

# L'ALTERNATORE

Viene proposto un semplice modello della macchina sincrona che spiega la generazione della forza elettromotrice indotta, l'interazione tra campo induttore e campo indotto, l'origine della reazione d'indotto, la caduta di tensione da vuoto a carico.

## Giorgio Valdes

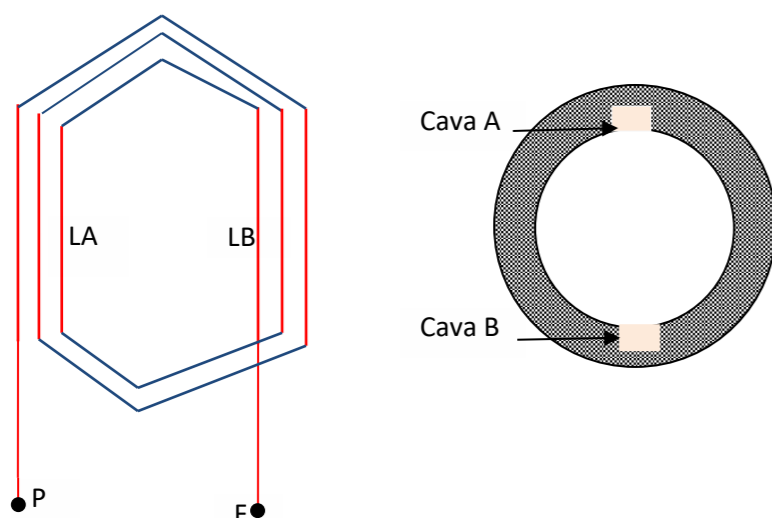
### COSTITUZIONE DELL'ALTERNATORE

L'alternatore è costituito da (Figure 1 e 2):

- Una parte fissa, chiamata statore, sulla quale è montato il circuito indotto. Nel caso di un alternatore monofase, il circuito indotto è costituito da una matassa collocata su due cave disposte a 180°. La matassa, a sua volta, è costituita da n spire collegate in serie. Le spire sono costituite da filo in

- rame, isolato con due o tre strati di smalto, avente una sezione adeguata a trasmettere la corrente I generata dalla macchina.
- Un circuito induttore interno rotante costituito da due o più poli rivolti verso lo statore.

Su ogni polo induttore è avvolta una bobina di eccitazione (Figura 2) percorsa dalla corrente continua di eccitazione. Quest'ultima



**Figura 1** - Cilindro statorico con due cave A, B disposte a 180°. I lati attivi LA, LB della matassa (di colore rosso) sono inseriti entro le cave A, B rispettivamente. Le testate della matassa (di colore blu) collegano i lati attivi LA, LB. Le testate della matassa sono circondate da aria mentre i lati attivi LA, LB sono immersi nel ferro.

Matassa costituita da tre spire in serie con lati attivi LA e LB

giunge alle bobine di eccitazione montate sul rotore tramite due anelli calettati sull'asse sui quali poggiano le spazzole. Il sistema induttore è denominato ruota polare e gira alla velocità angolare meccanica costante  $\Omega$  chiamata velocità di sincronismo. La frequenza della tensione alternata prodotta dall'alternatore deve essere rigorosamente

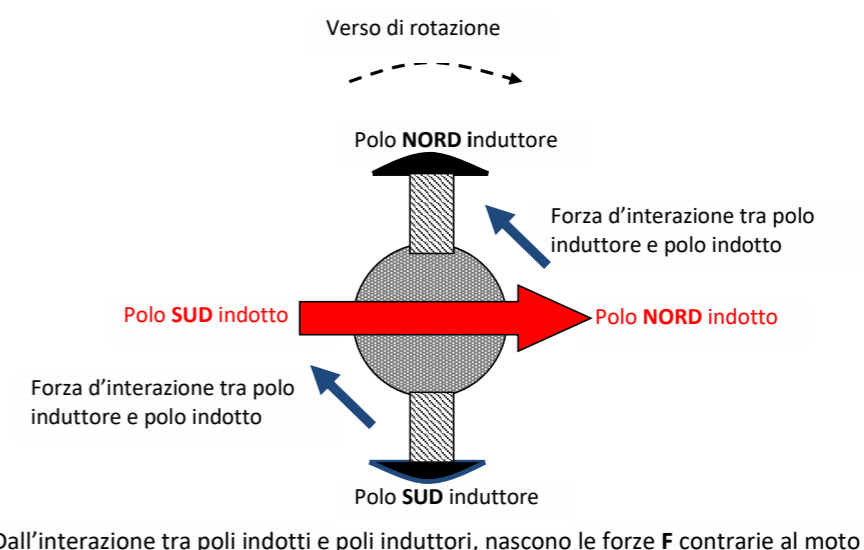
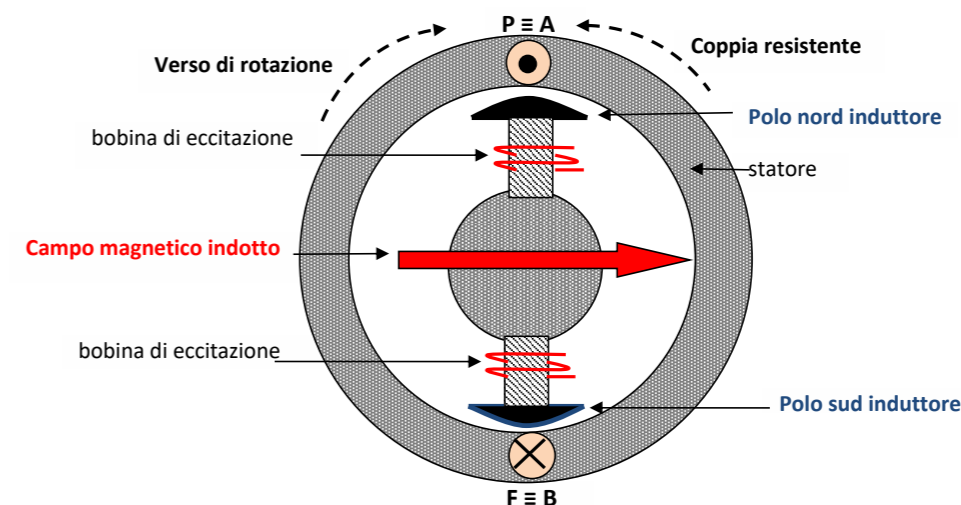
costante (1):

