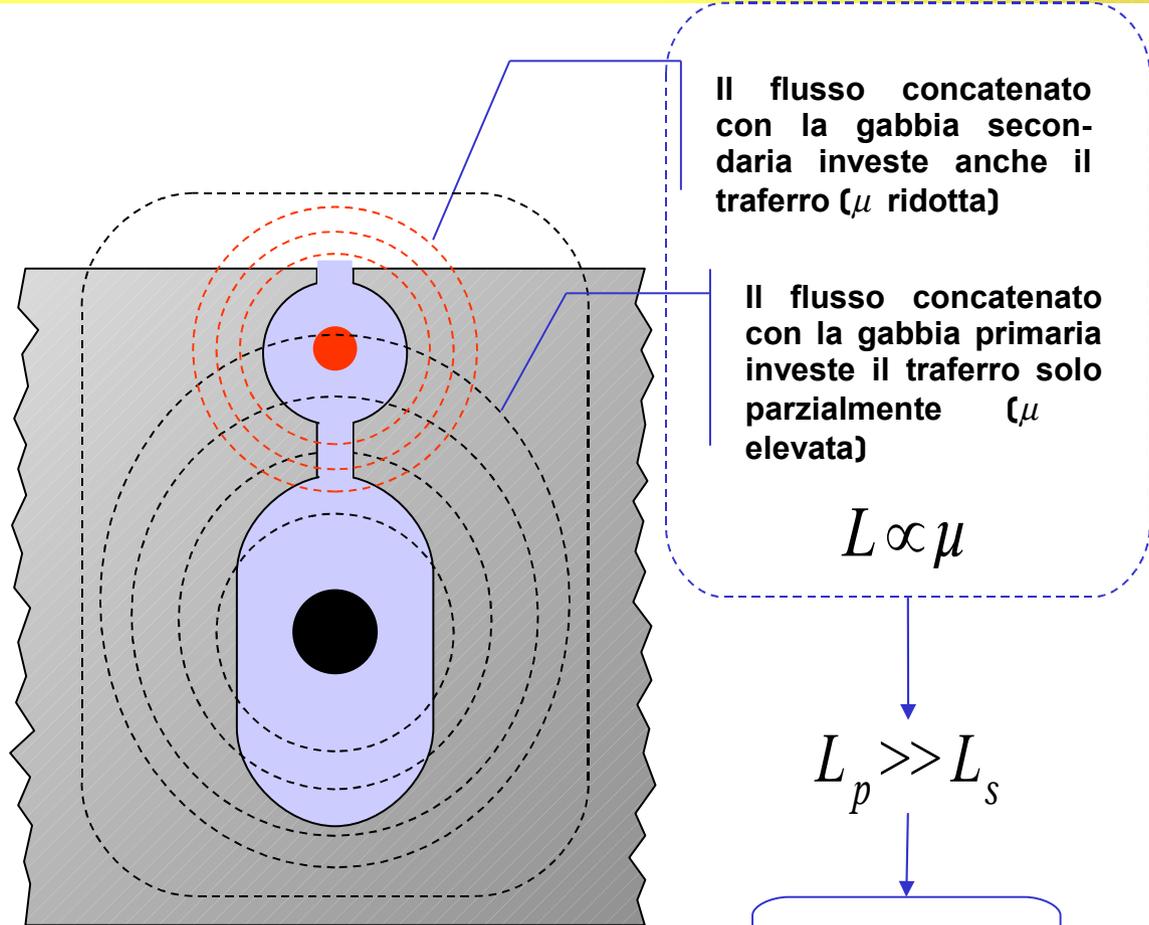
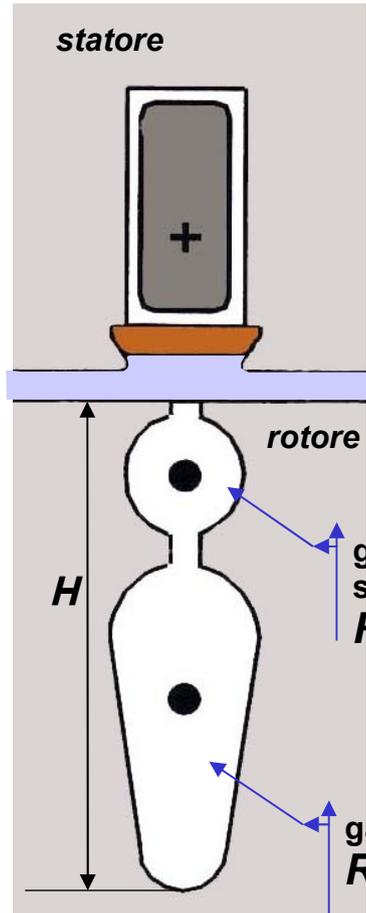
Avviamento motore: macchina a rotore avvolto (avviamento reostatico)



