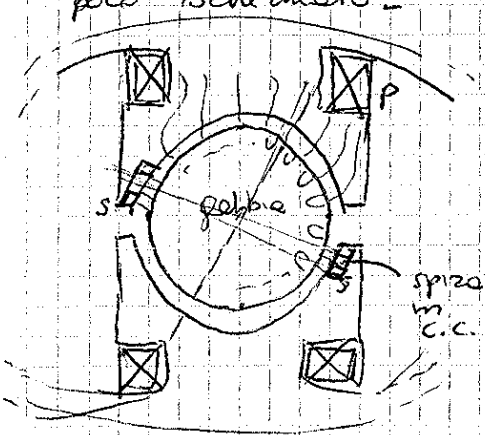


Il secondo avvolgimento può anche non essere messo in parallelo  
 ed il 1° può essere messo in triangolo. Questi sono motori a  
 polo schermato.



Abbiamo distribuzione ed in caso qualche al  
 trasfero <sup>di</sup> ~~con~~ f.m.m.

Per produrre l'avviamento si scherma una porzione  
 del polo (ci sono le spire in cortocircuito che  
 generano uno schermo elettromagnetico).

La fase temporale del flusso che passa nelle  
 bobine secondarie sarà diversa da quella delle  
 fase principali. Lo sfasamento temporale unito  
 a quello spaziale farà sì che il motore possa avviarsi.

## MACCHINA SINCRONA

È anche una macchina a campo rotante.

Macchine ideate per produrre energia elettrica. L'alternatore è l'equivalente  
 di una macchina in c.c. e cui viene tolto il commutatore. L'energia  
 può essere divisa su un numero di fasi qualsiasi. Inizialmente l'alternatore  
 era come macchina a flusso unico potente. Oggi viene usato anche  
 come motore.

Esistono 2 tipologie di alternatori:

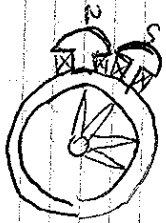
- 1) Turbo alternatori (3000 o 1500 rpm con 1-2 coppie poli).
- 2) Alternatori a poli salienti. ( $p \gg 2$ )
- 3) Alternatori annessi a turbine a vapore. Aveva  $\rightarrow$  S. hanno  
 problemi dovuti alla velocità. Il rotore è un cilindro di acciaio  
 meniscato con pinnole superficiali scanalate in modo da accogliere un avv. distribuito  
 eccitato in c.c. - Macchine estremamente snelle



Statore uguale a quello del motore asincrono e mes. di core è  
 fatto l'avvolgimento (conduttori con raffreddatori ed emulsione di olio)

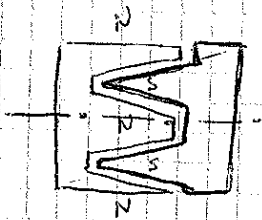
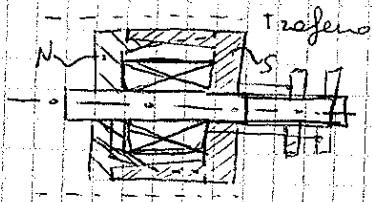
2) Il rotore è formato da una corona di grosse dimensioni radiali.

che porta incastri. Macchine a sviluppo radiale molto esteso, ma longitudinale molto ridotto.



Esistono anche gli alternatori CLAW-POLES che vengono usati per applicazioni a potenze minori.

Il rotore è tipicamente a 12 poli, ma con un unico avvolgimento di eccitazione disposto secondo l'asse di rotazione della macchina.



L'avvolgimento di eccitazione fa capo a 2 anelli di cui si può addurre corrente continua per alimentare l'avvolgimento. La fem generata verrà ridotta e di mettere l'impianto. Per mantenere costante la tensione bisogna regolare la corrente di eccitazione (che dipende da  $\phi$  e da  $\omega$ ).

Gli alternatori montano anche in assenza di eccitazione un magnetismo residuo. In alcuni casi si sfrutta questo residuo per far autoeccitare l'alternatore. Quindi la macchina sinistrale può essere considerata un generatore autorotante.

Non è stato usato come motore perché ci sono grossi problemi con l'avviamento. Sono stati usati piccoli motori con ben 1000 giri/min e molte coppie polari autoavvianti. Il limite è l'impossibilità di avviarsi.

Oggi con l'ulteriore sviluppo dell'inverter il problema dell'avviamento viene risolto. Rotori sinistri. Tipicamente hanno solo 2 magneti permanenti.

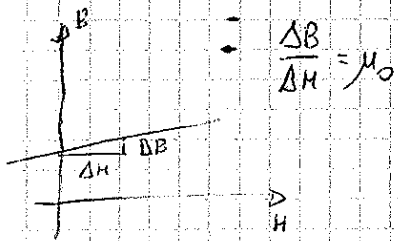


magnet superficiali (S.H.)



magnet interni (I.H.)

Le due soluzioni costruttive hanno una differenza. Rispetto ad una sorgente esterna i magneti permanenti alcuni si comportano come core. Quindi la versione con SM si presenta come una superf. di ferro liscia, quella IM con superficie dentata.



La macchina SM può essere considerata isotropa, mentre la IM non è isotropa.

Se non ci fossero i magneti la macchina ~~era~~ isotropa non ruoterebbe, mentre in quella anisotropa tenderebbe a ruotare perché i denti si allineerebbero al campo.

Nella macchina isotropa la coppia è dovuta solo ai magneti, in quella anisotropa si ha il contributo anche dei denti del rotore.

Esistono macchine a riluttanza variabile del tipo senza magneti permanenti.

