Macchina asincrona

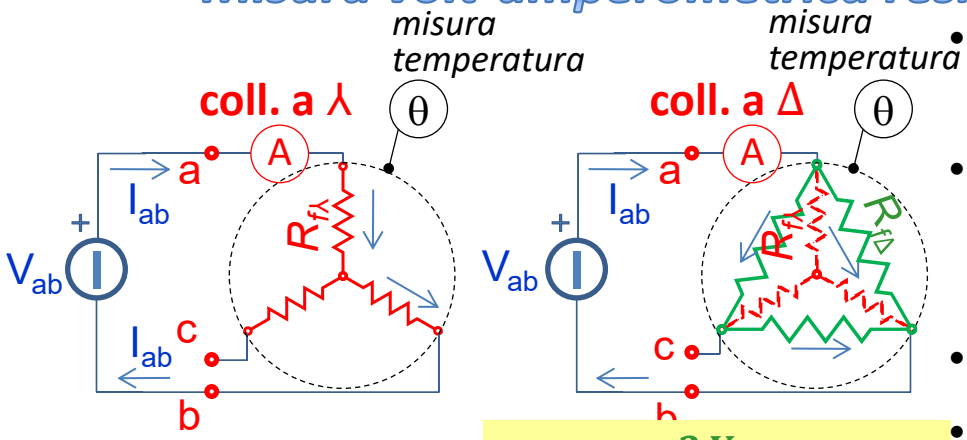
Parte	Argomenti
1	Generalità Principio di funzionamento Circuito equivalente
2	Caratteristica meccanica Grandezze nominali
3	Determinazione dei parametri del circuito equivalente Macchine con rotore a gabbia speciale
4	Regolazione della velocità

Determinazione parametri (collaudo)

- **SI FA RIFERIMENTO AL CIRCUITO EQUIVALENTE A STELLA**
- Si eseguono **tre prove**

1) prova **senza carico meccanico** (prova a vuoto)
2) prova a **rotore bloccato** (prova in corto circuito)
3) misura della resistenza R_1 di una fase di statore (di rotore se di tipo avvolto)

Misura volt-amperometrica resistenza



$$R_{f\lambda}(\theta) = \frac{V_{ab}}{2I_{ab}} = \frac{R_{ab}}{2}$$

$$R_{f\Delta}(\theta) = \frac{3}{2}\frac{V_{ab}}{I_{ab}}$$

$$R_{f\lambda}(\theta) = \frac{1}{3}\cdot\frac{3}{2}\frac{V_{ab}}{I_{ab}} = \frac{R_{ab}}{2}$$

Resistenza di una fase (equivalente con collegamento a λ)

- Alimentazione **in continua** tra due morsetti di statore (tra due anelli con rotore di tipo avvolto)
- ***Per qualunque collegamento, R_1 (R_2 nel caso di rotore avvolto) si calcola considerando il collegamento a stella***
- **Statore (coll. a λ)** $\Rightarrow R_{1\lambda} = R_{ab}/2$
- **Rotore avvolto** $\Rightarrow R_{12\lambda} = t^2 R_{ab}/2$
- **Rotore a gabbia** $\Rightarrow$ impossibile misura diretta $\Rightarrow$ per via indiretta da R_1 e perdite ohmiche totali $P_{ep} \Rightarrow R=P_{ep}/(3\,I_{12}^2) \Rightarrow R_{12} = R-R_1$

Determinazione parametri (collaudo)

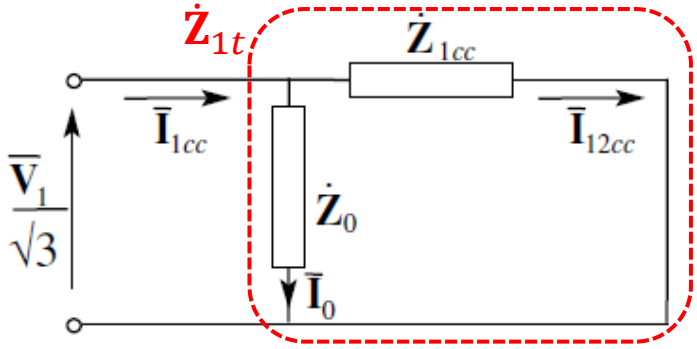
Prova a vuoto

- Alimentazione alla tensione nominale $\boldsymbol{V_{1n}}$ senza carico all'albero ($\mathbf{n \cong n_0}$, $s \cong 0$)
- Misura della **corrente $\mathbf{I_0}$** e della **potenza $\mathbf{P_0}$** ai morsetti $\Rightarrow \cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}V_{1n}I_0}$
- Calcolo dei parametri $Z_0 = \frac{V_{1n}}{\sqrt{3}I_0}$, $R_0 = V_{1n}^2/P_0 = Z_0/\cos\varphi_0$, $X_0 = Z_0/\sin\varphi_0$

