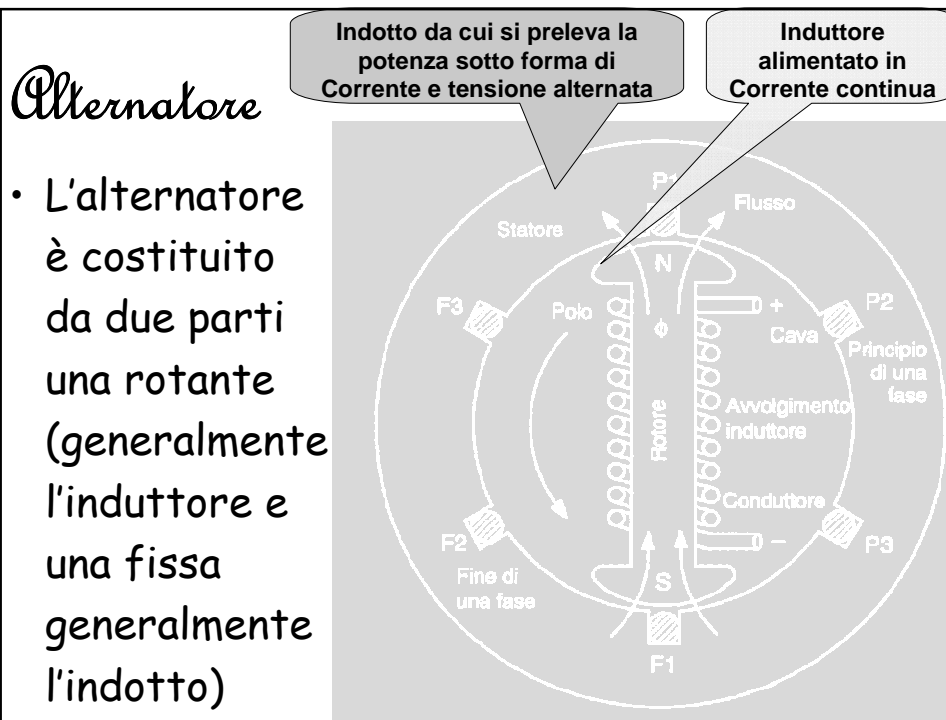


Gli alternatori

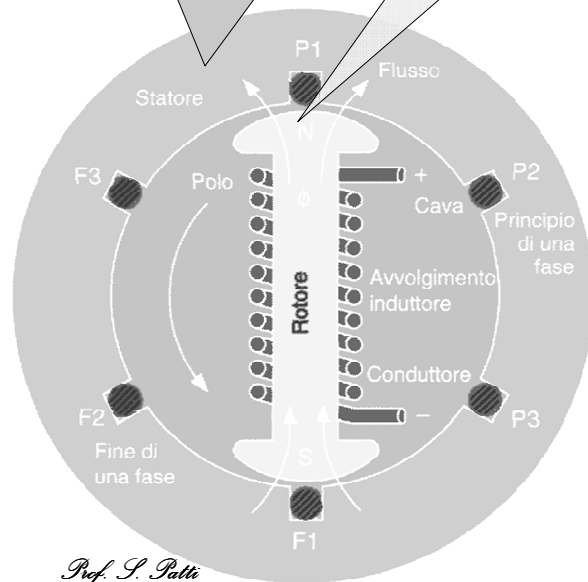


Alternatore

- L'alternatore è una macchina elettrica capace di trasformare l'energia meccanica in energia elettrica caratterizzata da tensione e corrente alternate.