$$f = 50 \text{ Hz}$$

e corrisponde alla pulsazione:

$$\omega = 2\pi \cdot f = 314 \frac{\text{rd}}{\text{s}}$$

**Figura 2** - Alternatore monofase con due poli induttori Nord e Sud (di colore nero) creati dalle bobine di eccitazione montate sul rotore. Sullo statore è montata la matassa percorsa da corrente entrante nella fine F e uscente dal principio P. La matassa è costituita da n spire in serie. Lo statore è dotato di due cave occupate dai lati attivi LA e LB della matassa. Il campo magnetico indotto, creato dalla corrente I che percorre la matassa statorica, è perpendicolare al campo magnetico induttore. La macchina ruota in verso orario e, dall'interazione tra il campo magnetico induttore e il campo magnetico indotto, si genera la coppia resistente antioraria che si oppone al verso di rotazione orario del rotore.



(1) La frequenza della tensione di rete è 50 Hz in tutti i Paesi dell'Unione Europea

Indicando con  $\omega$ , la velocità angolare meccanica risulta (2):

$$\Omega = \frac{\omega}{p}$$

Così, ad esempio:

una macchina con 2 poli ruota alla velocità

$$\Omega = \frac{\omega}{p} = \frac{314}{1} = 314 \frac{\text{rd}}{\text{s}} = 3\,000 \frac{\text{giri}}{\text{minuto}}$$

una macchina con 4 poli ruota alla velocità

$$\Omega = \frac{\omega}{p} = \frac{314}{2} = 157 \frac{\text{rd}}{\text{s}} = 1\,500 \frac{\text{giri}}{\text{minuto}}$$

una macchina con 10 poli ruota alla velocità

$$\Omega = \frac{\omega}{p} = \frac{314}{5} = 62,8 \frac{\text{rd}}{\text{s}} = 600 \frac{\text{giri}}{\text{minuto}}$$

Gli alternatori delle centrali idroelettriche sono azionati da turbine idrauliche, hanno 8 o 10 poli e la loro velocità di rotazione è bassa (750 o 600 giri/minuto). I generatori delle centrali termoelettriche sono azionati da turbine a vapore ed hanno 2 o 4 poli, la loro velocità di rotazione è elevata (3000 o 1500 giri/minuto) e sono chiamati turboalternatori. L'induttore (ruota polare) ruota all'interno del cilindro magnetico costituente il nucleo statorico dell'indotto, sulla cui periferia interna, su apposite scanalature chiamate cave, sono collocati gli avvolgimenti indotti. Lungo le generatrici interne del pacco lamellare vengono praticate le cave destinate ad accogliere i conduttori attivi dell'avvolgimento indotto. Il pacco lamellare viene centrato e sorretto entro una struttura in ghisa costituente la carcassa, questa non ha alcuna funzione elettrica o magnetica ma adempie esclusivamente alla funzione meccanica di struttura portante della macchina.

### FORZA ELETTROMOTRICE INDOTTA NELLA MATASSA

Si consideri la parte interna del cilindro sta-

torico avente lunghezza  $L$  e raggio  $R$  (Figure 1 e 2). Sulla parte interna di tale cilindro sono ricavate due scanalature parallele  $A, B$  disposte a  $180^\circ$  meccanici, chiamate cave statoriche. La matassa statorica è costituita da  $n$  spire collegate in serie ognuna delle quali ha:

- lunghezza  $L$  = lunghezza del cilindro statorico = lunghezza della cava
- diametro =  $2R$
- area =  $S = 2 \cdot R \cdot L$

Ogni matassa, montata sulle due cave statoriche  $A, B$  disposte a  $180^\circ$  meccanici, si compone da:

- due lati attivi  $LA, LB$  montati entro le cave  $A$  e  $B$  rispettivamente
- due testate di collegamento tra i lati attivi  $LA, LB$ .

Nella figura 3 è rappresentata una matassa costituita da  $n = 3$  spire in serie. In generale, la cava  $A$  contiene gli  $n$  conduttori rettilinei  $LA$  delle  $n$  spire della matassa e la cava  $B$  contiene gli  $n$  conduttori rettilinei  $LB$  delle  $n$  spire della matassa. La matassa quindi:

- ha un principio  $P$  e una fine  $F$ ;
- è costituita da  $n$  spire identiche collegate in serie;
- i due lati attivi  $LA, LB$  sono costituiti dagli  $n$  lati attivi delle  $n$  spire che la compongono;
- i lati attivi  $LA$  ed  $LB$  della matassa occupano le due cave  $A, B$  diametralmente opposte;
- i lati attivi  $LA$  ed  $LB$  della matassa, circondanti dal pacco lamellare statorico, sono annegati nel ferro e sono investiti dal flusso magnetico induttore prodotto dalla ruota polare;
- le due testate della matassa sono in aria e non sono investite dal flusso magnetico della ruota polare.