Avviamento motore: macchina con rotore a gabbia semplice o doppia



Avviamento motore: macchina con rotore a doppia gabbia



Il flusso concatenato con la gabbia secondaria investe anche il traferro (μ ridotta)

Il flusso concatenato con la gabbia primaria investe il traferro solo parzialmente (μ elevata)

$$L \propto \mu$$

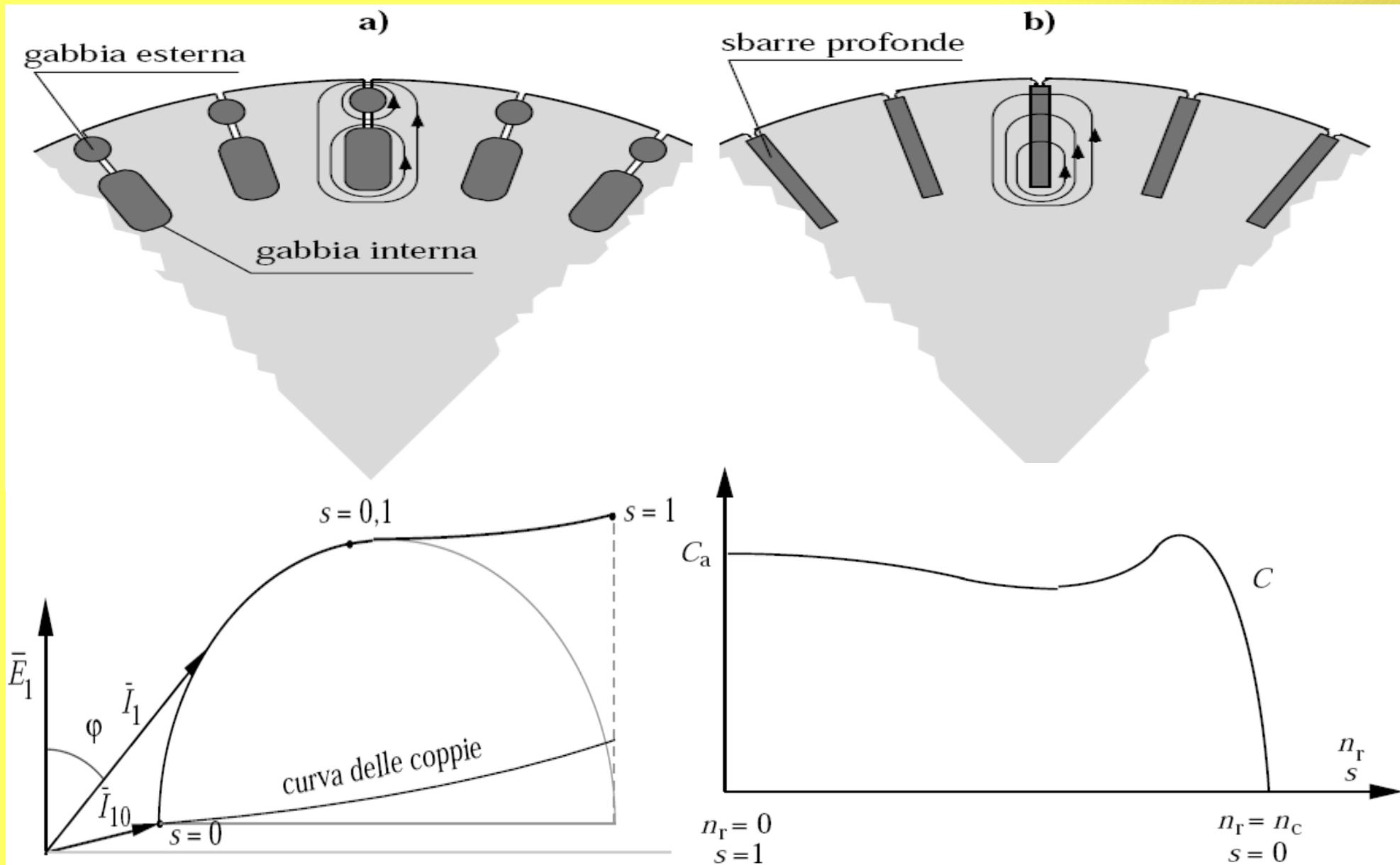
$$L_p \gg L_s$$

$$X_p \gg X_s$$

resistenza di rotore R_2 alla frequenza di rotore f_2 (R_{2dc} = resistenza di rotore in continua)

$$\rightarrow R_2(f_2) = R_{2dc} \left(1 + k \frac{f_2^2 h^4}{\rho^2} \right)$$

Avviamento motore: caratteristica macchina con rotore a doppia gabbia



Avviamento stella-triangolo (Y/Δ)