Indotto da cui si preleva la potenza sotto forma di Corrente e tensione alternata

Induttore alimentato in Corrente continua

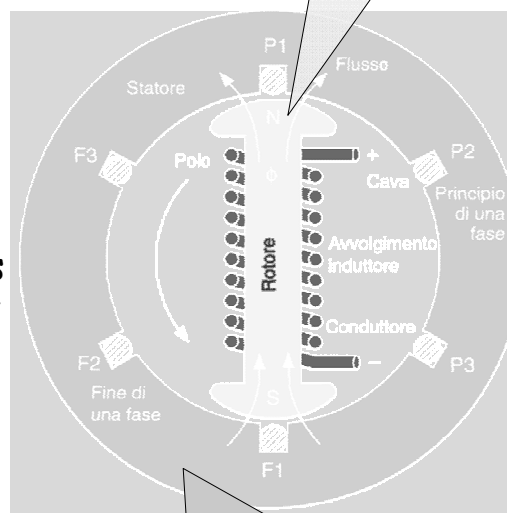


Prof. S. Patti

Alternatore

- Il numero di giri dell'induttore è di alcune centinaia di giri/minuto se viene azionato da turbine idrauliche oppure a gas o da motori diesel, e di qualche migliaio di giri/minuto se accoppiato a turbine a vapore.

Induttore alimentato in Corrente continua



Indotto da cui si preleva la potenza sotto forma di Corrente e tensione alternata

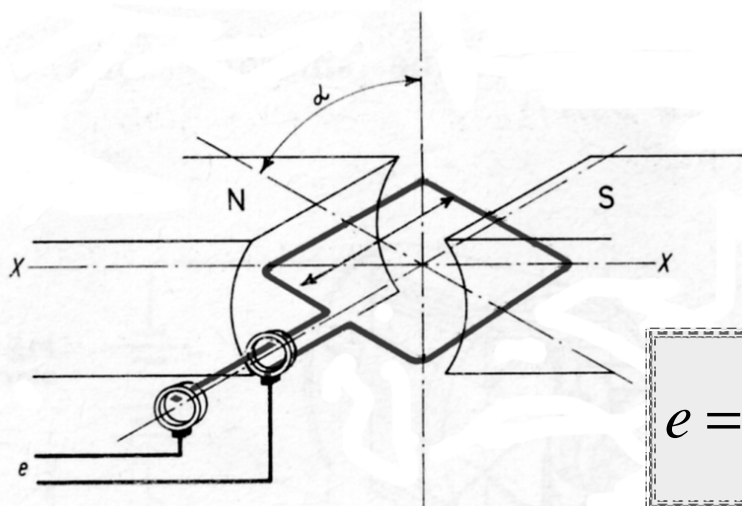
Alternatore velocità del rotore

- di qualche migliaio di giri/minuto se accoppiato a turbine a vapore dipende quindi dalla velocità del motore primo, ma in funzione di essa varia il numero dei poli per poter mantenere la frequenza costante.

$$n = \frac{60f}{p}$$

Prof. S. Patti

Principio di funzionamento



$$e = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

$$\Delta \Phi = B \cdot \Delta S$$

Principio di funzionamento

$$E = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

$$\Delta \Phi = B \cdot \Delta S$$

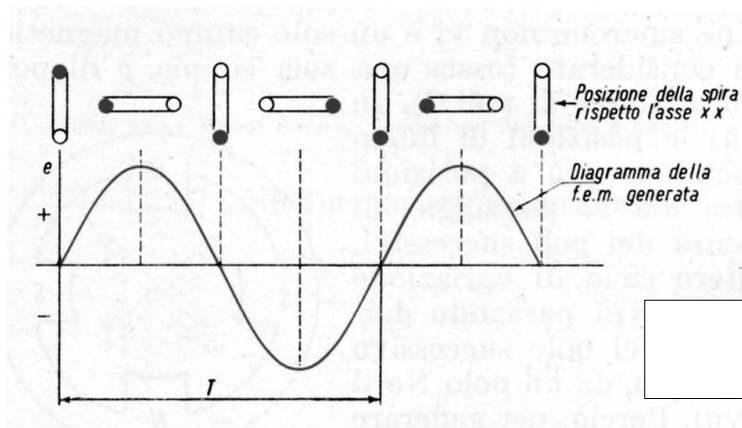
$$E = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = - \frac{B \cdot \Delta S}{\Delta t} = -B \cdot l \cdot \frac{\Delta s}{\Delta t} = -B \cdot l \cdot v$$

$$E = K \cdot f \cdot \Phi \cdot N$$

Prof. S. Patti

Principio di funzionamento

- La f.e.m. generata nella spira della diapositiva precedente segue una legge sinusoidale



Principio di funzionamento

- La corrente, trasportata alle bobine dei poli tramite il collegamento anelli-spazzole, crea in essi un flusso Φ che uscendo dal polo nord attraversa il traferro dove si suddivide e si richiude attraverso i due poli sud contigui.

