

# **MACCHINE E AZIONAMENTI ELETTRICI**

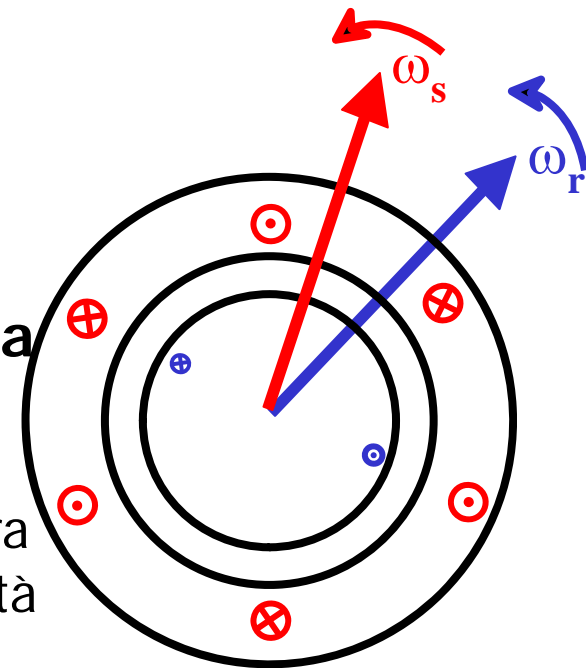
**Corso di Laurea in Ingegneria Industriale**

## **La macchina sincrona**

Docente Prof. Francesco Benzi  
Università di Pavia  
e-mail: [francesco.benzi@unipv.it](mailto:francesco.benzi@unipv.it)

# Principio di funzionamento

- Nella macchina sincrona la coppia deriva dall'interazione del campo magnetico rotante generato da un avvolgimento (alternato trifase) di statore (l'*armatura*) e del campo di rotore prodotto dall'avvolgimento monofase in continua disposto sul rotore e ruotante con esso (*avvolgimento di eccitazione o di campo*).
- Condizione necessaria per lo sviluppo di una **coppia stabile, diversa da zero** è che si verifichi il **sincronismo** fra la **velocità del campo magnetico rotante di statore** e la **velocità meccanica del rotore**.
- Per una data frequenza delle correnti di armatura la macchina sincrona funziona a regime a velocità fissa definita dal numero di poli



$$\omega_m = \frac{\omega_e}{(pp)}$$

$$\omega_e = 2\pi f_e = \text{Pulsazione delle correnti di statore}$$

# Operazione da **generatore**

- L'uso da generatore è quello prevalente sia come numero di macchine, sia come potenza installata
- I generatori sincroni o **alternatori** sono impiegati nelle centrali elettriche
- Potenze fino a migliaia di kVA
- Richiede un motore primo per generare potenza elettrica alla **frequenza di sincronismo**:

$$f = \frac{(pp) n}{60} \text{ [Hz]}$$

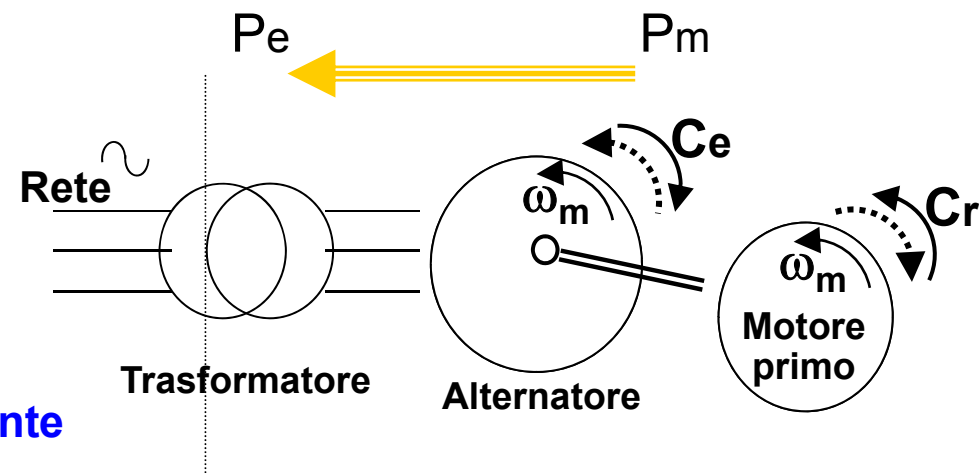
$n$  velocità [giri/min]