Regolazione della velocità

Il motore progettato per lavorare con gli avvolgimenti collegati a Δ (i.e. con una tensione imposta sugli pari alla tensione concatenata dell'impianto, U) viene avviato con gli avvolgimenti collegati a Y (quindi soggetti ad una tensione pari alla tensione di fase, $E=U/\sqrt{3}$) le correnti negli avvolgimenti si riducono quindi di un fattore $\sqrt{3}$, mentre le correnti di linea di $1/3$, le potenze e la coppia (proporzionali al quadrato della tensione) si riducono anche esse di $1/3$. **L'avviamento Y/Δ quindi è possibile solo quando non è richiesta una coppia di avviamento elevata.**

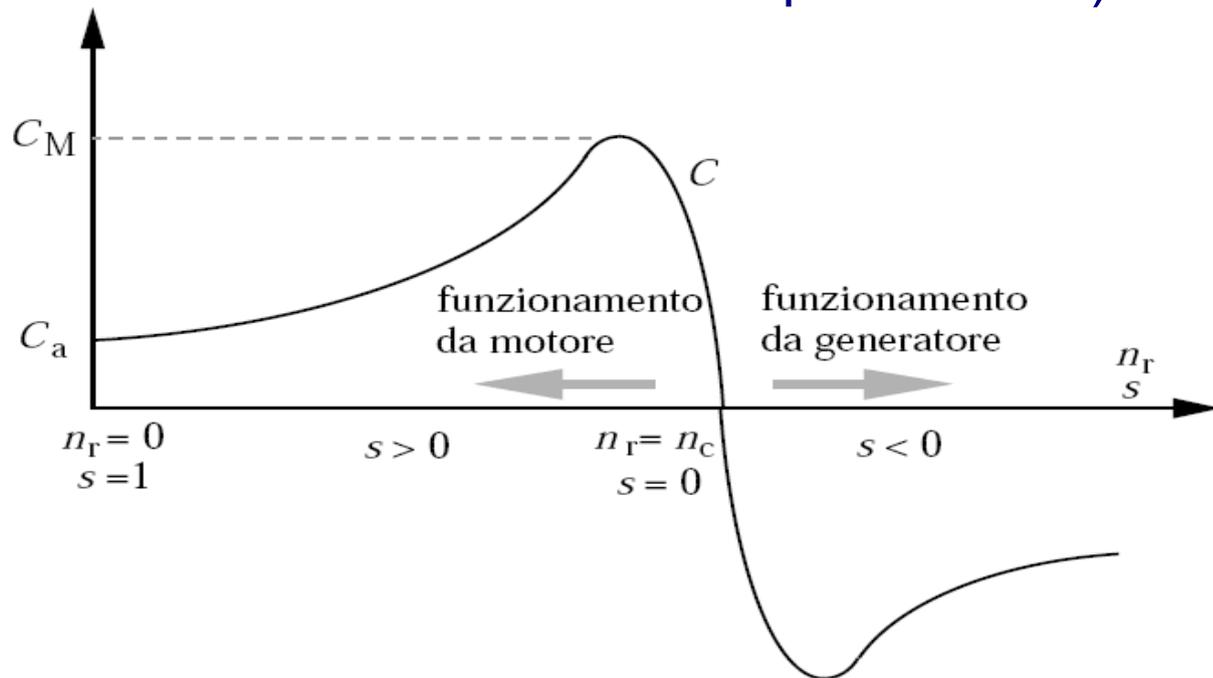
$$n_r = n_c(1 - s) = 60 \frac{f}{p} (1 - s)$$