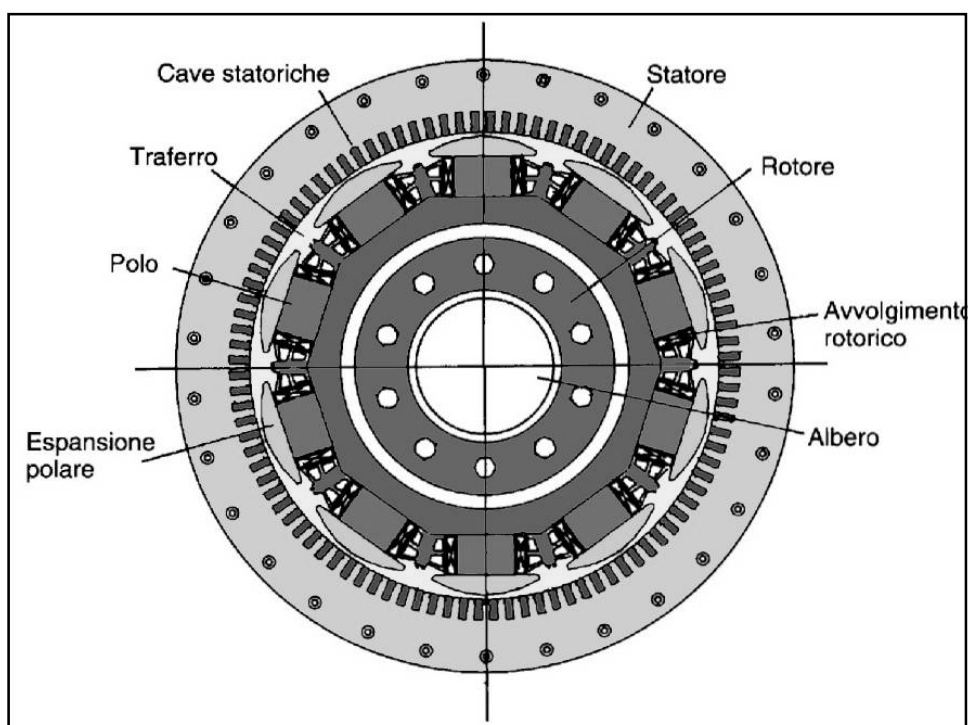
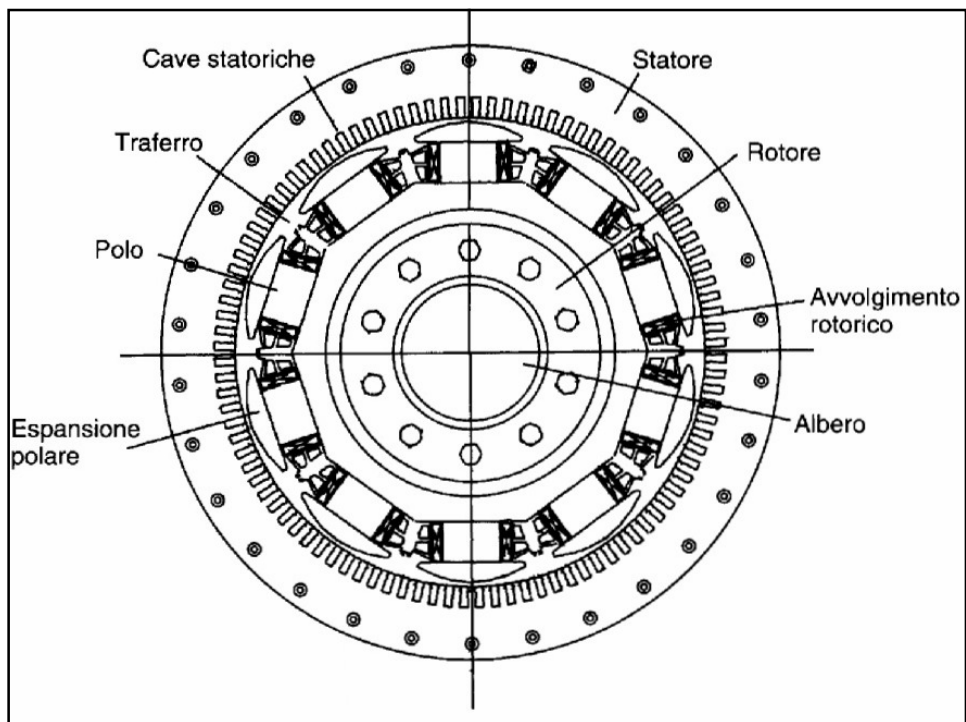
$$E = K \cdot f \cdot \Phi \cdot N$$