Prova in cortocircuito (rotore bloccato)

- Alimentazione a **tensione ridotta** $\boldsymbol{V_1 = V_{1n}/k}$ ($k > 1 \Rightarrow$ limitazione corrente)
- Misura della **corrente** $\boldsymbol{I'_{1cc}}$ e della **potenza** $\boldsymbol{P'_{cc}}$ ai morsetti e riporto ai rispettivi valori nominali $\boldsymbol{I_{1cc} = k\, I'_{1cc}}$ **e** $\boldsymbol{P_{cc} = k^2 P'_{cc}} \Rightarrow \cos\varphi_{1cc} = \frac{P_{cc}}{\sqrt{3}V_{1n}I_{1cc}} = \frac{P'_{cc}}{\sqrt{3}V_1 I'_{1cc}}$
- Impedenza $\dot{\mathbf{Z}}_0$ **non trascurabile** $\Rightarrow \dot{\mathbf{Z}}_{1t} = \frac{V_1/\sqrt{3}}{I_{1cc}} e^{j\varphi_{1cc}} = \dot{\mathbf{Z}}_0 \dot{\mathbf{Z}}_{1cc}/(\dot{\mathbf{Z}}_0 + \dot{\mathbf{Z}}_{1cc})$

da misura — *incognita, si ricava da circuito*



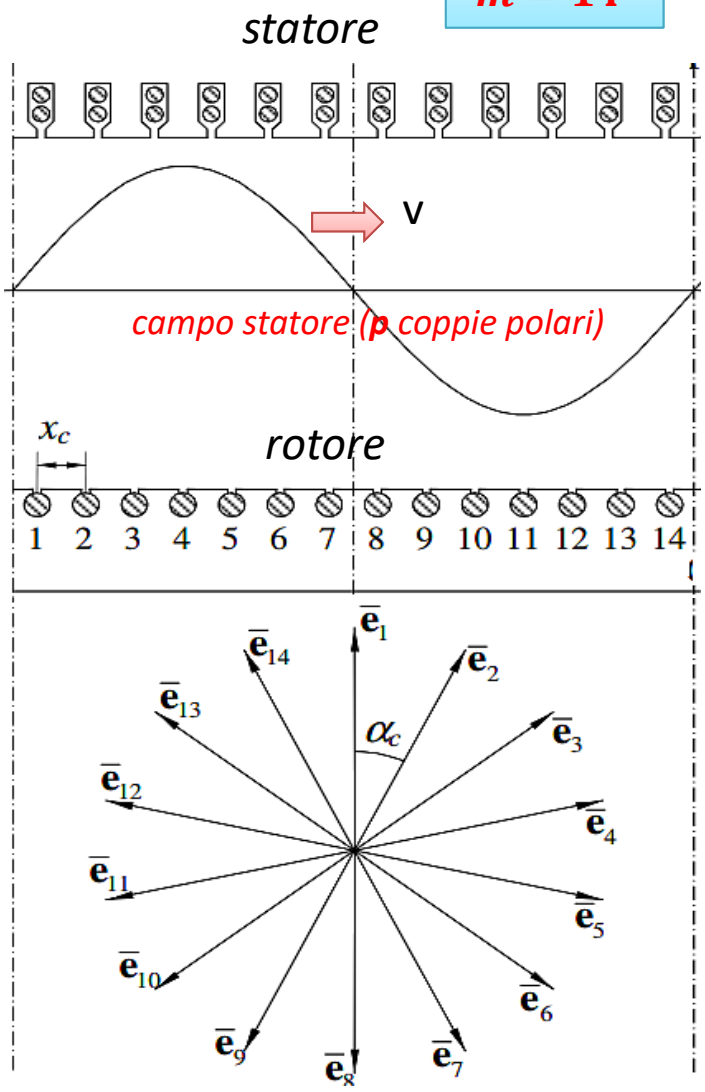
$$\frac{1}{\dot{\mathbf{Z}}_{1t}} = \frac{1}{\dot{\mathbf{Z}}_0} + \frac{1}{\dot{\mathbf{Z}}_{1cc}} \Rightarrow \frac{1}{\dot{\mathbf{Z}}_{1cc}} = \frac{1}{\dot{\mathbf{Z}}_{1t}} - \frac{1}{\dot{\mathbf{Z}}_0}$$