Teoria lineare della macchina sincrona | isotropa

Ricordiamo:  
MONOFASE

$$\hat{A}_1 = \frac{z_p}{\pi} K_e \hat{I} = N' \hat{I}$$

TRIFASE

$$\hat{A}_1 = \frac{3}{2} \frac{z_p}{\pi} K_e \hat{I} = \frac{3}{2} N' \hat{I}$$

$$\hat{B}_t = \mu_0 \frac{\hat{A}_1}{K_e l_e}$$

$$\hat{\phi}_t = \hat{B}_t \cdot 2RL \quad \begin{matrix} \rightarrow \text{larghezza macchina} \\ \rightarrow \text{raggio telaio} \end{matrix}$$

$$\hat{\phi}_t = \frac{\hat{A}_1 \mu_0}{K_e l_e} \cdot \frac{2RL}{\frac{1}{\mu_0}} = \frac{\hat{A}_1}{R_t}, \quad R_t = \frac{K_e l_e}{\mu_0 2RL}$$

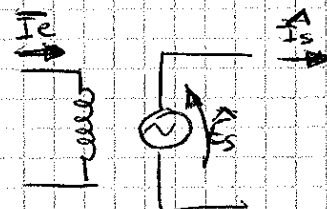
$$\hat{A} = \frac{z_p}{2} K_a \hat{\phi}_t$$

avvolgimento di eccitazione: costituito da  $z_e$  conduttori attivi

$$\hat{A}_{se} = N'_e \hat{I}_e$$

$$\hat{\phi}_e = \frac{N'_e \hat{I}_e}{R_e}$$

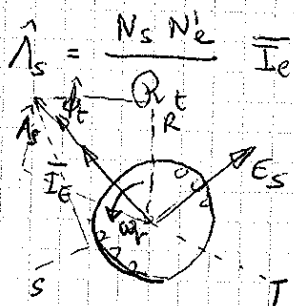
$$N'_e = \frac{z_e}{\pi} K_e(\omega)$$



$$\hat{A}_s = N_s \hat{\phi}_e$$

$$N_s = \frac{z_p}{2} K_e(\omega)$$





$$\hat{E}_{s0} = -j\omega_R \hat{I}_s = -j\omega_R \left( \frac{N_s N_e}{R_t} \right) \bar{I}_e$$

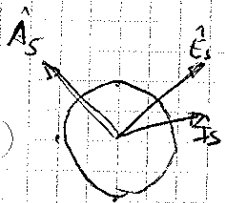
e vuoto

$X_M$

$$\hat{E}_{s0} = -j\omega_R M \frac{\bar{I}_e}{\sqrt{2}}$$

v. efficaci

Se l'alternatore è collegato ad un carico induttivo nasce una tensione di corrente  $I_s$  in ritardo rispetto ad  $\hat{E}_{s0}$ .  
 Le corrente  $\hat{I}_s$  e  $\hat{E}_{s0}$  reazione di indotto.



$$A_{Is} = \frac{3}{2} N_s \hat{I}_s$$

Al trasfeno venè modificalo el potenziale magnetico.

$$\hat{B}_e = \left( N_e \bar{I}_e + \frac{3}{2} N_s \hat{I}_s \right) \frac{\mu_0}{K_e l_t}$$

$$\phi_t = \frac{N_e \bar{I}_e + \frac{3}{2} N_s \hat{I}_s}{R_t}$$

$$\hat{I}_s = \frac{N_s \left[ (N_e \bar{I}_e) + \frac{3}{2} N_s \hat{I}_s \right]}{R_t}$$

$$\Rightarrow E_s = -j\omega N_s \frac{N_e \bar{I}_e + \frac{3}{2} N_s \hat{I}_s}{R_t} = -j\omega \underbrace{\left( \frac{N_s N_e}{R_t} \right)}_{M_{Es} [H]} \bar{I}_e - j\omega \underbrace{\left( \frac{N_s^2}{R_t} \right)}_{L_{RR}} \hat{I}_s$$

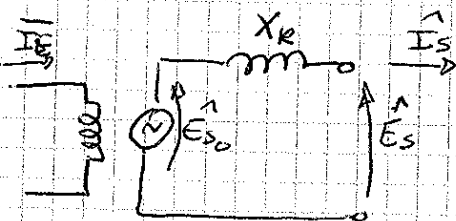
$\omega \cdot L_{RR} = X_R$

La macchina sincra non è a flusso costante.

$\frac{3}{2} \frac{N_s N_s}{R_t}$  è l'induttanza di magnetizzazione dell'avvolgimento statorico. È una pseudomductante che chiamano  $L_m$ .

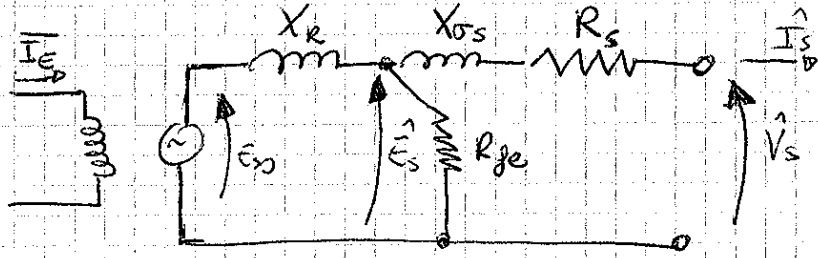
Tipicamente nelle macchine sincra è chiamata induttanza di reazione di indotto.

$$\hat{E}_s = \hat{E}_{s0} - j X_R I_s$$



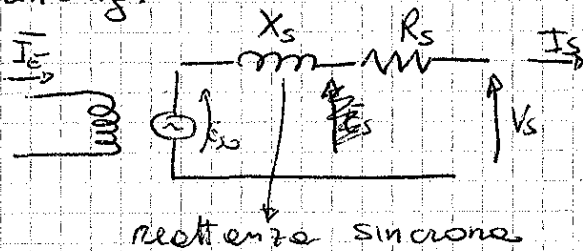
Manca ancora le perdite nei flumi dispersi.

$$\hat{V}_s = \hat{E}_{s0} - jX_r \hat{I}_s - jX_{os} \hat{I}_s - R_s \hat{I}_s$$



$X_{os}$  : reattanza di dispersione di fase.

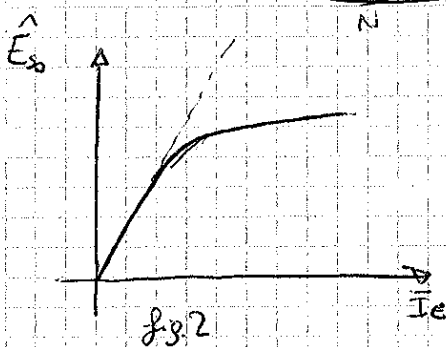
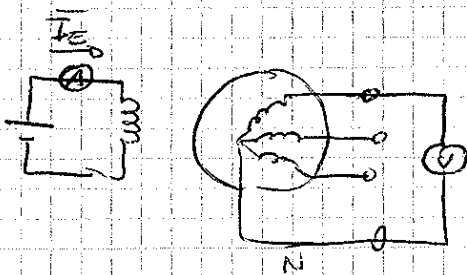
le perdite nel ferro sono solo sulle ~~stato~~ statari. Tipicamente  $R_{fe}$  è elevato e può essere trascurato.  $X_r$  è molto grande e limita la corrente ~~che la~~ macchina può erogare. Se noi chiedessimo la macchina in c.c. si avrebbe che la corrente di urcolo è molto piccola. le tecniche costruttive prevedono che il trafero sia di circa ~~1~~ 1 cm (rispetto al mm delle macchine e induttore). Questo fa sì che  $X_r$  venga ridotto. Questo circuito equivalente è quello delle Teorie di Behn Eschenburg.