Convenzione dei motori:

$$J \frac{d\omega}{dt} = C_e - C_r$$

Nel funzionamento da generatore  $C_e$  e  $C_r$  risultano negative:

$$P_e = C_e \times \omega_m < 0 \quad \text{Potenza uscente}$$

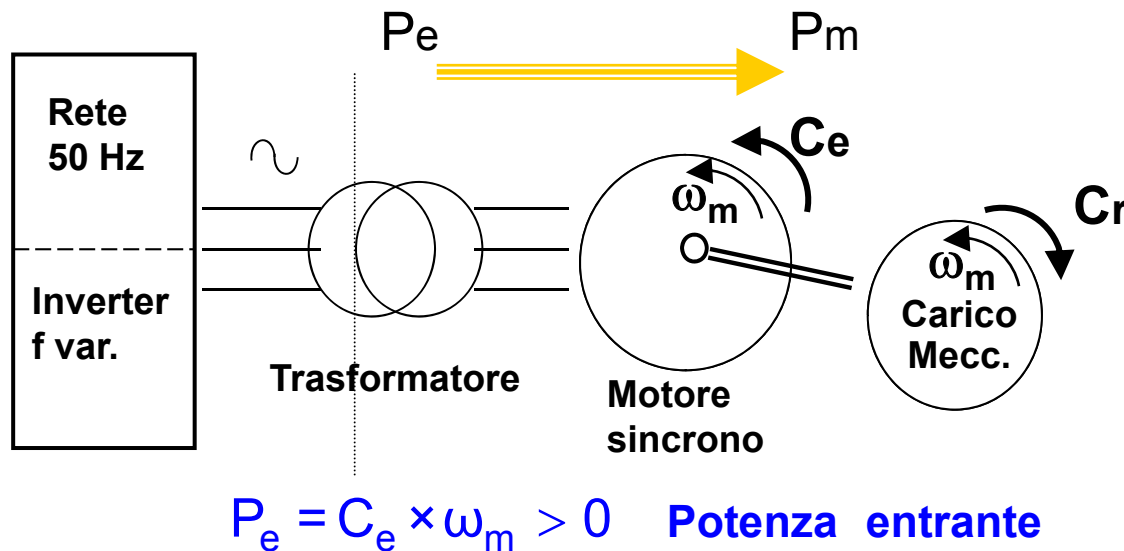


# Operazione da motore

- L'uso da motore è meno comune
- Taglie di potenza per motori industriali (fino a diverse migliaia di MW)
- Opera a velocità determinate dalla frequenza elettrica di alimentazione:

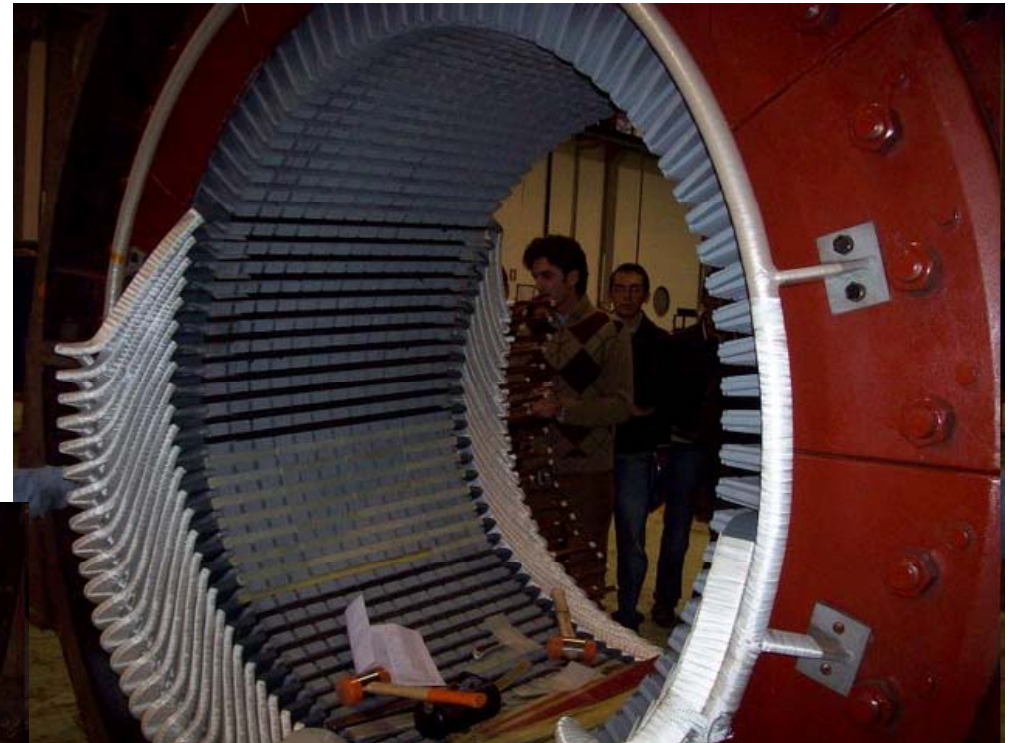
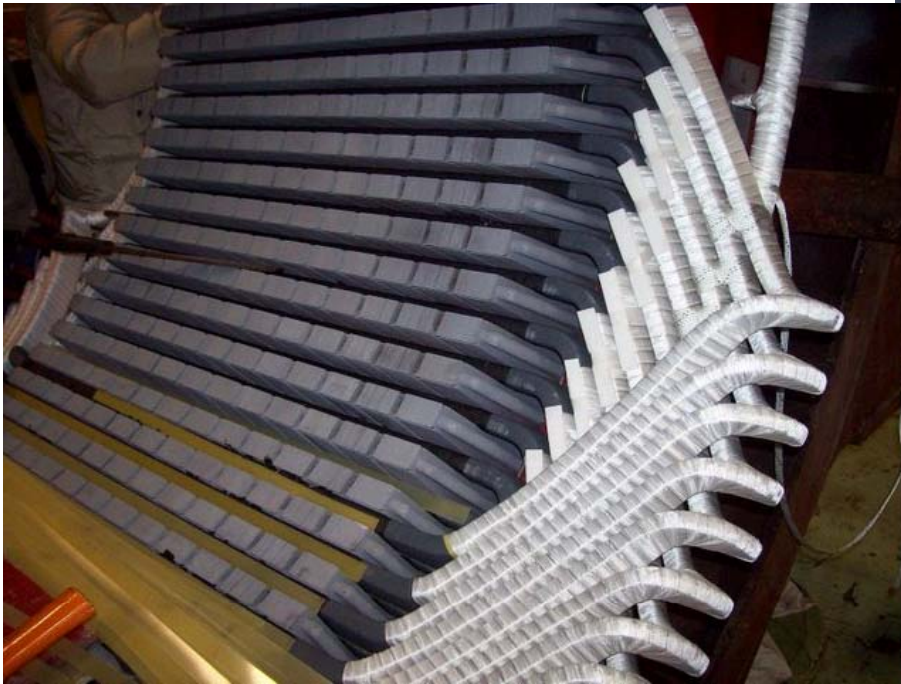
$$n = \frac{60 f}{(pp)} [\text{giri/min}]$$

- Un azionamento con inverter consente il funzionamento a velocità variabile



# Aspetti costruttivi – Lo statore

- TRIFASE – Avvolgimenti distribuiti
- LAMINATO - Sede di correnti parassite
- CAVE – Aperte o semiaperte



**Statore di un alternatore di centrale idroelettrica.**

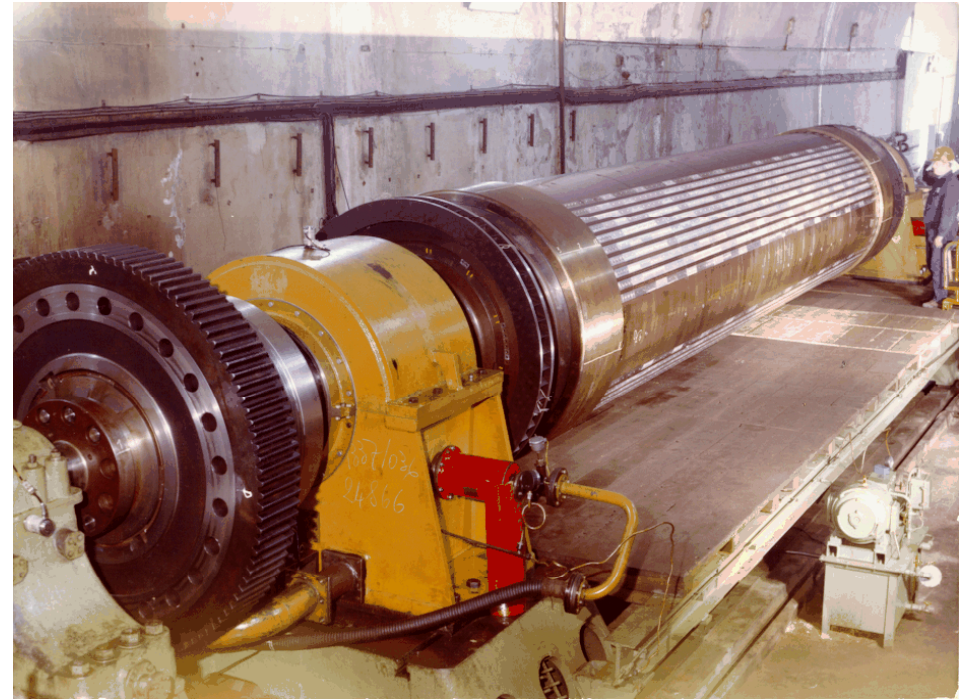
**Particolare dello  
statore dell'alternatore  
con avvolgimento a  
doppio strato.**