$$\dot{\mathbf{Z}}_{1cc} = (R_1 + R_{12}) + jX = 1/\left(\frac{1}{\dot{\mathbf{Z}}_{1t}} - \frac{1}{\dot{\mathbf{Z}}_0}\right)$$

Avvolgimento a gabbia

$N_r = 14$
$m = 14$

- N_r **sbarre** di rotore **cortocircuitate** alle estremità **da due anelli frontali** ⇒ **testate** dell'avvolgimento distribuito
- **Ipotesi di partenza**: presenza **di un solo anello**
  - p **sistemi polifase di tensioni indotte**
  - **una fase ≡ una sbarra** (n° fasi $m = N_r/p$=n° di sbarre sotto un passo polare), anello fa da centro stella
- Sbarre cortocircuitate da **entrambi gli anelli** ⇒ circola un **sistema equilibrato m-fase di correnti** ⇒ **campo rotante** con p coppie polari
- Parametri dell'avvolgimento **trifase equivalente a stella** K_2N_r, R_2, X_2 ricavati imponendo le stesse **f.m.m., potenza attiva e reattiva** di quelle messe in gioco dal sistema **m-fase di sbarre** di resistenza R e reattanza X (incluso il contributo degli anelli)

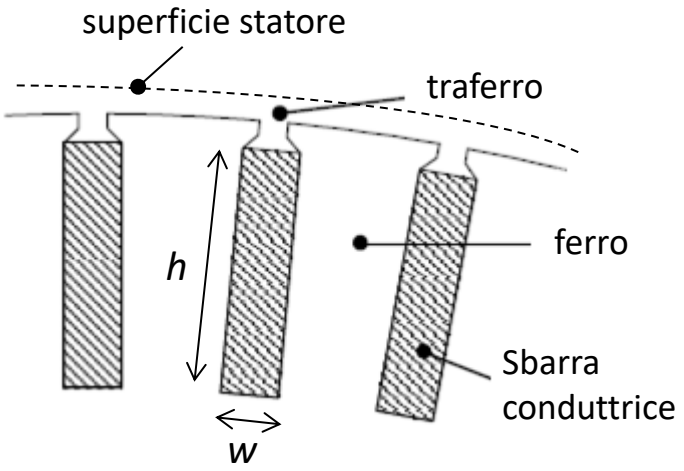


Importanza resistenza rotorica

*Resistenza di rotore auspicabilmente **variabile con la velocità** ⇒ alti valori all'**avviamento** (alta coppia e bassa corrente di spunto), bassi valori **a regime** (coppia maggiore a parità di scorrimento, alto rendimento)*