CIRC. EQUIV. DI BEHN ESCHENBURG

Critiche a questo circuito: le condizioni magnetiche possono variare sensibilmente durante l'utilizzo, di conseguenza la saturazione magnetica assume un ruolo rilevante che non può essere studiato con il circuito di Behn Eschenburg.

Caratteristica di eccitazione e vuoto di un alternatore



Pongo in rotazione l'albero del motore a  $\omega = \text{cost.}$   
 Otengo una caratteristica del genere (Fig. 2)  
 le perdite iniziali e date dal trafero perché il ferro ha  $\mu_r \rightarrow \infty$ . Successivamente la perdita è data dalla saturazione del Fe.  
 Non è sufficiente usare la caratteristica a vuoto nel modello di Behn Eschenburg, perché non teniamo presente  $\hat{I}_s$ .

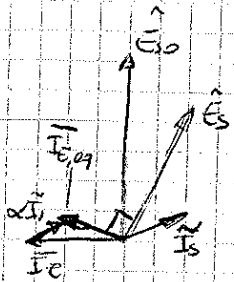
Devo quindi entrare nel diagramma con una  $\vec{I}_{E,eq}$  che tengo presente la reazione di indotto.  $\cos \alpha$

$$N'_E \vec{I}_{E,eq} = N'_E \vec{I}_E + \frac{3}{2} N'_S \frac{1}{\sqrt{2}} \vec{I}_S$$

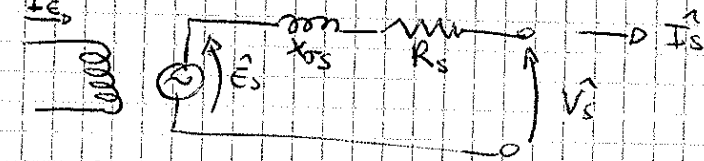
$$\vec{I}_{E,eq} = \vec{I}_E + \underbrace{\left( \frac{3}{2} \frac{N'_S}{N'_E} \right)}_{\alpha} \underbrace{\left( \frac{1}{\sqrt{2}} \vec{I}_S \right)}_{\vec{I}_S}$$

$\alpha$ : coeff. di Potier

$$\vec{I}_{E,eq} = \vec{I}_E + \alpha \vec{I}_S$$



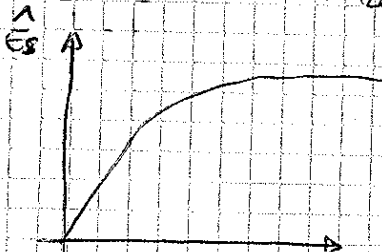
Circuito eq. di Potier



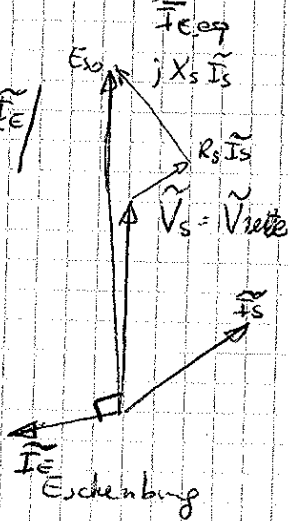
Le differenze rispetto a Behn Eschenburg sono:

- generatore di tensione  $\vec{E}_s$
- reattanza  $X_S$ .

caratteristiche di eccitazione a vuoto



$$|\vec{E}_{s0}| = \frac{\omega M_S \vec{I}_E}{\sqrt{2}}$$

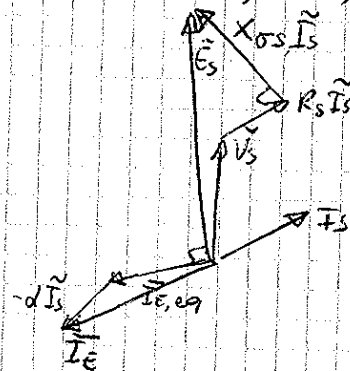


Behn Eschenburg

Voglio fornire una tensione  $\vec{V}_S$ , inoltre devo fornire una potenza  $P$  e  $Q$  (ho  $\vec{I}_S$  definito). Il problema è facile da risolvere con Behn Eschenburg perché si usano grandezze lineari. (Ovviamente devo conoscere  $X_S, R_S, \omega M_S$ ). Potier invece ha bisogno di  $\alpha$

parametri:  $X_S, R_S, \alpha$

e le caratteristiche di eccitazione). La relazione con Potier è più precisa di quella con Behn Eschenburg.



Potier.



Funzionamento da generatore autonomo

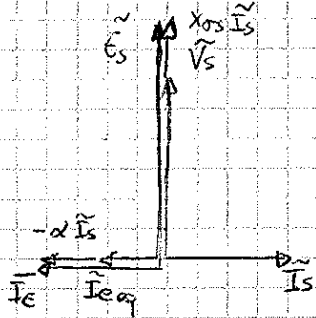
Analizziamo il funzionamento dell'alternatore quando la macchina non è collegata a rete.

L'ipotesi è  $R_s \ll \omega L_{ss}$ . Ricordiamo che.

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad L = N^2 \frac{\mu_0 S}{\rho}$$

Utilizziamo per l'analisi il circuito equivalente di Potier.

Carico induttivo



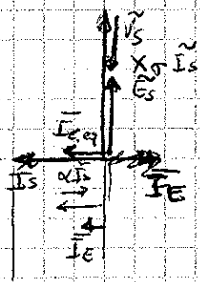
Ricordiamo che  $I_{E,eq}$  viene letto dalla caratteristica di eccitazione della macchina.

$$\bar{I}_{E,eq} = \bar{I}_E + \alpha \bar{I}_s \Rightarrow \bar{I}_E = \bar{I}_{E,eq} - \alpha \bar{I}_s$$

In presenza di carico induttivo la reazione d'indotto è di tipo smagnetizzante. In queste condizioni la macchina smuove si comporta come condensatore. Infatti fornisce all'induttanza la potenza reattiva di cui ha bisogno.