Il campo magnetico generato dai poli ro-

torici, mantenuti in rotazione alla velocità angolare meccanica  $\Omega$ , è chiamato campo magnetico induttore. La matassa statorica fissa, percorsa dalla corrente indotta sinusoidale, produce, a sua volta, un campo magnetico chiamato campo magnetico indotto. I due campi magnetici, induttore e indotto, sono perpendicolari e ruotano alla velocità angolare meccanica  $\Omega$ .

Ogni spira della matassa statorica è investita dal flusso magnetico sinusoidale prodotto dai poli magnetici induttori in rotazione con la velocità angolare meccanica  $\Omega$ :

$$\phi_1 = \hat{\phi} \cdot \sin(\omega t)$$

dove:

$\hat{\phi}_1 = B \cdot S$  = ampiezza del flusso magnetico concatenato con una spira statorica;

$\hat{B}$  = ampiezza del campo magnetico creato dai poli induttori;

$S = 2 \cdot R \cdot L$  = superficie della spira statorica.

Ogni matassa fissa, costituita da  $n$  spire in serie, è investita dal flusso magnetico sinusoidale prodotto dai poli magnetici induttori in rotazione alla velocità angolare  $\omega$  (3):

$$\phi = n \cdot \hat{\phi}_1 = n \cdot \hat{\phi} \cdot \sin(\omega t)$$

e la forza elettromotrice indotta (4), disponibile tra i capi  $P$  ed  $F$  della matassa statorica, risulta (Figura 3):

$$e = - \frac{d\phi}{dt} = - n \cdot \hat{\phi} \cdot \omega \cdot \cos(\omega t)$$

L'ampiezza e il valore efficace della femi (5) generata nella matassa risultano:

$$\hat{E}_0 = n \cdot \hat{\phi} \cdot \omega$$

$$\hat{E}_0 = \frac{\hat{E}_0}{\sqrt{2}} = \frac{n \cdot \hat{\phi} \cdot \omega}{\sqrt{2}} = 4,44 \cdot n \cdot \hat{\phi} \cdot f = 4,44 \cdot n \cdot f \cdot S \cdot \hat{B}$$

l'ultimo passaggio deriva dalla relazione tra pulsazione e frequenza:

$$\omega = 2\pi \cdot f$$

#### Esercizio

Il cilindro statorico di un alternatore presenta lunghezza 1,2 m e raggio 0,6 m. La matassa è costituita da 25 spire in serie. Sapendo che l'ampiezza del campo magnetico induttore è 1,05 T, determinare la femi a vuoto della macchina.

#### Soluzione

La superficie di ogni spira è:

$$S = 2 \cdot R \cdot L = 2 \cdot 0,6 \cdot 1,2 = 1,44 \text{ m}^2$$

e il valore efficace della femi a vuoto risulta:

$$\hat{E}_0 = 4,44 \cdot n \cdot f \cdot S \cdot B = 4,44 \cdot 25 \cdot 50 \cdot 1,44 \cdot 1,05 = 8\,392 \text{ V}$$

Per una determinata macchina, i parametri costruttivi  $n, S$  sono costanti. La frequenza  $f$  è rigorosamente costante e pari a 50 Hz. Pertanto, la femi nella matassa è direttamente proporzionale all'ampiezza del campo magnetico creato dalle espansioni polari rotoriche.

L'ampiezza del campo magnetico induttore, a sua volta, è proporzionale alla corrente continua di eccitazione  $I_E$  che percorre le bobine di eccitazione montate sulle espansioni polari:

(3) Per una macchina a due poli la velocità angolare elettrica  $\omega$  coincide con la velocità angolare meccanica  $\Omega$ :

$$\omega = \Omega = 314 \text{ rd/s}$$

(4) In seguito, la forza elettromotrice indotta verrà indicata con l'acronimo femi

(5) femi = forza elettromotrice indotta

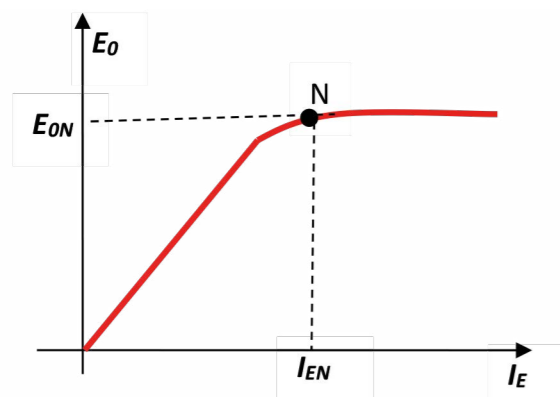
$$\hat{B} = c \cdot I_g$$

In definitiva, la femi a vuoto nella matassa è proporzionale alla corrente di eccitazione:

$$E_0 = k \cdot I_g$$

nella quale la costante  $k$  vale:

$$k = 4,44 \cdot n \cdot f \cdot S \cdot c$$



**Figura 3** - Caratteristica di eccitazione dell'alternatore. Il punto N sul ginocchio della curva rappresenta il punto di funzionamento nominale.