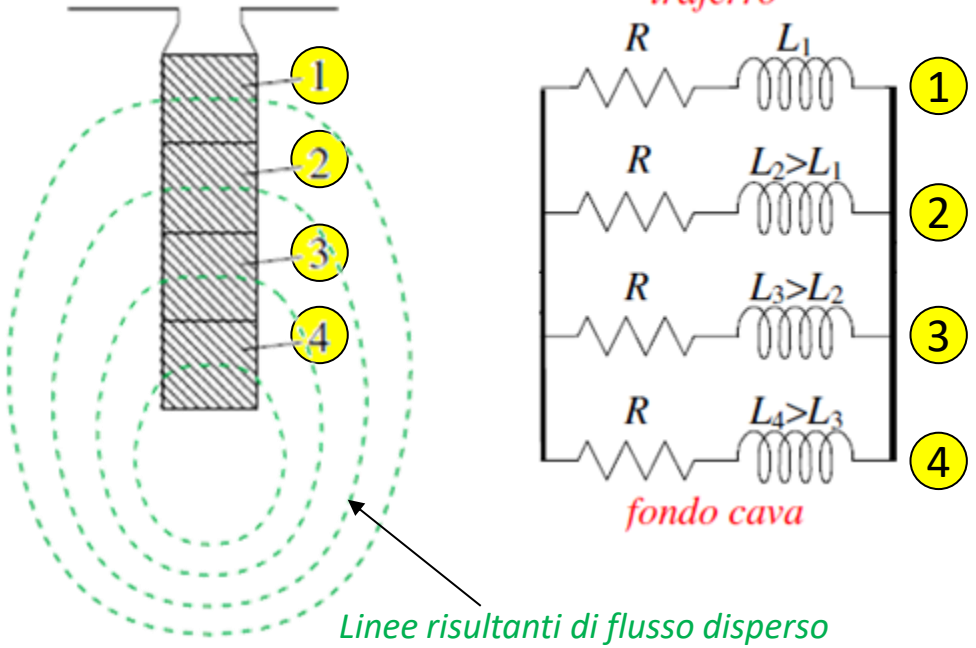
- **Rotore avvolto** → **reostato variabile esterno** connesso al rotore con contatti striscianti (variazione per passi o continua, problema alimentazione spazzole/anelli)
- **Rotore a gabbia semplice** → resistenza di rotore **costante e di piccolo valore** per non compromettere rendimento nel funzionamento a regime (basse prestazioni all'avviamento, semplicità e robustezza)
- **Rotore a gabbia speciale** → resistenza di rotore varia automaticamente con la velocità sfruttando l'effetto (diverso al variare della velocità) del **flusso di dispersione in cava sulla distribuzione della corrente nelle sbarre**
  - **Rotore a sbarre profonde**
  - **Rotore a doppia gabbia**

Rotore a sbarre profonde



- Sbarre di **sezione rettangolare** sviluppate prevalentemente nel ferro di rotore ($h >> w$)
- Suddivisione della sbarra in **sezioni uguali** ai fini dell'analisi della distribuzione della corrente ⇒ influenza dei valori **della resistenza e della reattanza di dispersione** associate a ogni sezione

- Suddivisione ideale in più parti di sezioni uguale **elettricamente in parallelo** → uguale resistenza ma **diversa induttanza** di dispersione
- Zone **più immerse** a induttanza più alta per la maggiore permeanza Λ incontrata dai tubi di flusso (riduzione della sezione mano che ci si avvicina al traferro)



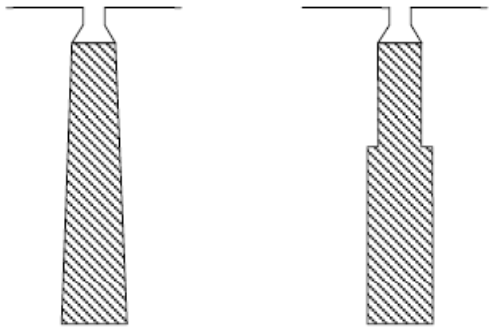
Rotore a sbarre profonde

Avviamento (s=1)

- Effetto reattanze $s\omega L$ prevalente su effetto resistenze per **l'alta frequenza di rotore** ⇒ distribuzione corrente nella sbarra **determinata dalla reattanza** delle sezioni in parallelo
- **Addensamento della corrente** nelle parti della sbarra a bassa reattanza cioè nelle **sezioni vicino al traferro** ⇒ come se ogni sbarra avesse sezione effettiva più piccola di quella reale ⇒ alta resistenza

Normali condizioni di funzionamento (s < 0.1)

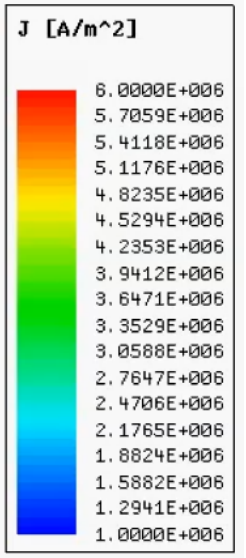
- Effetto resistenze prevale su effetto reattanze $s\omega L$ per **la bassa frequenza di rotore** ⇒ distribuzione corrente nella sbarra **determinata dalla resistenza** delle sezioni in parallelo
- Distribuzione **uniforme** della corrente su tutta la sezione ⇒ resistenza della sbarra **bassa e pari a quella reale**