<http://picasaweb.google.com/cupertinof>



## Aspetti costruttivi – Il rotore

- **Turboalternatori** (trascinati da turbine a vapore o gas)
- **Rotore liscio**, fuso in acciaio
- **Elevate velocità** 3000/1500 giri/min (2/4 poli)



- **Alternatori** (trascinati da turbine idrauliche)
- **Rotore a poli salienti**, espansioni polari fissate al nucleo
- **Basse velocità** 1000/200 giri/min (6/30 poli)

<http://picasaweb.google.com/cupertinof>

# Aspetti costruttivi – Circuito di eccitazione (Eccitatrice)

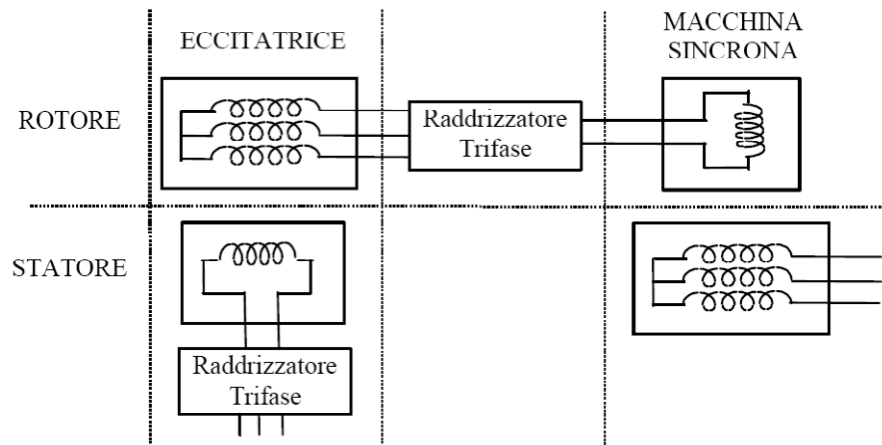


Figura 1.a. - Schema di macchina sincrona con eccitatrice

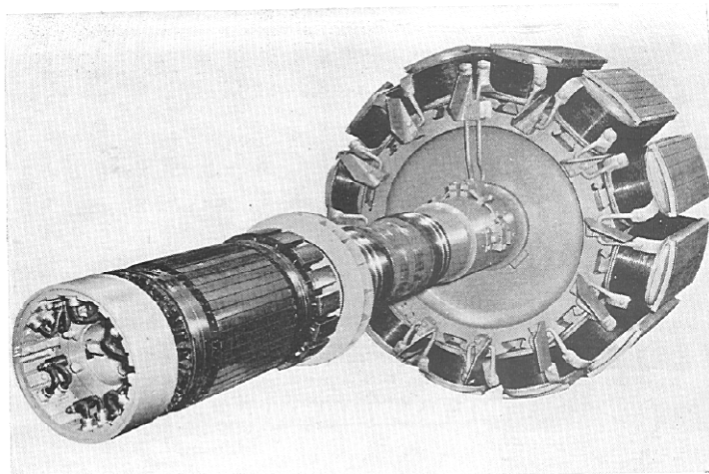


Figura 1.b - Rotore di macchina sincrona con eccitatrice coassiale.

- Il circuito di eccitazione può essere realizzato:
- con una dinamo eccitatrice con contatti striscianti
- con un eccitatrice brushless (senza spazzole) con induttore e ponte di conversione