Prof. S. Patti

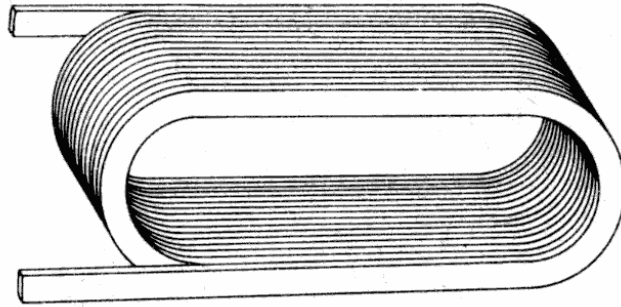
Alternatori

- Lo statore ed il rotore, di forma cilindrica, sono tra loro separati da uno strato d'aria chiamata **traferro**.
- Il rotore è composto dai poli, costituiti dai **nuclei** e dalle **espansioni polari**, calettati su un mozzo solidale all'albero.

Prof. S. Patti



Avvolgimento per espansione polare

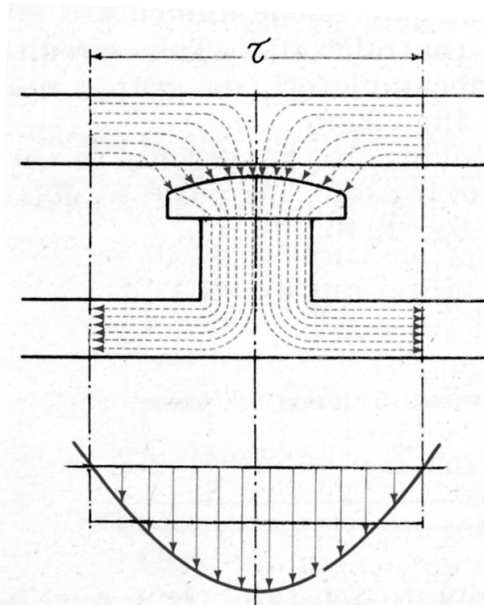


A volte l'avvolgimento dell'espansione polare viene realizzato in piattina di rame

Prof. S. Patti

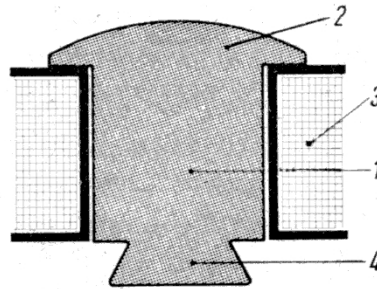
Principio di funzionamento

- Per rendere la tensione generata il più possibile sinusoidale le espansioni polari vengono opportunamente sagomate.



Principio di funzionamento

- Su ogni nucleo è avvolta una bobina percorsa da una corrente continua chiamata corrente di eccitazione.