Sbarre a larghezza non costante per accentuare il fenomeno

Rotore a sbarre profonde

Simulazione a corrente impressa sinusoidale

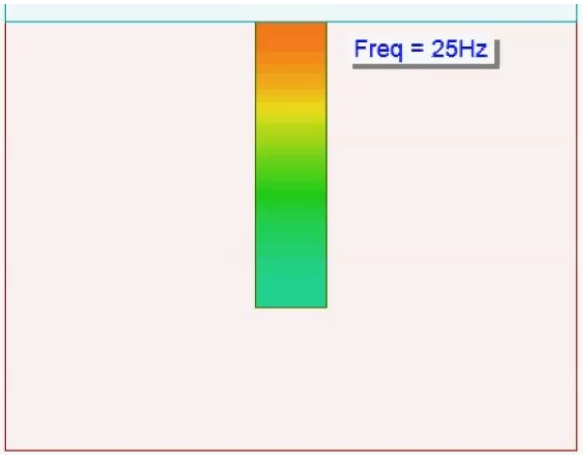


Densità corrente (fase 0°)

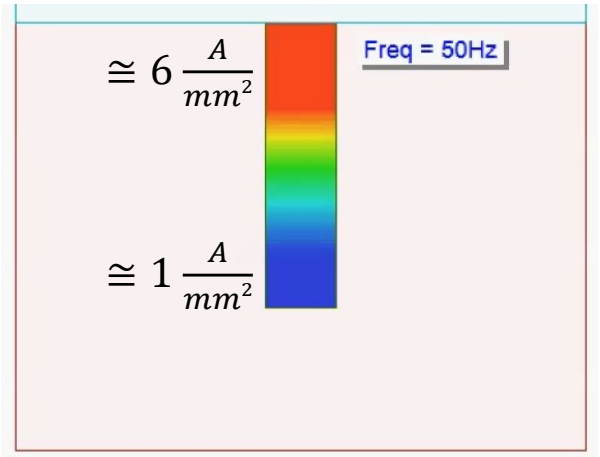
s = 0.1



s = 0.5

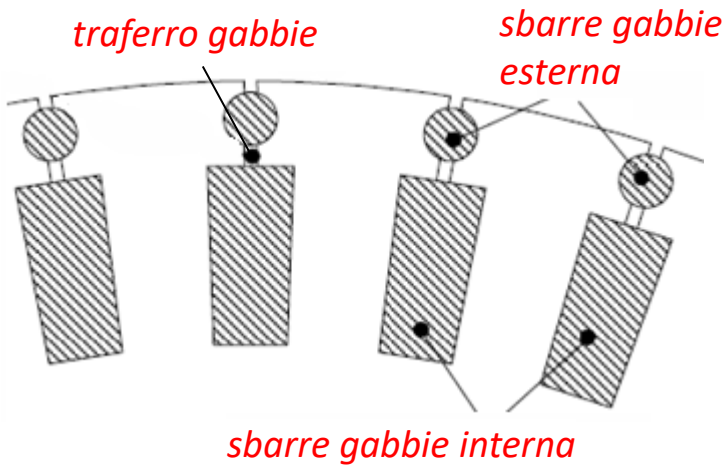


s = 1



Rotore a doppia gabbia

*Adozione di **due gabbie coassiali** elettricamente separate e con caratteristiche geometriche ed elettriche diverse*



Gabbia esterna

- Progettata per agire **all'avviamento**
- Elevata **resistenza R_{2e}** (sbarre ed anelli di piccola sezione) e bassa **induttanza di dispersione L_{2e}** (sbarre vicine al traferro della macchina e al traferro tra le due gabbie)
- **Impedenza gabbia esterna**

$$\dot{Z}_{2e} = R_{2e} + js\omega L_{2e} = R_{2e} + jX_{2e}$$

$R_{2e} > R_{2i}$
$L_{2e} < L_{2i}$

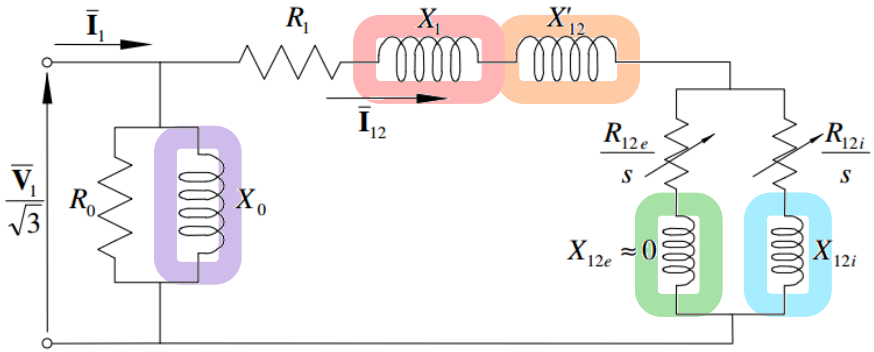
Gabbia interna

- Progettata per agire **con bassi scorrimenti**
- Bassa **resistenza R_{2i}** (sbarre ed anelli di grande sezione) e alta **induttanza di dispersione L_{2i}** (sbarre immerse nel ferro di rotore)
- **Impedenza gabbia interna**