La figura 3 mostra la caratteristica di eccitazione dell'alternatore, ovvero il grafico della femi a vuoto  $E_0$  in funzione della corrente di eccitazione  $I_E$ . Il primo tratto della curva è lineare ed esprime la proporzionalità tra la femi a vuoto e la corrente di eccitazione. Il tratto lineare è seguito da un ginocchio e da un tratto quasi orizzontale determinato dalla saturazione del ferro: all'aumentare della corrente di eccitazione, il campo magnetico e la femi non aumentano più proporzionalmente alla corrente di eccitazione. L'alternatore funziona nel punto N del ginocchio della caratteristica di eccitazione; le coordinate del punto N esprimono la corrente di eccitazione e la femi a vuoto riferite al funzionamento nominale della macchina:

$I_{EN}$  = corrente di eccitazione nominale  
 $E_{0N}$  = femi a vuoto nominale

Durante il funzionamento ordinario, la corrente di eccitazione della macchina potrà essere variata di intorno al valore nominale in modo da ottenere il valore desiderato della tensione ai morsetti.

### ALTERNATORE TRIFASE

Per soddisfare alle esigenze della trasmissione e della distribuzione dell'energia elettrica, gli alternatori delle centrali di produzione si presentano sempre nella forma di macchina trifase (Figure 4, 5, 6, 7). L'avvolgimento statorico è costituito da tre matasse uguali montate sulle cave statoriche con uno spostamento angolare meccanico di  $120^\circ$ . Nel caso più semplice, lo statore è dotato di 6 cave distanziate angularmente di:

$$\alpha = \frac{360^\circ}{6} = 60^\circ$$

pertanto:

$$180^\circ \equiv 3 \text{ cave} \quad 120^\circ \equiv 2 \text{ cave}$$

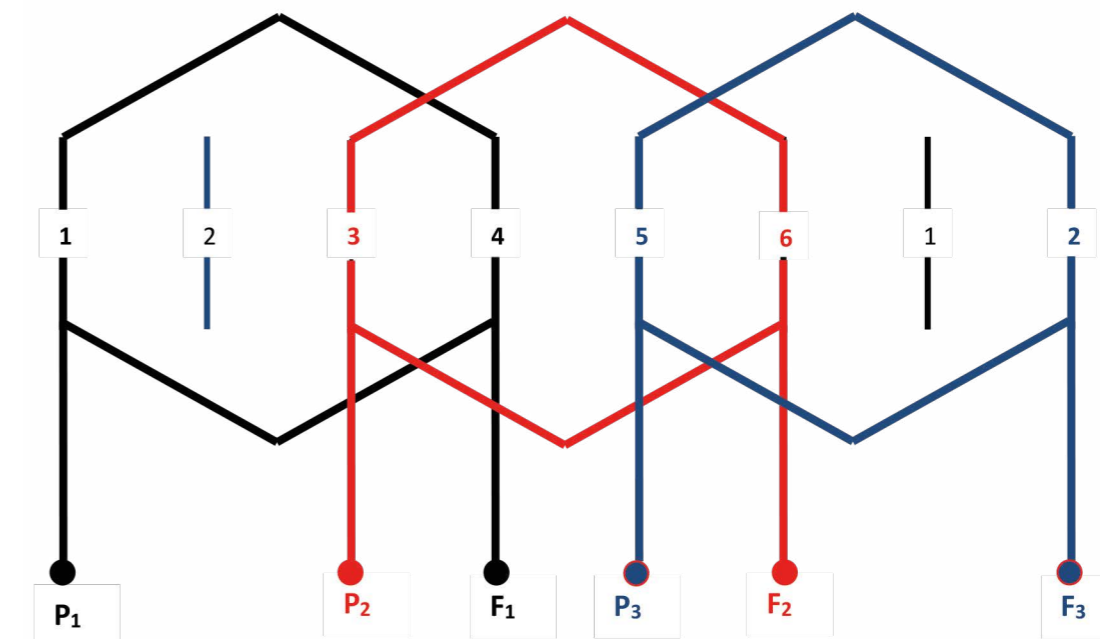
Con riferimento alle figure 4 e 5 si ha:

- $P_1, F_1$  = principio e fine della prima fase (colore nero) corrispondenti alle cave **1, 4**.
- $P_2, F_2$  = principio e fine della seconda fase (colore rosso) corrispondenti alle cave **3, 6**.
- $P_3, F_3$  = principio e fine della terza fase (colore blu) corrispondenti alle cave **5, 2**.

La distanza angolare tra i principi delle tre fasi  $P_1, P_2, P_3$  è pari a  $120^\circ = 2$  cave. Allo stesso modo, La distanza angolare tra le fini delle tre fasi  $F_1, F_2, F_3$  è pari a  $120^\circ = 2$  cave. La distanza angolare tra i lati attivi di ciascuna matassa è  $180^\circ = 3$  cave.

- $P_1, F_1$  = principio e fine della prima fase (colore nero) corrispondenti alle cave **1, 4**.
- $P_2, F_2$  = principio e fine della seconda fase (colore rosso) corrispondenti alle cave **3, 6**.