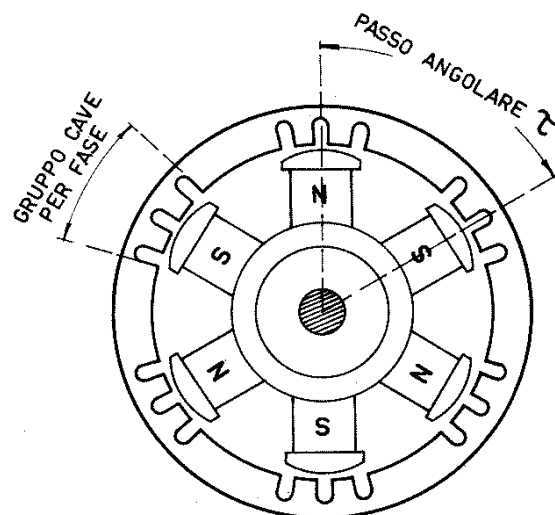


- Espansioni polari di un rotore a poli salienti.

- 1 - Nucleo polare
- 2 - Espansione polare
- 3 - Avvolgimento induttore
- 4 - Sistema di fissaggio del polo nel mozzo od alla raggera del rotore mediante incastro a coda di rondine.

Principio di funzionamento

- Questa dispone di un verso tale da creare alternativamente nei nuclei un polo nord e un polo sud.



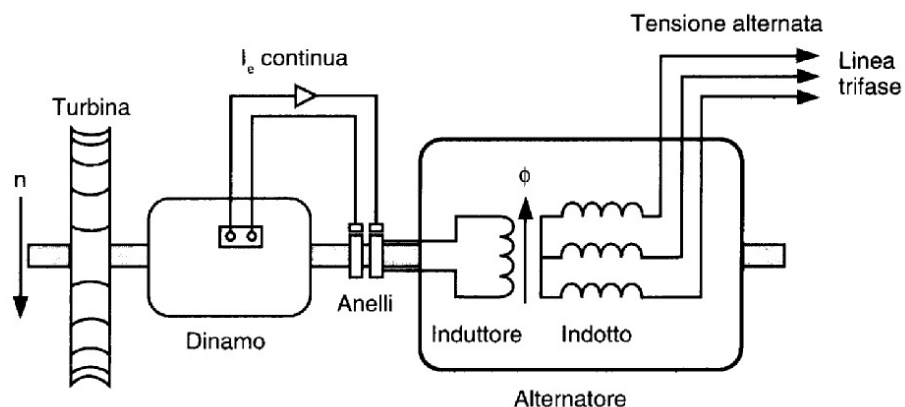
Prof. S. Patti

Principio di funzionamento

- La corrente di eccitazione viene fornita da una dinamo, chiamata dinamo eccitatrice, coassiale all'albero su cui è montato il rotore o da altra sorgente.
- Gli estremi dell'avvolgimento della dinamo eccitatrice sono fissati a due anelli isolati tra loro e dall'albero su cui sono calettati.

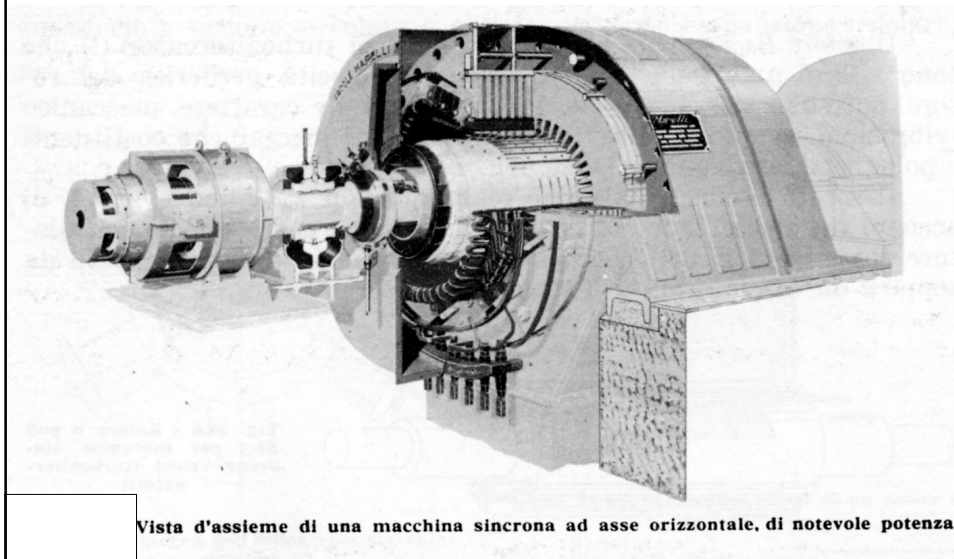
Prof. S. Patti

Gruppo turbina - dinamo - alternatore.