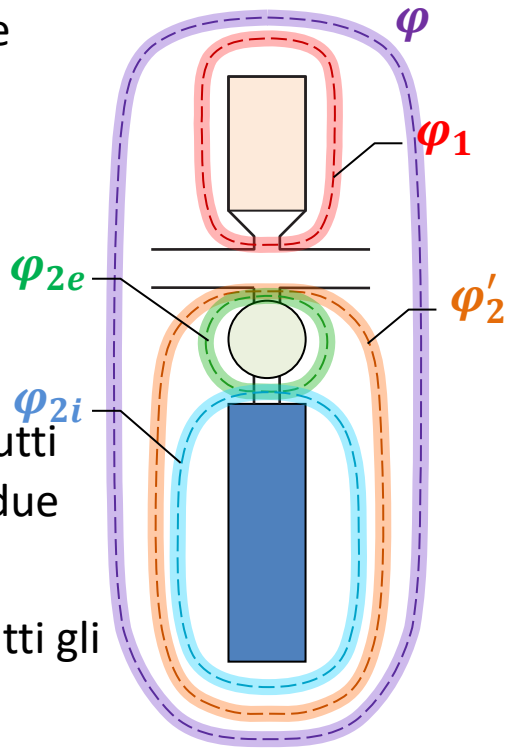
$$\dot{Z}_{2i} = R_{2i} + js\omega L_{2i} = R_{2i} + jX_{2i}$$

Circuito equivalente semplificato

- Include i parametri relativi ai **tre avvolgimenti** (statore, gabbia esterna, gabbia interna)
- **Reattanze di dispersione → flussi concatenati** considerando gli avvolgimenti a coppie con il terzo aperto e la mutua dispersione tra le due gabbie



- **Flusso φ:** flusso mutuamente concatenato tra primario (statore) e secondari (gabbie) → definisce $\boldsymbol{X_0}$
- **Flusso φ_1:** flusso di dispersione di statore sia rispetto alla gabbia esterna che rispetto alla gabbia interna → definisce $\boldsymbol{X_1}$
- **Flusso φ'_2:** flusso di dispersione relativo alle gabbie rispetto allo statore → definisce $\boldsymbol{X'_{12}}$ (riportata allo statore)
- **Flusso φ_{2e}:** flusso di dispersione della gabbia esterna rispetto a tutti gli altri avvolgimenti (in genere molto piccolo rispetto alle altri – due traferri) → definisce $\boldsymbol{X_{12e}}$ (riportata allo statore)
- **Flusso φ_{2i}:** flusso di dispersione della gabbia interna rispetto a tutti gli altri avvolgimenti → definisce $\boldsymbol{X_{12i}}$ (riportata allo statore)



Analisi al variare dello scorrimento

- Utilizzo del **circuito equivalente** analogamente a quanto fatto per la macchina a rotore avvolto o gabbia semplice
- **Differente distribuzione di corrente** tra i due rami in funzione della velocità

Avviamento (s=1)

- Effetto reattanze prevalente su effetto resistenze per **l'alta frequenza di rotore**

$$\dot{\boldsymbol{Z}}_{2e} \cong jX_{2e} \qquad \dot{\boldsymbol{Z}}_{2i} \cong jX_{2i} \;\Rightarrow\; \qquad Z_{2e} < Z_{2i}$$

- Distribuzione corrente prevalentemente nella **gabbia esterna** $\Rightarrow$ buone prestazioni allo spunto per l'elevata resistenza

Normali condizioni di funzionamento (s < 0.1)