**Figura 4** - Schema panoramico dell'avvolgimento statorico trifase riferito a 6 cave:



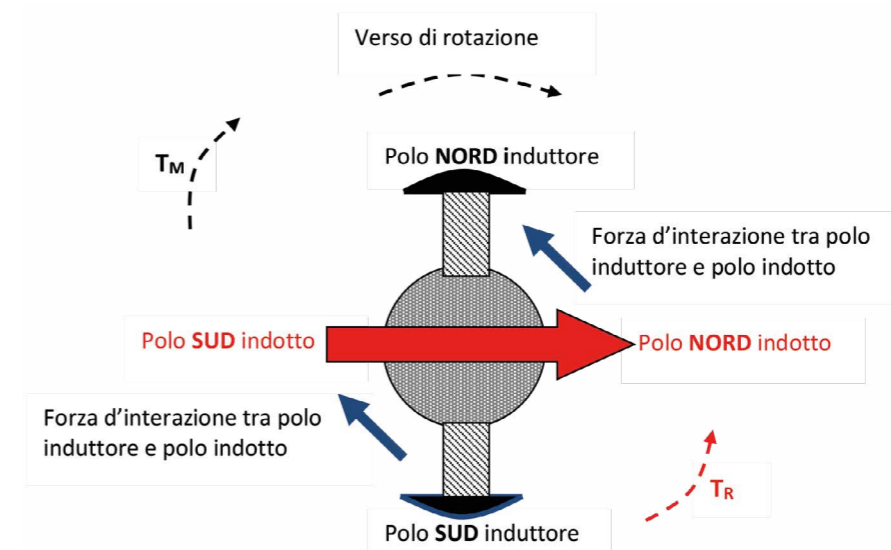
■  $P_3, F_3$  = principio e fine della terza fase (colore blu) corrispondenti alle cave **5, 2**.

(Figura 5). Il motore primo, per mantenere in rotazione l'alternatore, deve sviluppare una coppia motrice  $T_M$  opposta alla coppia resistente determinata dalla reazione d'indotto:

### LA REAZIONE D'INDOTTO

La reazione d'indotto è il fenomeno dovuto all'interazione tra il campo magnetico induttore e il campo magnetico indotto che dà luogo allo sviluppo di una coppia resistente  $T_R$  avente verso antiorario opposto al verso di rotazione orario della macchina

$\vec{T}_M = -\vec{T}_R$  coppia motrice e coppia resistente hanno verso opposto  
 $T_M = T_R$  coppia motrice e coppia resistente hanno lo stesso modulo



**Figura 5** - Reazione d'indotto. La coppia motrice  $T_M$  sviluppata dal motore primo ha verso orario mentre la coppia resistente  $T_R$  della reazione d'indotto ha verso antiorario.

La ruota polare è mantenuta in rotazione, alla velocità angolare meccanica costante  $\Omega$ , grazie all'azione del *motore primo* che sviluppa una *coppia motrice* di verso orario in grado di contrastare la *coppia resistente* antioraria determinata dalla reazione d'indotto.

### LA TERNA EQUILIBRATA DELLE CORRENTI

L'avvolgimento statorico dell'alternatore funzionante sotto carico, è percorso dalla terna equilibrata delle correnti (Figura 6):

$$i_1 = \hat{I} \cdot \sin(\omega t)$$

$$i_2 = \hat{I} \cdot \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$i_3 = \hat{I} \cdot \sin\left(\omega t + \frac{4\pi}{3}\right)$$

caratterizzata dall'uguaglianza delle ampiezze e dallo sfasamento reciproco di  $120^\circ$  elettrici. La terna delle correnti ruota alla velocità angolare elettrica:

$$\omega = 2\pi \cdot f = 2\pi \cdot 50 = 314 \frac{\text{rd}}{\text{s}}$$

mentre la ruota polare gira in verso orario con la velocità angolare meccanica:

$$\Omega = \frac{\omega}{p}$$

dove:

$p$  = coppie polari dell'alternatore.

Per una macchina a due poli (coppie polari  $= p = 1$ ), la velocità angolare meccanica  $\Omega$  coincide con la velocità angolare elettrica  $\omega$ :

$$\Omega = \omega = 314 \frac{\text{rd}}{\text{s}}$$

La velocità angolare elettrica 314 rd/s corrisponde alla frequenza  $f = 50$  Hz e al pe-

riodo  $T = 50$  ms. Con riferimento a una macchina con due poli (6), la ruota polare effettua un giro completo nel periodo  $T = 20$  ms.

### POSIZIONE INIZIALE DEL CAMPO INDUTTORE E DEL CAMPO INDOTTO

La figura 6 è riferita all'istante iniziale in cui le correnti della terna equilibrata assumono i valori:

$$i_1 = \hat{I} \cdot \sin(\omega t)$$

$$i_2 = \hat{I} \cdot \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \hat{I}$$

$$i_3 = \hat{I} \cdot \sin\left(\omega t + \frac{4\pi}{3}\right) = -\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \hat{I}$$

I versi delle correnti nella figura 6 risultano:  
 $i_1 = 0 \leftrightarrow$  nessun segno di corrente in  $\mathbf{P}_1$  e in  $\mathbf{F}_1$   
 $i_2 > 0 \leftrightarrow$  corrente entrante in  $\mathbf{P}_2$  e uscente da  $\mathbf{F}_2$   
 $i_3 < 0 \leftrightarrow$  corrente entrante in  $\mathbf{F}_3$  e uscente da  $\mathbf{P}_3$

Il verso del campo *magnetico indotto* si ottiene "avvolgendo" i conduttori percorsi da corrente "entrante" con linee di forza di verso orario. Pertanto, il campo magnetico indotto è diretto *verticalmente verso l'alto* (freccia rossa). La ruota polare invece è in posizione orizzontale e il *campo magnetico induttore* è diretto *orizzontalmente verso sinistra* (freccia nera).