<http://picasaweb.google.com/cupertinof>

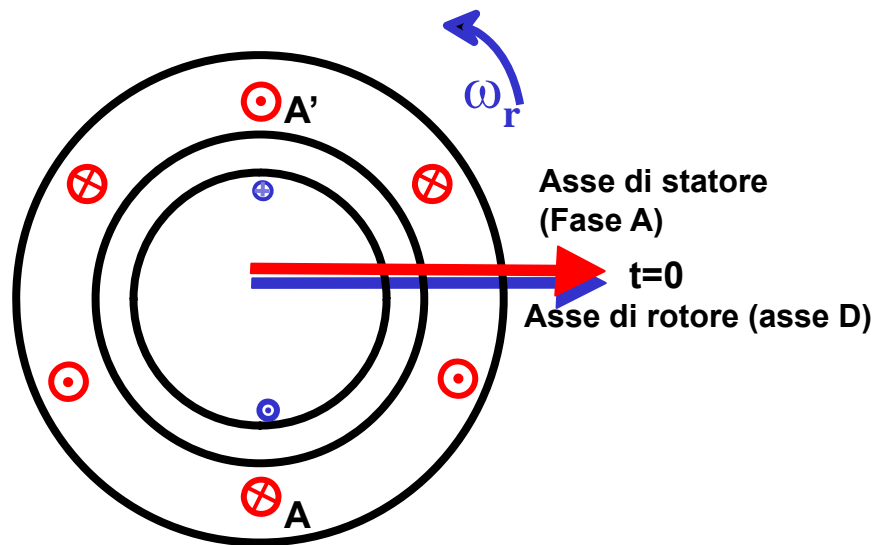
# Aspetti costruttivi – Avvolgimenti smorzatori (Gabbia Smorzatrice)

- Sul rotore è spesso disposta una gabbia costituita da sbarre conduttrici chiuse agli estremi in corto circuito, il cui funzionamento è simile a quello di una gabbia di scoiattolo in una macchina asincrona.
- Gli avvolgimenti sono investiti da un campo variabile quando il campo magnetico rotante di armatura ha una velocità diversa dal rotore (motore fuori sincronismo): in questi casi si generano fem, correnti e una coppia.
- Gli avvolgimenti smorzatori intervengono:
  - Allo SPUNTO, nel funzionamento da motore: consentono alla macchina di avviarsi da ferma e portarsi alla velocità di sincronismo
  - Ogni volta che viene meno il sincronismo e quindi la coppia, ad es. a seguito di improvvise variazioni di carico
- A REGIME non intervengono: tensione indotta e corrente sono nulle.
- Possono essere schematizzati come un gruppo di avvolgimenti trifase in corto circuito.



# Modello della macchina sincrona a regime

Il modello della macchina sincrona a regime comprende l'equazione elettrica di rotore (in c.c.) e le equazioni del circuito trifase di statore (armatura), ridotto nei casi di costruzione e alimentazione simmetrica a una singola equazione di fase. Valgono inoltre le equazioni meccaniche.



Equazione del circuito di eccitazione:  
tensioni e correnti continue a regime

$$V_e = R_e I_e$$

Equazione del circuito di armatura:  
tensioni e correnti alternate della fase A

$$\bar{V}_a = R_a \bar{I}_a + jX_s \bar{I}_a + \bar{E}$$

$E$  forza elettromotrice indotta sullo  
statore dal flusso di rotore:

$$E = \frac{\omega \Phi_{ae}}{\sqrt{2}} = \frac{\omega M_{ae} I_e}{\sqrt{2}}$$

Equazione meccanica (velocità di sincronismo):

$$\omega_m = \omega$$

# Modello della macchina sincrona a regime

## Circuito equivalente, diagramma vettoriale

$$\bar{V}_a = R_a \bar{I}_a + jX_s \bar{I}_a + \bar{E}$$

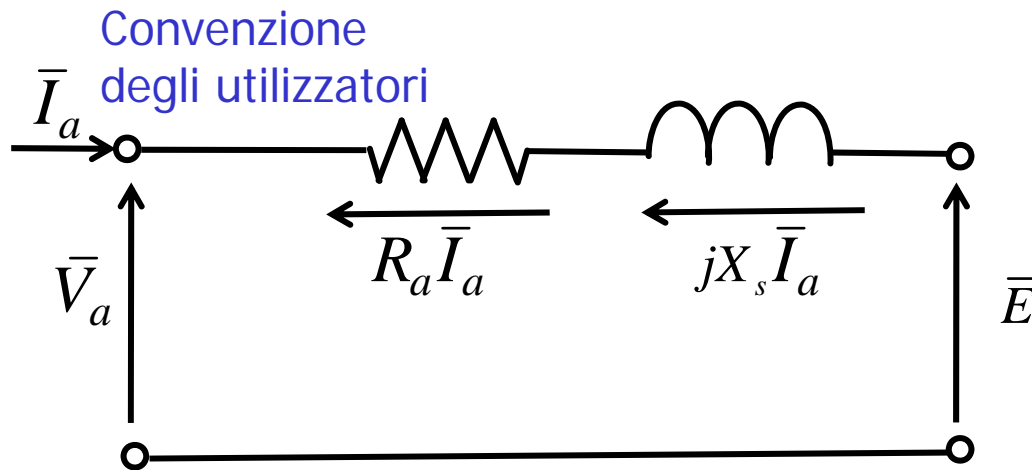


Diagramma vettoriale di Behn-Eshemburg, valido per le macchine isotrope