La reazione d'indotto è tale da ridurre l'eccitazione equivalente della macchina.

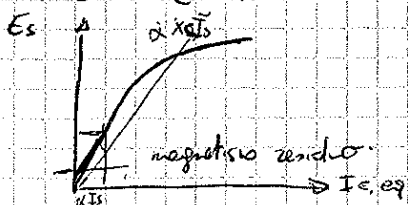
Carico capacitivo



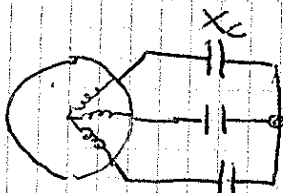
In questo caso si ha "l'auto eccitazione" della macchina smuove. La reazione d'indotto favorisce l'eccitazione della macchina.

In caso di carico capacitivo bisogna diseccitare la macchina, nel caso di carico induttivo bisogna eccitarla ulteriormente.

Una macchina smuove per autoeccitazione potrebbe non avere bisogno di  $I_E$  se il carico è capacitivo. Tipicamente a rotore

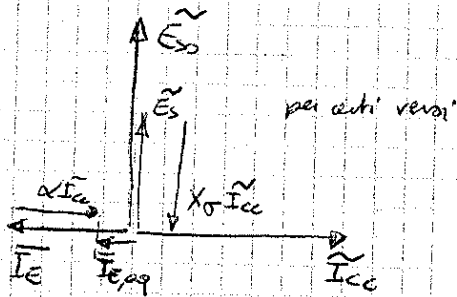


rimane un magnetismo residuo. L'alternatore è collegato ad un batteria di condensatori. Ponendo in rotazione la macchina nasce



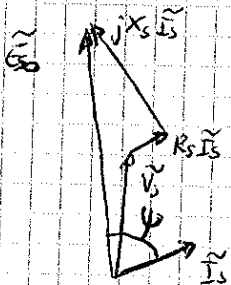
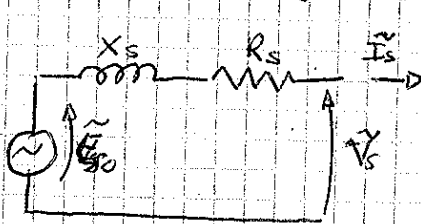
una g.e.m.  $E_{s0}$  e di conseguenza una corrente  $I_s$ . La corrente  $I_s$  fa sì che  $E_s$  aumenti. Il fenomeno si evolve fino al punto in cui  $\alpha X_c I_s$  sarà uguale a  $E_s$ . In questo caso si può eccitare la macchina senza corrente nel rotore.

Alternatore in corto circuito



Appena la macchina va in corto circuito la macchina si smagnetizza. L'alternatore si "autoprottegge" dal cortocircuito. Questo è il motivo per cui nei grandi alternatori  $I_{cc}$  è circa la ~~stessa~~ corrente nominale della macchina.

Bilancio energetico



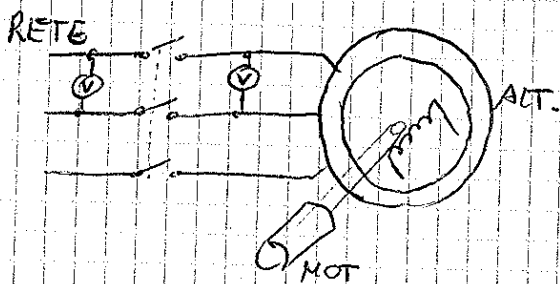
$$3 \tilde{E}_{s0} \times \tilde{I}_s = \underbrace{3 R_s I_s \times I_s}_{P_{mecc.}} + \underbrace{3 j X_s I_s \times I_s}_0 + \underbrace{3 \tilde{V}_s \times \tilde{I}_s}_{P_e}$$

$$3 \tilde{E}_{s0} \tilde{I}_s \cos \psi = P_{mecc.} = 3 \omega \frac{M_{es} \tilde{I}_e}{\sqrt{2}} \tilde{I}_s \cos \psi$$

$$C_m = 3 \frac{M_{es} \tilde{I}_e}{\sqrt{2}} \tilde{I}_s \cos(\psi)$$

Generatore non autonomo

Cioè non connesso alla rete di potenza prevalente (o potenza interna infinita).

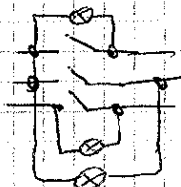
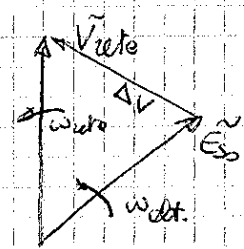


Dato avere tensione e frequenza uguali a quelle di rete. Quando chiuso l'interruttore ma non ha capacità e freq. uguali diversi correnti di interruzione altissime.

Prima di chiudere dobbiamo pare il rotore il motore in modo che la freq sia di 50 Hz e che la tensione prescelta sia uguale a quella di rete. È impossibile regolare la



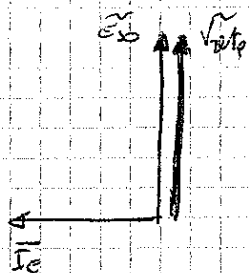
velocità dell'alternatore per fare sì che la freq. sia uguale a quella di rete. L'ideale sarebbe chiudere l'interruttore quando le 2 tens. sono in fase tra loro.



Posso fare sì che  $\tilde{V}_{rete} \approx E_{s0}$

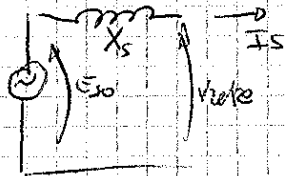
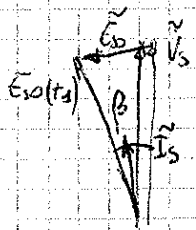
con un freq. posso fare sì che  $\omega_{rete} \approx \omega_{alt}$ .

Mi serve un misuratore di fase. Il più preciso è un set di lampelle disposte a canali dell'interruttore. Le lampelle tendono a splendere quando  $\tilde{E}_{s0}$  e  $\tilde{V}_{rete}$  sono in fase.



Negli istanti successivi alla chiusura dell'interruttore.