### POSIZIONE DEL CAMPO INDUTTORE E DEL CAMPO INDOTTO NELL'ISTANTE $t = 10$ ms

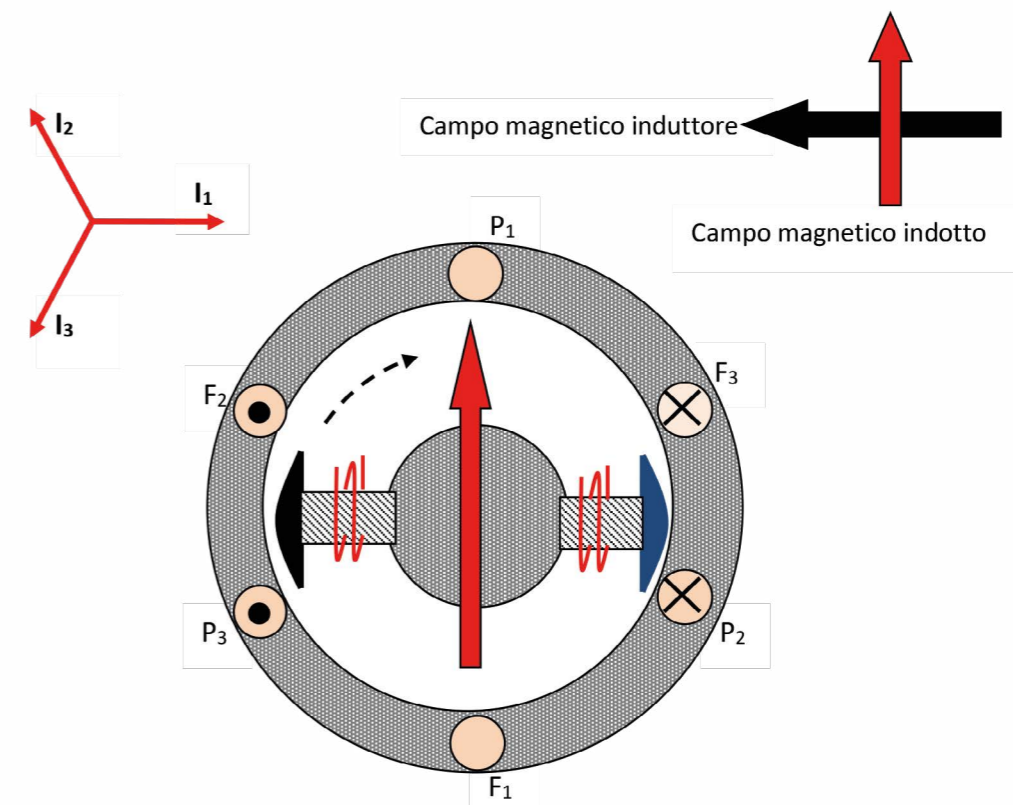
La figura 7 è riferita all'istante:

$$t = \frac{T}{2} = 10 \text{ ms}$$

**Figura 6** - Alternatore trifase. Terna delle correnti e versi del campo induttore e del campo indotto nell'istante  $t = 0$  ms.

#### Rappresentazione della terna delle correnti nell'istante iniziale $t = 0$ ms in cui:

- $i_1 = 0$
- $i_2 > 0 \leftrightarrow$  corrente entrante in  $\mathbf{P}_2$  e uscente da  $\mathbf{F}_2$
- $i_3 < 0 \leftrightarrow$  corrente entrante in  $\mathbf{F}_3$  e uscente da  $\mathbf{P}_3$



in cui le correnti della terna equilibrata assumono i valori:

$$i_1 = \hat{I} \cdot \sin(\omega t)$$

$$i_2 = \hat{I} \cdot \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \hat{I}$$

$$i_3 = \hat{I} \cdot \sin\left(\omega t + \frac{4\pi}{3}\right) = -\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \hat{I}$$

I versi delle correnti nella figura 9 risultano:  
 $i_1 = 0 \leftrightarrow$  nessun segno di corrente in  $\mathbf{P}_1$  e in  $\mathbf{F}_1$   
 $i_2 > 0 \leftrightarrow$  corrente entrante in  $\mathbf{F}_2$  e uscente da  $\mathbf{P}_2$

$i_3 < 0 \leftrightarrow$  corrente entrante in  $\mathbf{P}_3$  e uscente da  $\mathbf{F}_3$

Il verso del campo magnetico indotto si ottiene "avvolgendo" i conduttori percorsi da corrente "entrante" con linee di forza di verso orario. Pertanto, il campo magnetico indotto è diretto *verticalmente verso il basso* (freccia rossa). La ruota polare invece è in posizione orizzontale e il *campo magnetico induttore* è diretto *orizzontalmente verso destra* (freccia nera).