- **Variazione dello scorrimento**
- **Variazione delle frequenza**
- **Variazione del numero dei poli**
- **Inversione del verso di rotazione**

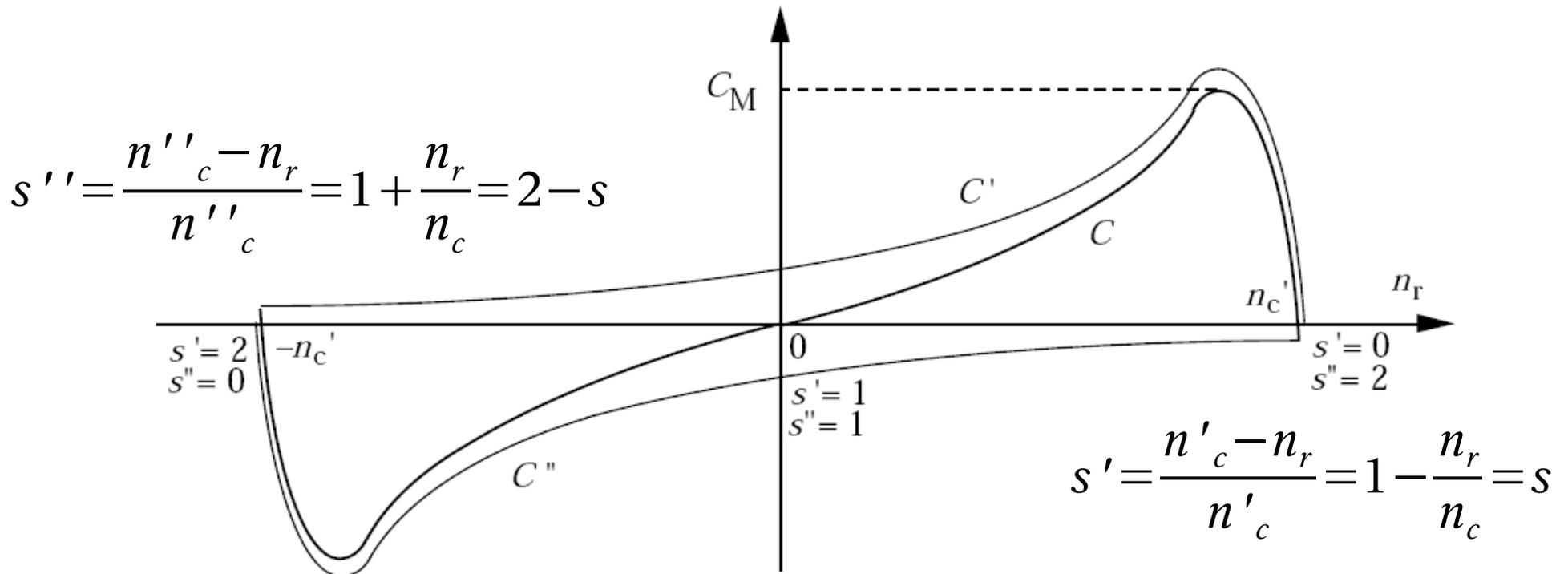
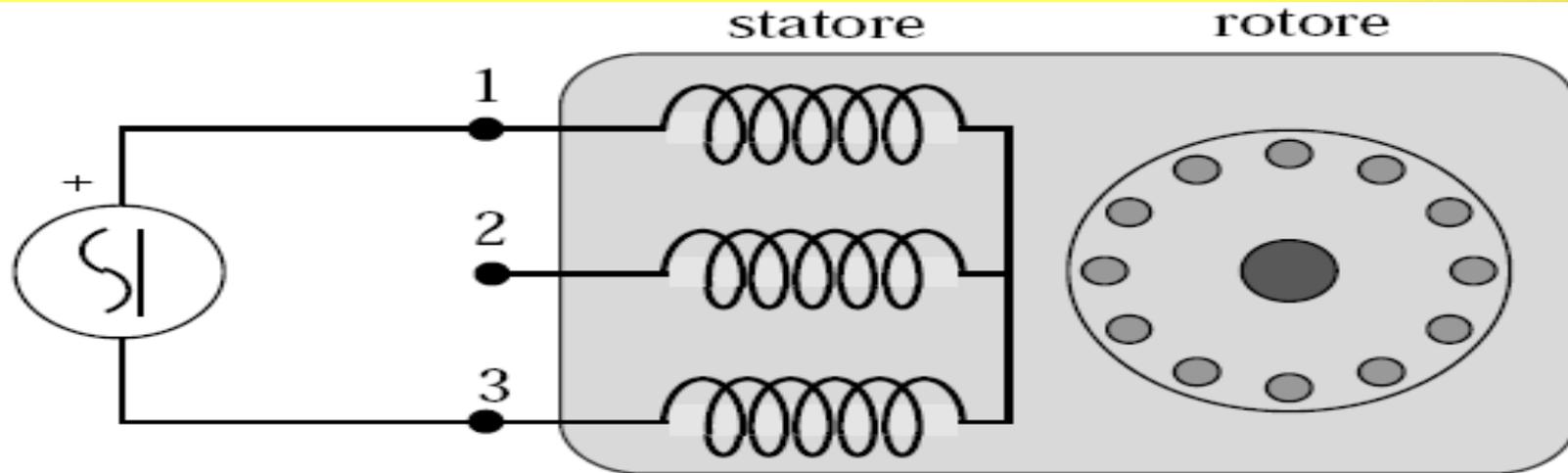
Generatore asincrono