Se  $E_{s0}$  è più veloce della tensione di rete si ha di  $E_{s0}$  continuato e anche più veloce e anticiperà la tensione di un angolo  $\beta$ . Nascerà quindi corrente tra rete e alternatore.



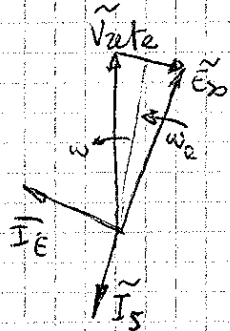
$$\tilde{I}_s = \frac{\tilde{E}_{s0} - \tilde{V}_{rete}}{jX_s}$$

$$P_{mec} = 3 \tilde{E}_{s0} \times \tilde{I}_{s0} > 0$$

$$P_e = 3 \tilde{V}_{rete} \times \tilde{I}_{s0} > 0$$

In questo momento l'alternatore manda potenza elettrica in rete. Il motore si vede come coppia resistente e si vede rallentare. Di conseguenza col tempo  $\tilde{E}_{s0}$  diventa sincrono con la rete.

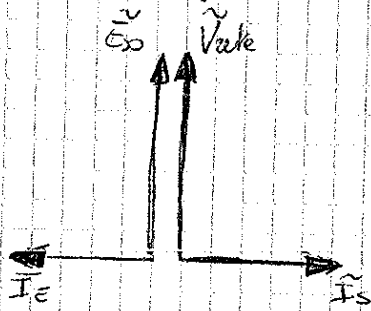
Se  $\omega_2 < \omega$



$$\tilde{I}_s = \frac{\tilde{E}_{s0} - \tilde{V}_{rete}}{jX_s}$$

Se  $P_{mec}$ , sia  $P_e$  hanno cambiato segno. Quindi si ha potenza meccanica trasmessa dalla rete. L'alternatore si trasforma in motore fino a quando non raggiunge il sincronismo.

Come facciamo a regolare la potenza reattiva? Partiamo dal funzionamento a vuoto (alternatore in perfetto smacco con la rete).



$P_{mecc} = 0$  (caso ideale di perdite nulle).

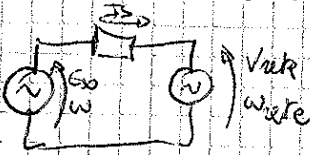
Voglio generare una  $\tilde{I}_s$  come in figura -  
Devo sovraccaricare il ~~motore~~ <sup>alternatore</sup>. In questo modo aumento  $|E_{s0}|$ . In questo modo  $\tilde{I}_s$  è puramente reattiva.

Il ~~motore~~ <sup>alternatore</sup> si comporta come condensatore.

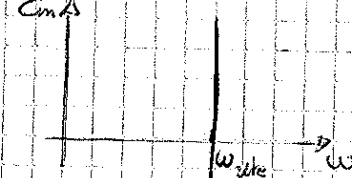
Se sotto eccitassi il ~~motore~~ <sup>alternatore</sup> si avrebbe  $|E_{s0}| < |V_{rete}|$  e  $\tilde{I}_s$  compirebbe sepo. Il ~~motore~~ <sup>alternatore</sup> si comporta come induttore.

Se voglio che l'alternatore fornisca P. attiva dovrò regolare il motore primo, se voglio che fornisca P. reattiva dovrò regolare l'eccitazione.

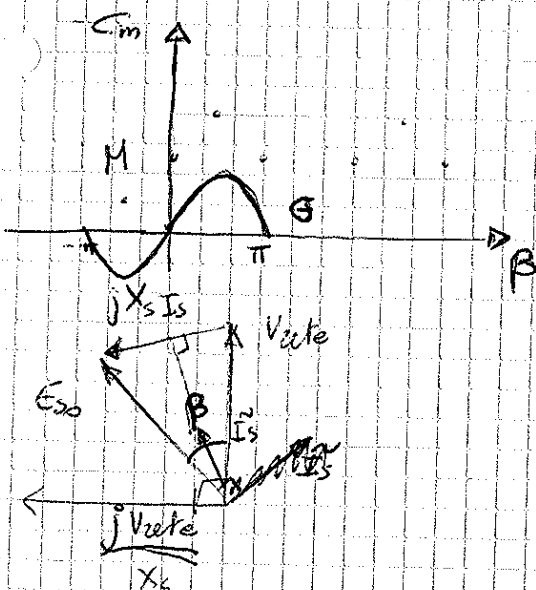
Se la macchina es. e quella rete non sono smaccati non si ha potenza scambiata.



Se  $\omega_{rete} \neq \omega \Rightarrow P = 0$



caratteristiche di coppia poco significative



$$P_{mecc} = 3 \tilde{E}_{s0} \times \tilde{I}_s$$

$$C_{mecc} = \frac{3 \tilde{E}_{s0}}{\omega} \times \tilde{I}_s$$

$$\tilde{I}_s = \frac{\tilde{E}_{s0} - \tilde{V}_{rete}}{jX_s}$$

$$C_{mecc} = \frac{3 \tilde{E}_{s0}}{\omega} \times \frac{\tilde{E}_{s0} - \tilde{V}_{rete}}{jX_s} =$$

$$= \frac{3}{\omega jX_s} \left[ \tilde{E}_{s0} \times \tilde{E}_{s0} - \tilde{E}_{s0} \times \tilde{V}_{rete} \right] =$$

$$= + \frac{3}{\omega} \frac{\tilde{E}_{s0} \tilde{V}_{rete}}{X_s} \cos(90^\circ - \beta)$$

$$C_{mecc} = \frac{3}{\omega} \frac{\tilde{E}_{s0} \tilde{V}_{rete}}{X_s} \sin(\beta)$$

$\beta$ : angolo tra  $\tilde{E}_{s0}$  e  $\tilde{V}_{rete}$

$C_m > 0$  Generatore  
 $C_m < 0$  Motore

Se il motore non dà coppia allora  $\beta = 0$ .