### LA REATTANZA SINCRONA E LA TENSIONE SOTTO CARICO

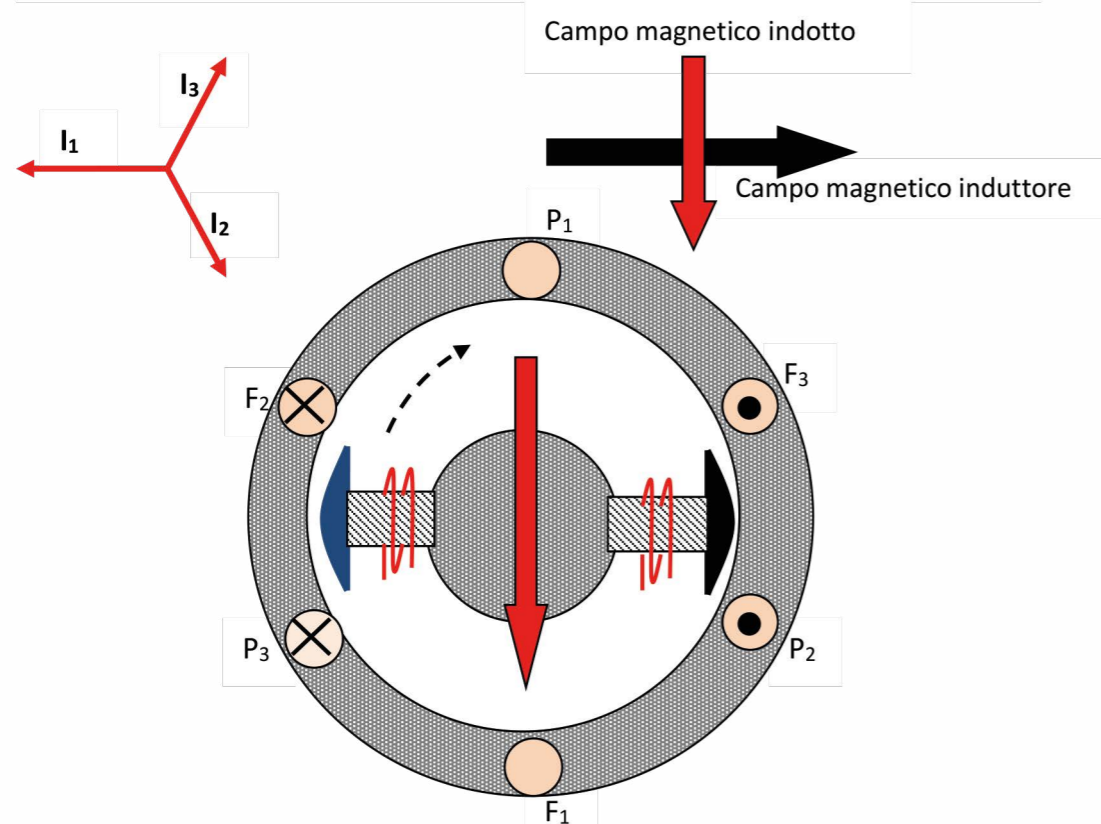
La figura 8 riporta il circuito equivalente (7)

(6) In questa sede, viene esaminato solamente il caso dell'alternatore con due poli per il quale la velocità angolare meccanica coincide con la velocità angolare elettrica.

**Figura 7** - Alternatore trifase. Terna delle correnti e versi del campo induttore e del campo indotto nell'istante  $t = 10$  ms.

Rappresentazione della terna delle correnti nell'istante  $t = 10$  ms in cui:

- $I_1 = 0$
- $I_2 < 0 \Leftrightarrow$  corrente entrante in  $F_2$  e uscente da  $P_2$
- $I_3 > 0 \Leftrightarrow$  corrente entrante in  $P_3$  e uscente da  $F_3$



di un alternatore costituito:

- dal generatore della femi a vuoto  $E_0$  il cui valore, per un determinato valore della corrente di eccitazione, resta costante al variare della corrente  $I$  erogata dalla macchina
- dalla reattanza sincrona  $X_s$  che tiene conto della caduta di tensione che si verifica nel passaggio dal funzionamento a vuoto al funzionamento sotto carico.

Il carico, rappresentato dal resistore di resistenza  $R$ , può essere inserito o disinserito mediante l'interruttore (8). Nel funzionamen-

to a vuoto l'interruttore è aperto, la corrente è nulla e la tensione  $E$  disponibile ai morsetti della macchina coincide con la femi a vuoto  $E_0$ . Nel funzionamento sotto carico, l'interruttore è chiuso, la corrente erogata è:

$$\vec{I} = \frac{E_0}{R + j \cdot X_s}$$

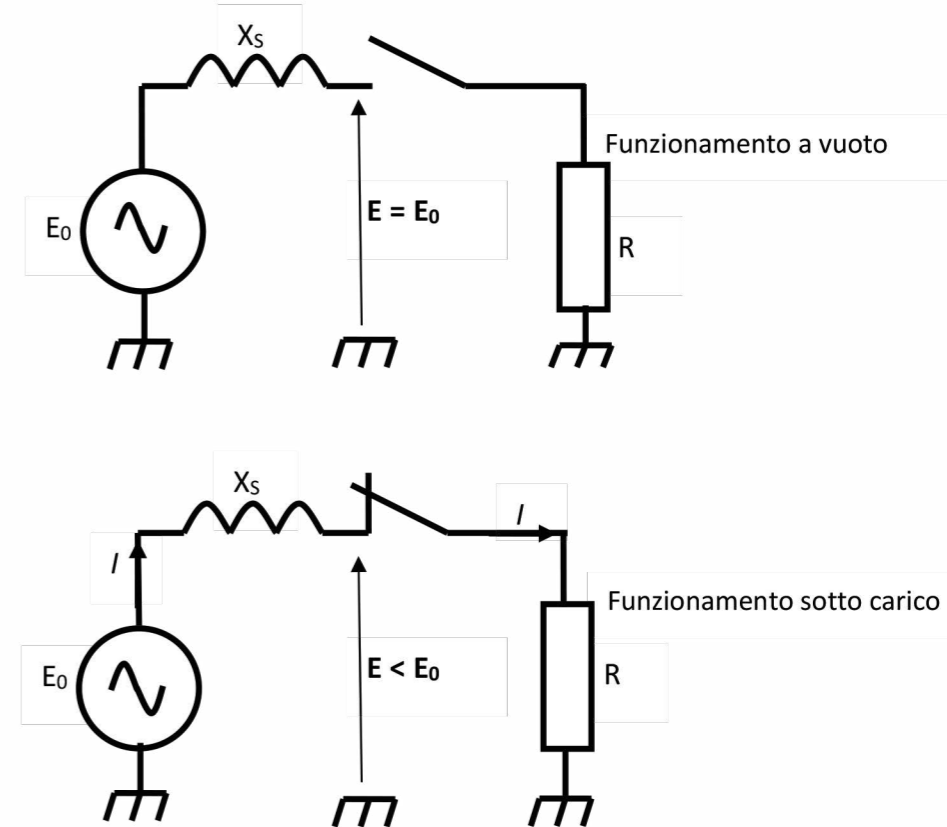
e la tensione disponibile ai morsetti della macchina risulta:

$$\vec{E} = R \cdot \vec{I}$$

(7) Il circuito equivalente è riferito a una delle fasi dell'alternatore trifase

(8) In questa sede, viene analizzato solamente il caso dell'alternatore che alimenta un carico resistivo puro

**Figura 8** - Circuito equivalente del trasformatore nel funzionamento a vuoto e sotto carico.



L'impedenza del circuito funzionante sotto carico:

$$\vec{Z} = R + jX_s$$

è composta dalla resistenza  $R$  del carico e dalla reattanza sincrona dell'alternatore.

Il vettore  $E$  (tensione ai morsetti dell'alternatore funzionante sotto carico) è in fase con la corrente erogata  $I$  (Figura 9). La femi a vuoto è uguale alla somma vettoriale del vettore  $E$  e del vettore  $jX_s \cdot I$  in anticipo di  $90^\circ$  sul vettore  $E$ :

$$\vec{E}_0 = (R + jX_s) \cdot \vec{I} = R \cdot \vec{I} + jX_s \cdot \vec{I} = \vec{E} + jX_s \cdot \vec{I}$$

Se è nota la femi a vuoto, la tensione sotto carico risulta:

$$\vec{E} = \vec{E}_0 - jX_s \cdot \vec{I}$$

La potenza elettrica erogata dall'alternatore trifase risulta:

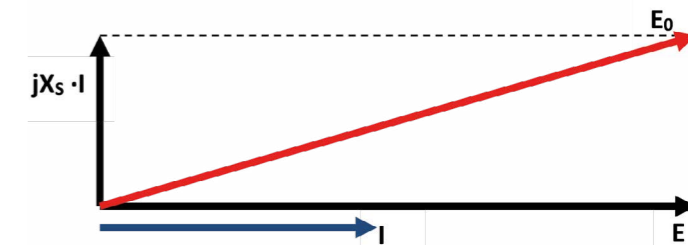
$$P_e = 3 \cdot E \cdot I$$

Indicando con  $\eta_E$  il rendimento dell'alternatore, la potenza meccanica che il motore primo deve fornire all'alternatore risulta:

$$P_m = \frac{P_e}{\eta_E}$$

La potenza meccanica fornita dal motore

**Figura 9** - Diagramma vettoriale relativo al funzionamento sotto carico dell'alternatore.



primo alternatore si può esprimere come prodotto tra la coppia motrice e la velocità angolare di rotazione:

$$P_m = T_m \cdot \Omega$$

dove:

$T_m$  = coppia motrice sviluppata dal motore primo, espressa in N·m;

$\Omega$  = velocità angolare meccanica espressa in rd/s;

$P_m$  = potenza meccanica espressa in W.

#### Esercizio

Un alternatore trifase con 4 poli presenta: tensione ai morsetti 10,4 kV, corrente erogata 50 A. Sapendo che la reattanza sincrona è 60  $\Omega$  e che il rendimento è 0,96, determinare la potenza elettrica erogata, *la femi a vuoto*, la coppia motrice necessaria per mantenere la macchina in rotazione.

#### Soluzione

La potenza elettrica erogata dall'alternatore trifase risulta:

$$P_e = 3 \cdot E \cdot I = 3 \cdot 10,4 \cdot 50 = 1\,560 \text{ kW} \\ = 1,56 \text{ MW}$$

La resistenza del carico risulta:

$$R = \frac{E}{I} = \frac{10\,400}{50} = 208 \, \Omega$$

e l'impedenza del circuito equivalente è:

$$Z = (R + jX_s) = 208 + j60$$

Il vettore *femi a vuoto* risulta:

$$\vec{E}_0 = (R + jX_s) \cdot \vec{I} = (208 + j60) \cdot 50 = 10\,400 + j3\,000$$

e il suo modulo è:

$$E_0 = \sqrt{(10\,400)^2 + (3\,000)^2} = 10\,508 \text{ V} = 10,82 \text{ kV}$$

La velocità angolare meccanica risulta:

$$\Omega = \frac{\omega}{p} = \frac{314}{2} = 157 \frac{\text{rd}}{\text{s}}$$

La potenza meccanica e la coppia motrice sviluppata dal motore primo che muove l'alternatore risultano:

$$P_m = \frac{P_e}{\eta_e} = \frac{1,56}{0,96} = 1,625 \text{ MW}$$

$$T_m = \frac{P_m}{\Omega} = \frac{1\,625\,000}{157} = 10\,350 \text{ N} \cdot \text{m}$$



Lascia il tuo commento a questo link:

<https://www.editorialedelfino.it/1-alternatore.html>