I generatori asincroni trovano applicazione nel campo dell'autoproduzione (prevalentemente eolica), per potenze comunque limitate, grazie anche alle loro caratteristiche di economicità, affidabilità e semplicità di esercizio. I generatori asincroni:

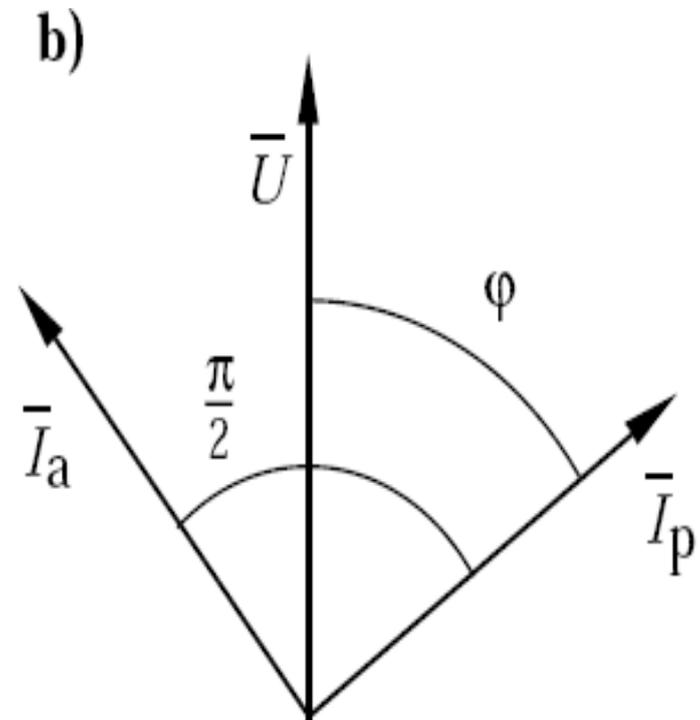
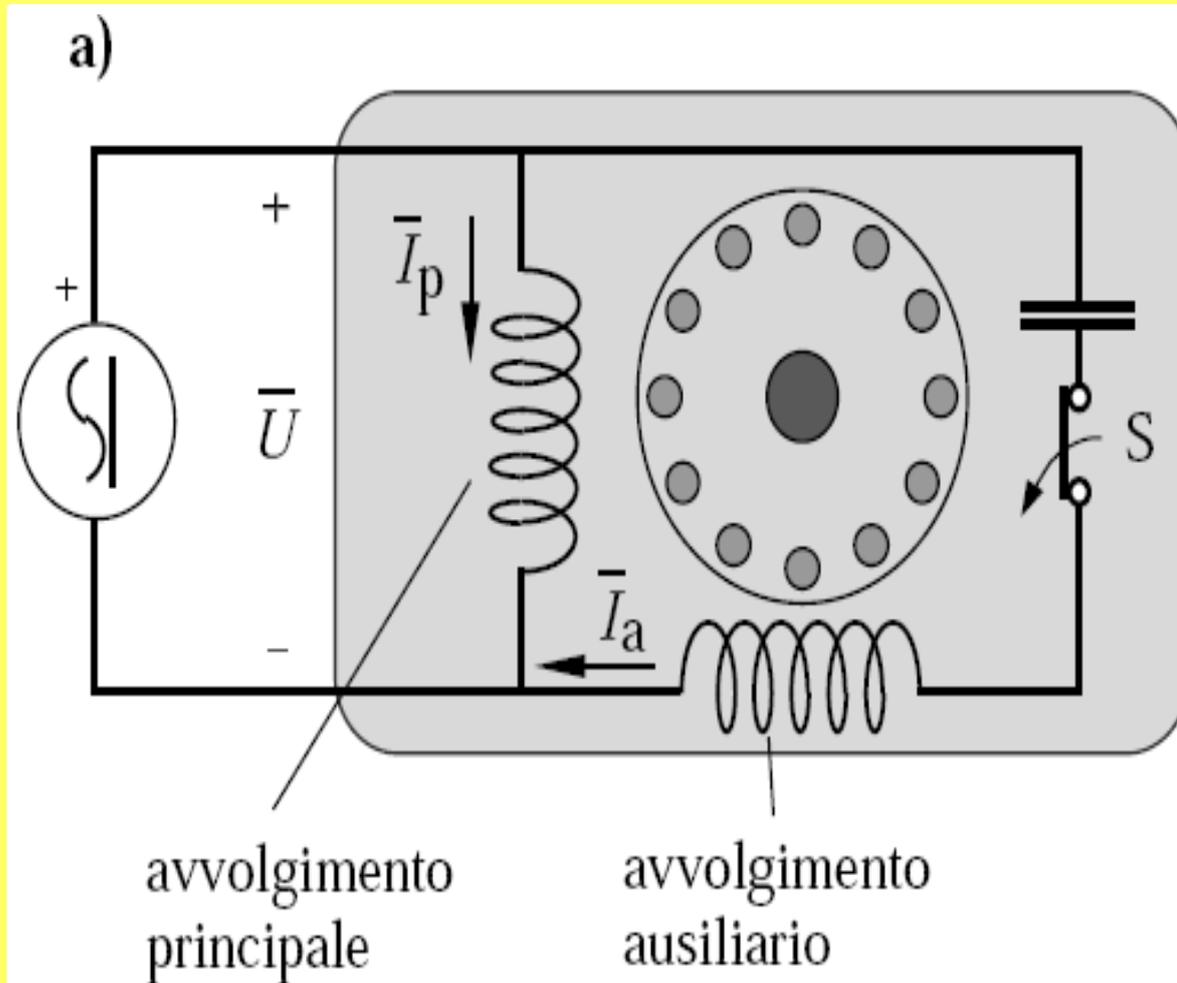
- 1) non possono funzionare in modo indipendente da una rete alimentata da generatori sincroni;
- 2) forniscono solo potenza attiva alla frequenza e tensione imposte dalle rete (qualunque sia la velocità di rotazione del rotore purché $s < 0$) ed assorbono potenza reattiva;
- 3) non necessitano di particolari regolazioni sul motore primo dalla cui velocità dipende solo l'energia immessa in rete;
- 4) hanno una corrente di c.to c.to che si annulla rapidamente.