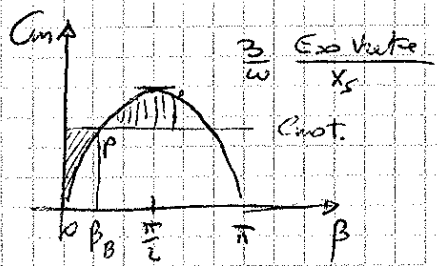
Se aumentiamo la coppia il motore <sup>più</sup> accelera fino a questo raggiunge il punto di equilibrio. Si può ancora aumentare la coppia. Se si supera la coppia max del generatore allora non si ha più il sincronismo.  $\beta$  continuerà ad aumentare, l'alternatore perde il passo e non è più in grado di fornire potenza elettrica in rete.

$$C_{max} = \frac{3}{\omega} \frac{E_{s0} V_{rete}}{X_s}$$

Lo stesso ragionamento può essere fatto in presenza di carico resistente che tende a frenare la macchina sincrona.

Se l'alternatore si sta spostando verso la  $C_{max}$  possiamo o diminuire la coppia fornita dal motore puro oppure aumentare la corrente di eccitazione.

Le macchine sincrone è in grado di funzionare in modo stabile con  $-\frac{\pi}{2} < \beta < \frac{\pi}{2}$ . (stabilità statica, cioè se punti vicini a  $\pm \frac{\pi}{2}$  sono stabili se raggiunti molto lentamente).



Supponiamo di dare un gradino di coppia. Antenna di stab. statica.  $P$  è il punto di equilibrio.

In  $t=0$   $\omega_0 = \omega_{rete}$ . In tal caso l'alternatore accelera finché non raggiunge  $\beta_p$ . Ma

in quel punto l'alternatore avrà velocità maggiore di  $\omega_{rete}$ . Per cui  $\beta$  continuerà a crescere e il punto di funzionamento si sposterà verso

$$\int_{\beta=0}^{\beta_p} (C_m - C_r) d\beta = \text{area di energia cinetica (area triang. obliqua)}$$

Quando le 2 aree tratteggiate sono uguali si ha che  $\omega_{rete} = \omega_2$ .

Rischio di perdite del passo se con l'area tratteggiate verticali non riesco ad equilibrare l'area obliqua. Il gradino massimo si ha

per le due aree tratteggiate uguali. Inoltre rispetto ad un punto di equilibrio  $P$  corrispondente ad un angolo  $\beta_0 = \Delta\beta$

$$C_m - C_{max} \sin(\beta_0) = 0 \quad \leftarrow \text{perché non ci sono oscillazioni}$$

$$C_m - C_{max} \cos(\beta_0 + \Delta\beta) = \frac{J d\omega_2}{dt} \quad \leftarrow \text{se si hanno oscillazioni rispetto a } \beta_0$$



$$C_m - C_{max} (\sin \beta_0) \underbrace{\cos \Delta\beta}_{\approx 1} - C_{max} \underbrace{\sin(\Delta\beta)}_{\approx \Delta\beta} \cos \beta_0 = J \frac{d\omega_2}{dt}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} C_m - C_{max} \sin \beta_0 - C_{max} \cos(\beta_0) \Delta\beta = J \frac{d\omega_2}{dt} \\ \omega_2 - \omega = \frac{d\Delta\beta}{dt} \end{array} \right.$$

$$- C_{max} \cos \beta_0 \Delta\beta = J \frac{d^2\Delta\beta}{dt^2} \quad \text{variazione sinusoidale nel tempo della gradiente } \Delta\beta$$

$$\frac{d^2\Delta\beta}{dt^2} + \frac{C_{max} \cos \beta_0}{J} \Delta\beta = 0$$

$$\Delta\beta = \Delta\beta_{max} \cos(\omega^* t)$$

$$\omega^* = \sqrt{\frac{C_{max} \cos \beta_0}{J}}$$

Questo fenomeno è detto oscillazione pendolare dell'alternatore.

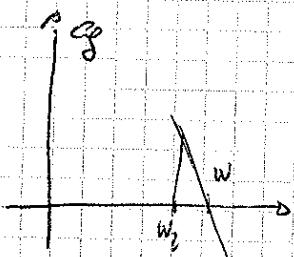
Questa equazione non ha termini di smorzamento. Come viene fatto per impedire queste oscillazioni? Viene aggiunto

$\frac{K}{dt} \Delta\beta$  - l'equazione sarà:

$$\frac{d^2\Delta\beta}{dt^2} + K \frac{d\Delta\beta}{dt} + \frac{C_{max} \cos \beta_0}{J} \Delta\beta = 0$$

Questa equazione è dotata di un termine di smorzamento con costante di tempo  $\frac{K}{2}$ . Per ottenere un'equazione del genere è necessario inserire nel rotore una gabbia di sbarre sciolte. Avremo perciò una coppia resistente

$$C_g = K (\omega_2 - \omega)$$

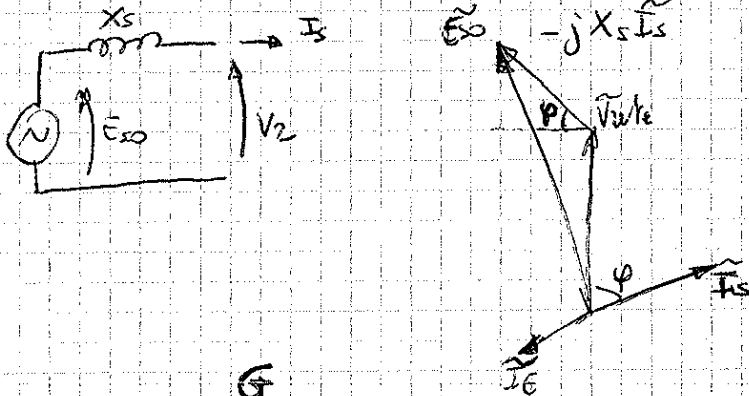


$$C_g = K \frac{d\Delta\beta}{dt}$$

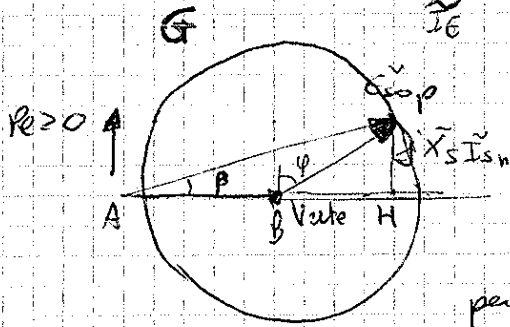
La gabbia svolge un'azione di smorzamento delle oscillazioni, viene chiamata "gabbia smorzatrice". Ricordiamo che sono considerazioni di primissime appross. e che sono state analizzate con un modello statico e non dinamico.