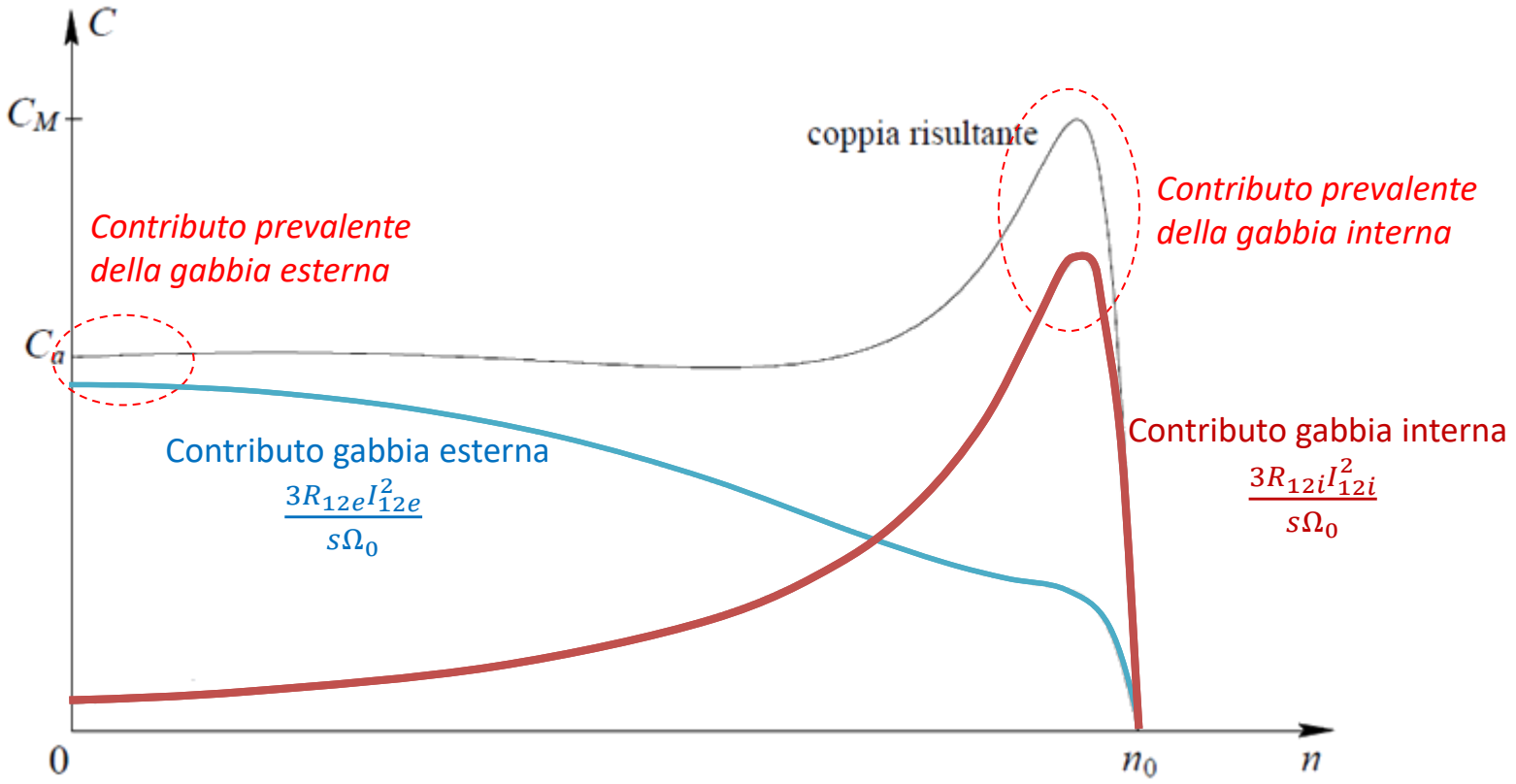
- Effetto resistenze prevalente su effetto reattanze per **la bassa frequenza di rotore**

$$\dot{\boldsymbol{Z}}_{2e} \cong R_{2e} \qquad \dot{\boldsymbol{Z}}_{2i} \cong R_{2i} \;\Rightarrow\; \qquad Z_{2i} < Z_{2e}$$

- Distribuzione corrente prevalentemente **nella gabbia interna** $\Rightarrow$ buone prestazioni nel funzionamento normale (rendimento elevato)

Rotore a doppia gabbia

Caratteristica meccanica del motore asincrono a doppia gabbia (relativa al diagramma di curva 1)



corrente di spunto *corrispondenti a circa* ***4÷5 volte*** *la corrente di pieno carico*

coppia di avviamento *di circa* ***1.5÷2 volte*** *la coppia di pieno carico (avviamenti 'pesanti')*