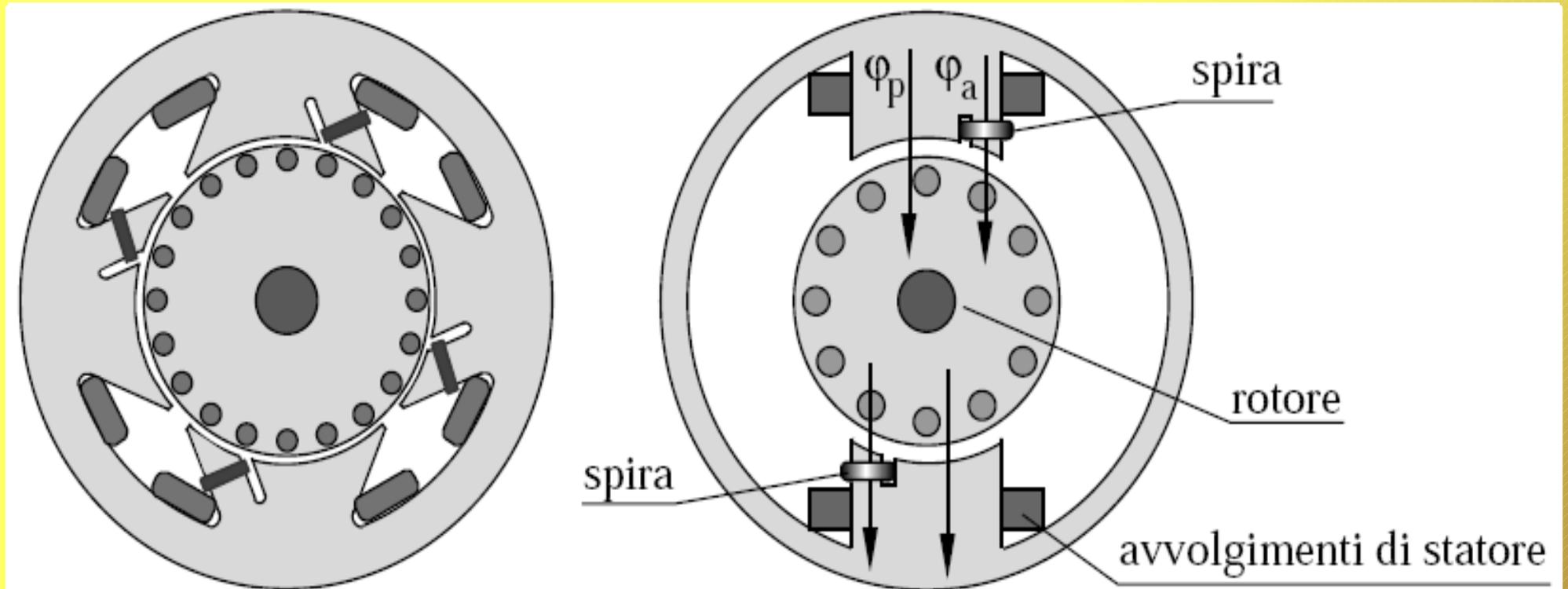
Motore asincrono monofase



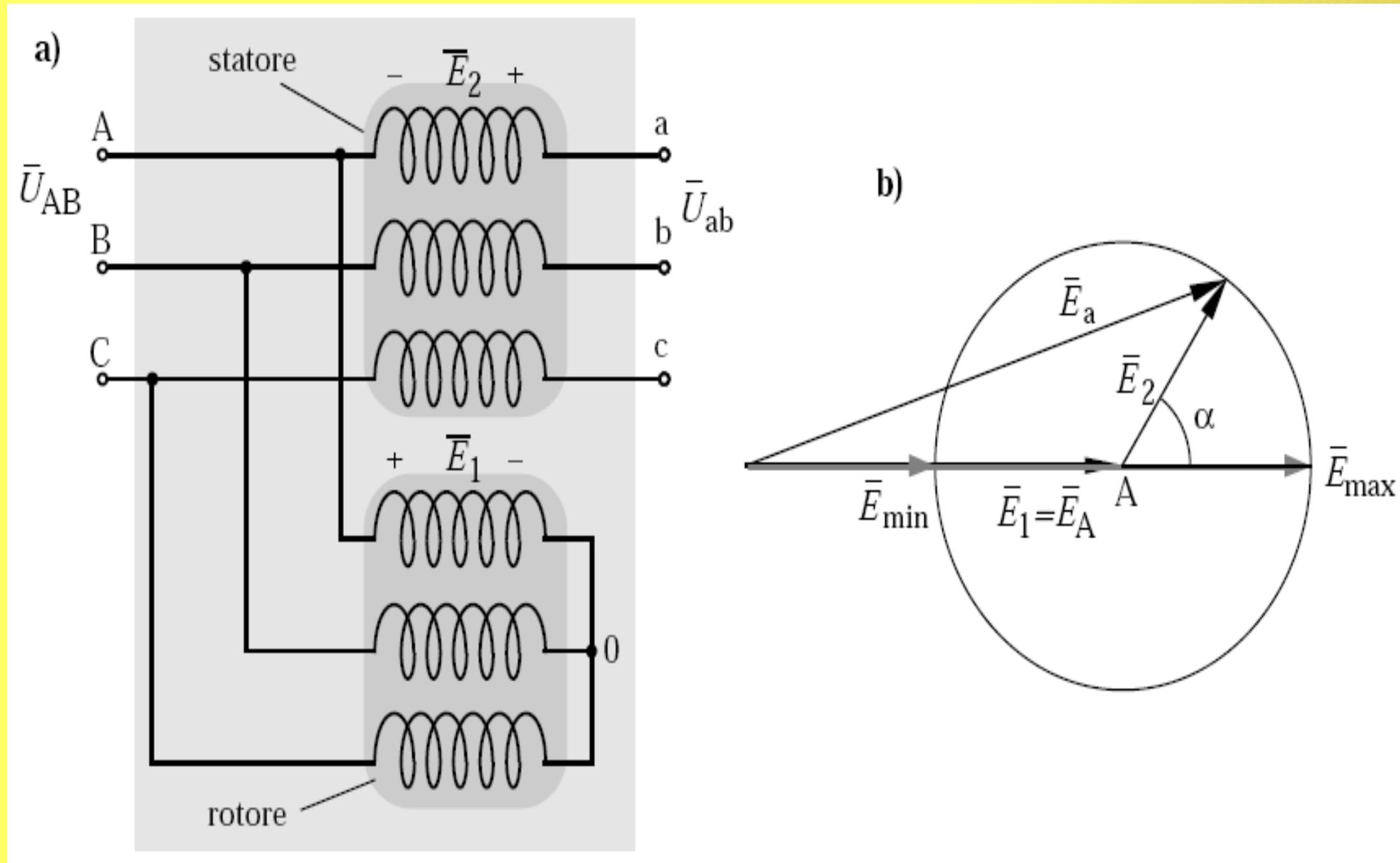
Motore a condensatore



Motori a poli schermati



Regolatore di tensione ad induzione



Parametri costruttivi di una macchina asincrone

- **Tipo e modo di raffreddamento**
- **Livello di protezione**
- **Eventuali caratteristiche antideflagranti**
- **Numero delle fasi e collegamento**
- **Potenza nominale e tipo di servizio**
- **Tensione di alimentazione**
- **Perdite e rendimento**
- **Corrente nominale**
- **Fattore di potenza a corrente nominale**
- **Corrente a vuoto**

Valori medi dei principali parametri di motori asincroni

P_n [kW]	n_n [giri/min]	I_n [A]	$\frac{I_{avv}}{I_n}$	$\cos\varphi_n$	$P_{mecc} + P_{fe}$ %	i_0 %	P_{cu} %	V_{cc} %	C_n [Nm]	$\frac{C_{avv}}{C_n}$	$\frac{C_{max}}{C_n}$	η %
0,55	1400	1,5	5	0,8	20	75	20	20	3,7	2,3	1,7	71
1,1	1400	2,8	5	0,81	10	60	11	19	7,5	2	2,3	75
3	1410	7	6	0,83	7	50	15	18	20	2,3	2,5	80
11	2935	22,5	6,5	0,84	6	35	10	15	36	2	2,5	87
75	1480	142	6,3	0,86	2,6	28	4,3	17	485	2,4	2,4	93
200	1485	370	6,8	0,87	4	22	3,2	15	1300	2	2,5	93