Spero la gabbia smorzatrice viene utilizzata per portare l'alternatore al sincronismo, senza usare un motore primo.

Possibilità di impiego di un alternatore



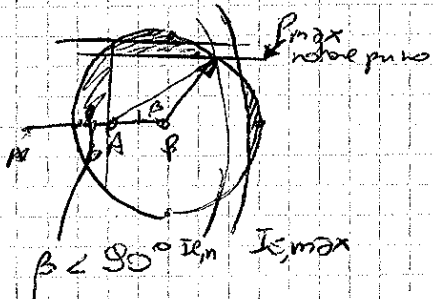
Ritolti ad il disegno vettoriale e si separa il triangolo  $\vec{E}_0 - \vec{V}_2 - jX_s \vec{I}_s$



La circonferenza indica  $\vec{E}_0$  in termini di modulo di costante costante. Qualsiasi punto all'interno della circonferenza è accettabile (almeno per quanto riguarda la sollecitazione termica dello statore).

Consideriamo ora l'altezza PH. PH può rappresentare la potenza elettrica che l'alternatore sta inviando in rete. Tutti i punti al di sopra del diametro sono la regione per cui le macchine si comportano da generatore.

Consideriamo anche altri limiti: - meccanici (stabilità statica) - potenza max motore primo



Possiamo definire ulteriori grandezze nominali:  $P_n = \cos(\beta_n) P_{max}$

$P_n$  è 3 volte  $I_{sn}$

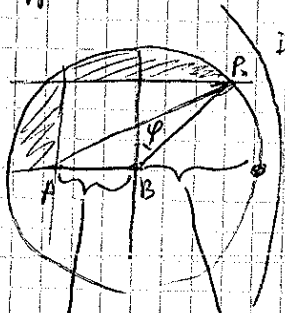
$\cos \beta_n$  il minimo valore del  $\cos \phi$  e cui l'alternatore può ancora erogare la potenza massima fornita dal motore primo.

Posso lavorare con Behn Eschenburg  $\vec{E}_0$  ed  $I_e$ . In particolare nel diagramma  $\vec{E}_0$  rappresenta  $I_e$  nominale. Tuttavia gli alternatori sono sovrecaricabili. Quindi in generale

$I_{e,max} > I_{e,n}$

io  $I_{e,n}$  <sup>non ha</sup> ~~non ha~~ solo valenza termica. Questo mi permette di mantenere la potenza apparente costante ancora per un certo  $\Delta i$  alla circonferenza. Oltre la linea di  $I_{e,max}$  non è più possibile garantire la potenza apparente massima.

Se l'alternatore è destinato a funzionare come condensatore si muove al limite della  $I_E, \max$  deve essere esteso al limite della potenza apparente max.

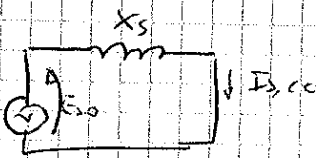


Se voglio far funzionare l'alternatore come condensatore

zona funzionamento se condensatore si muove  
 zona funzionamento se induttore si muove.

Funzionamento in c.c.

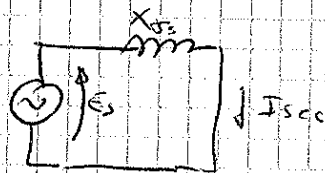
B. c.



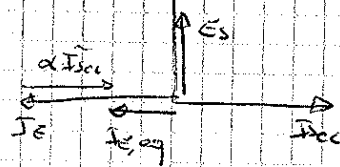
$$I_{s,cc} = \frac{E_{s0}}{jX_s}$$



Potier

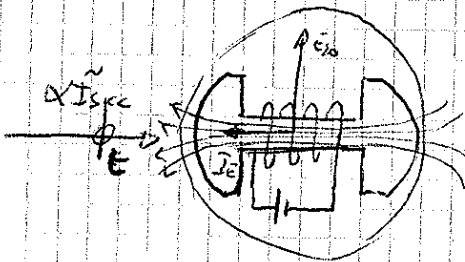


$$I_{s,cc} = \frac{E_s}{jX_{s0}}$$



In transitorio le correnti di tutto circuito sono più alte.

supponiamo che l'alternatore venga in c.c. - Si genera una corrente  $\tilde{I}_{s,cc}$  che tende a magnetizzare il filo di eccitazione in misura  $\alpha \tilde{I}_{s,cc}$  l'avvolgimento di eccitazione nelle un gioco corrente di tutto di



mantenere costante  $\phi_e$ . Nei primi istanti  $I_e$  pare ad un valore  $I_E = I_e + \alpha \tilde{I}_{s,cc}$ , tale da mantenere  $\phi_e$  costante. La corrente di c.c. quindi può diventare particolarmente intensa.

Si dice che  $I_{cc}$  viene ricavata dividendo  $E_{s0}$  per la reattanza transitoria della macchina sincrona che è dell'ordine di grandezza di  $X_{s0}$ .



# MACCHINA SINCRONA come MOTORE

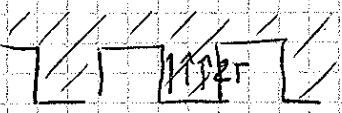
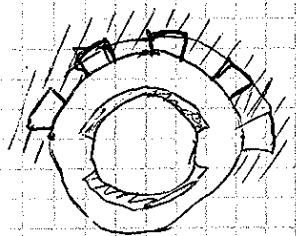
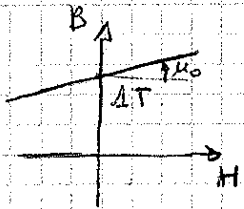
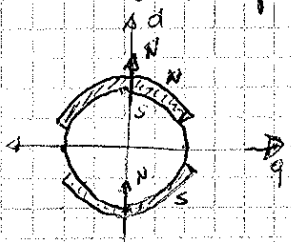
Ricordiamo che quando si parla di macchina sincrona come motore si parla di macchina sincrona a magneti permanenti.

I magneti che vengono usati sono caratterizzati da 2 parametri:

- induzione residua ( $\approx 1T$ )
  - campo coercitivo ( $i \approx \frac{1T}{\mu_0}$ )
- } Sinter Cobalto  
AlFeCo

Le tipologie di magneti che raggiungono questi valori sono molto costosi. Si usano di più e fatti di meno valori di induzione residua di  $\approx 0,3 \pm 0,4T$ .

Di solito lunghezza dente e lunghezza cave sono una uguale.