Prof. S. Patti

Alternatore



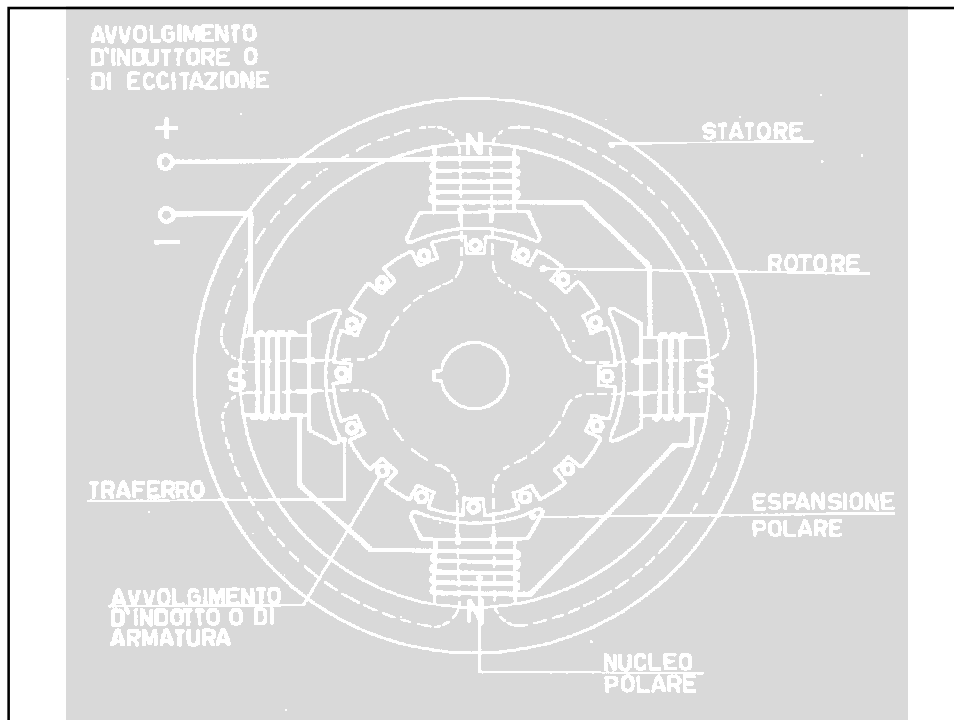
Vista d'assieme di una macchina sincrona ad asse orizzontale, di notevole potenza.

Prof. S. Patti

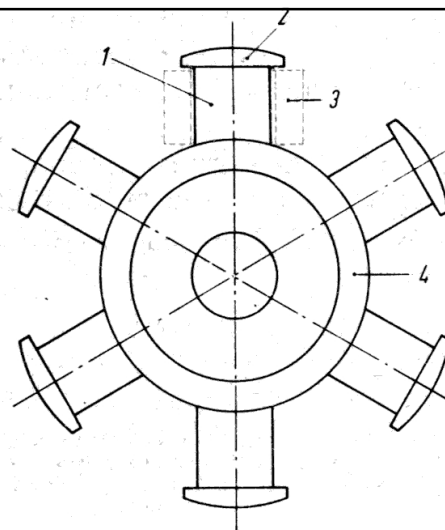
Principio di funzionamento

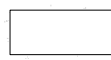
- Oltre alla disposizione che vede come avvolgimento indotto lo statore e come induttore il rotore, si può adottare la soluzione inversa, del tutto equivalente dal punto di vista elettromagnetico.
- La prima soluzione viene tuttavia preferita per ragioni costruttive.