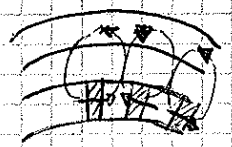
$B_d = 2T \rightarrow$  il flusso del dente tende a saturare.

Se usiamo materiali tipo sinter Cobalto

fatti si possono sistemare i magneti in modo diverso.

Si ha il rotore simile ad un orologio in cui i magneti vengono sistemati come in figura.

Con una situazione del genere posso avere un'induzione al trafero di  $0,7 \pm 0,8T$ .



Non mi interessa tanto  $V_a$ , me ne frega per effetto di  $V_a$  ci sia una corrente  $\frac{I_s}{\omega}$  sinusoidale con la macchina.

$$\vec{I}_s = \vec{I}_{sd} + \vec{I}_{sq}$$

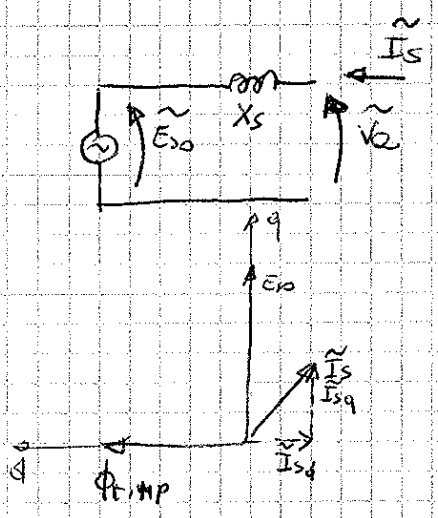
$$C_m = \frac{3 \vec{E}_{s0} \times \vec{I}_s}{\omega} = \frac{3 \vec{E}_{s0} \vec{I}_{sq}}{\omega}$$

Per avere la max coppia possibile bisogna mettere  $\vec{I}_s$  in fase q. In questo caso si ha una componente con la macchina c.c.

infatti se  $I_s = I_{sq}$  si ha

$$C_m = \frac{3 E_{s0} I_s}{\omega}$$

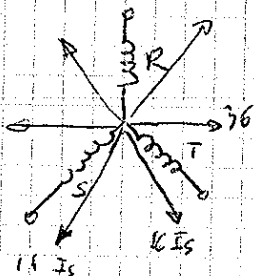
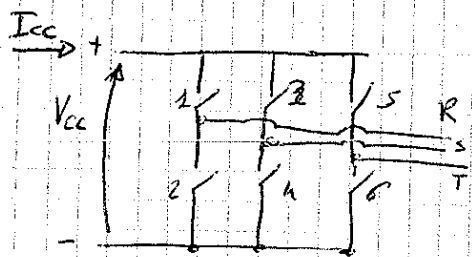
che è formata identica a quella della macchina m.c.c.



Il problema fondamentale è mettere  $I_s$  nello statore in modo che la macchina possa avviarsi.

La freq  $I_s$  si dovrà mettere alle velocità del motore. Il vettore  $I_s$  dovrà sempre essere ortogonale all'asse d.

Un metodo molto usato prevede una selezione del fase



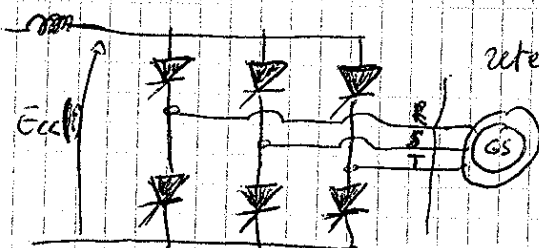
16  
16  
36  
32  
52  
54  
corrente in R e S

Sono in grado di impostare 6 posizioni fisse nello spazio per il vettore  $I_s$ . Questo è un commutatore elettronico.

Commutato in modo da mantenere il più ortogonale possibile la corrente  $I_s$  rispetto al flusso.

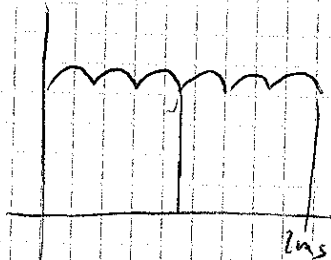
Questa tecnica è eseguita alla posizione del rotore. Questa tecnica è detta "2-phases ON".

Questa struttura potrebbe essere a diodi controllati.



Possono pensare di trasferire potenza alla rete AC. Se riusciamo ad avere  $\alpha = 180^\circ$  avremo  $\cos \phi = 1$

$\leftarrow P \rightarrow$

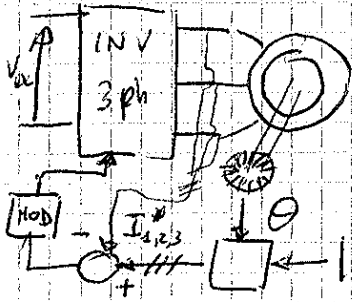


da garantire fem di rete tali da far commutare il ponte.

$P = E_{cc}(t) \cdot I_{cc}$  la  $\cos \phi$  avrà valore simile a quello di  $E_{cc}(t)$ .

Perché il motore possa autoeccitarsi è necessario che la macchina sia sufficientemente alta

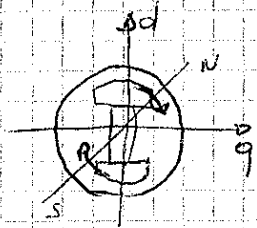
Nel caso di piccoli motori brushless si ricorre alle strutture "3-phases ON". AOC è un invertito. L'invertito è in grado di alimentare in contemporanea le 3 fasi rendendo il vettore  $I_s$  con continuità.



Pero confrontare i 3 segnali di corrente sulle 3 fasi con un 3 riferimenti.

La coppia sarà ancora effetto di un ripple dovuto allo freq di commutazione dell'inverter.

Ci possono essere motori brushless in cui non sono presenti magneti permanenti. Sono le "macchine a riluttanza". Sfruttando



questa anisotropia si può sfruttare questa macchina come macchina sincrona. La coppia prodotta non dipende dall'eccezione o ~~modo~~ <sup>meno</sup> del rotore.

La posizione del rotore corrente non può essere più a  $90^\circ$ . Si può dimostrare che la posizione migliore

è a  $45^\circ$ . Macchine molto robuste.

Soluzi<sup>o</sup>ne più usate e quello costruttivo del rotore