Prof. S. Patti



Ruota polare



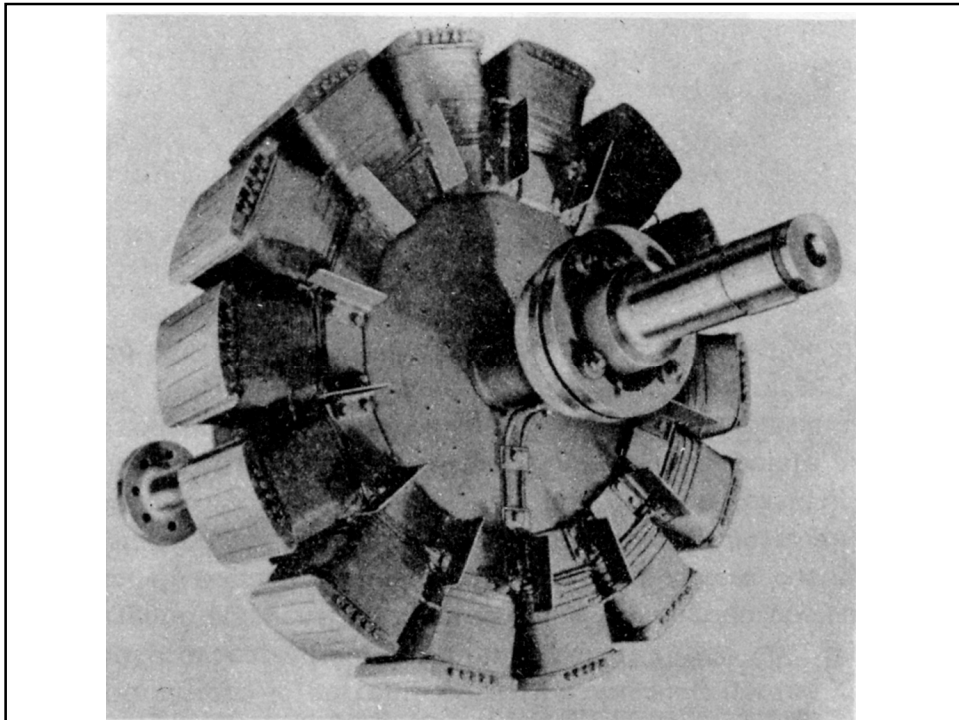
 - Rotore a poli salienti per macchine sincrone.

1 - Nucleo polare

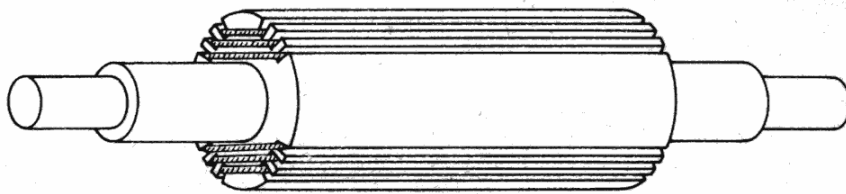
2 - Espansione polare

3 - Spazio occupato dall'avvolgimento induttore

4 - Corona

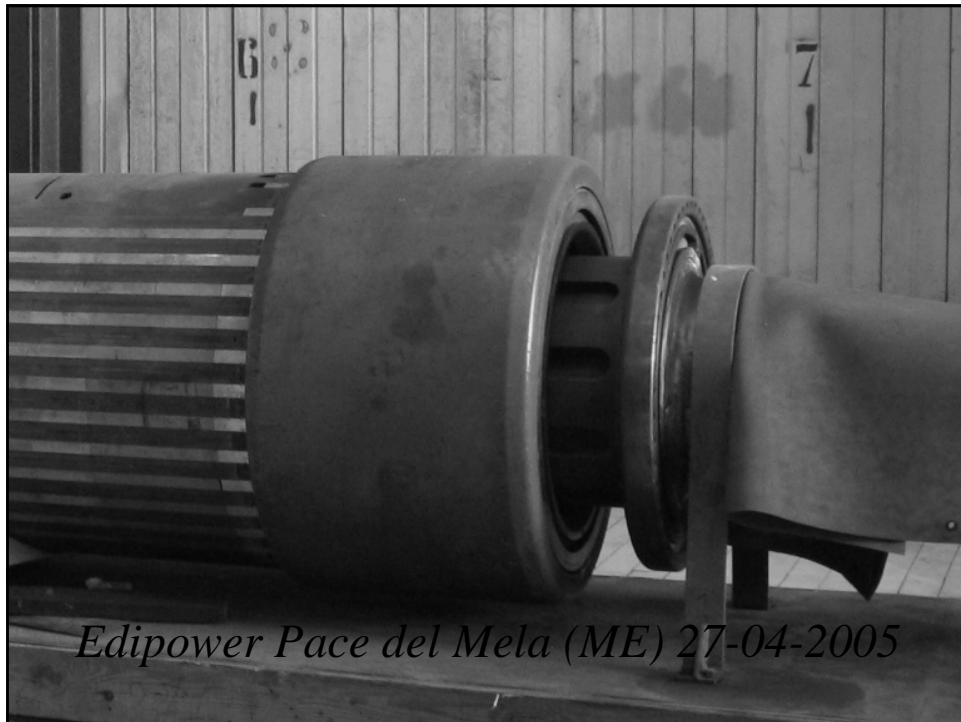


Turborotore



- Nelle macchine di notevole potenza alimentate da turbine veloci le dimensioni del rotore crescono in lunghezza

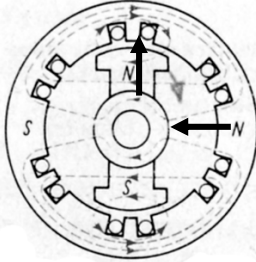
Prof. S. Patti





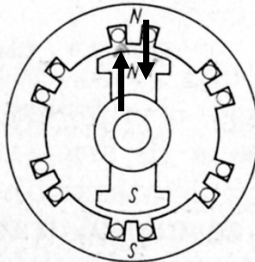
Alternatore a carico

Coppia resistente



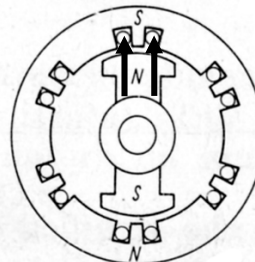
$\cos\phi=1; \phi=0^\circ$
Carico ohmico

Smagnetizzazione



$\cos\phi=0; \phi=90^\circ$ R
Carico induttivo

Magnetizzazione



$\cos\phi=0; \phi=90^\circ$ A
Carico Capacitivo

Prof. S. Patti

Parallelo dell'alternatore

- Affinché due o più alternatori funzionino in parallelo occorre che le curve delle tensioni da essi prodotte coincidano esattamente.
- Infatti, se così non fosse, si avrebbero delle differenze istantanee di tensione che provocherebbero circolazione di corrente fra le due macchine.

Prof. S. Patti

Parallelo dell'alternatore

Per realizzare la suddetta condizione è necessario che le due macchine abbiano:

- **a) uguali le tensioni;**
- **b) uguali le frequenze;**
- **e) uguali le fasi;**
- **d) uguale senso ciclico delle fasi (nel caso di macchine trifasi).**

Prof. S. Patti

Parallelo dell'alternatore

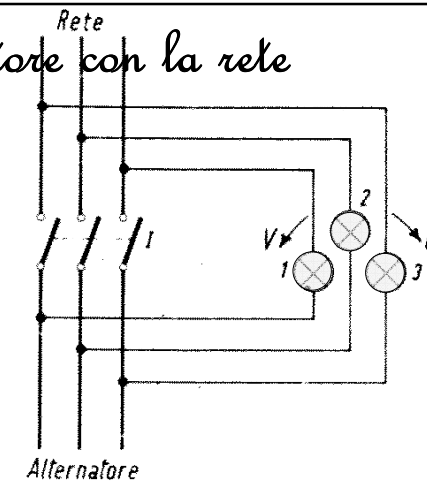
Ciò premesso, per collegare un alternatore a un altro alternatore già funzionante è necessario:

1. portare l'alternatore che deve essere inserito in parallelo a **velocità uguale o prossima** a quella di **sincronismo**;
2. eccitare l'alternatore fino a che il voltmetro segni la **stessa tensione** dell'alternatore già funzionante
3. regolare la **velocità** dell'alternatore da collegare fino a quando sinusoidi non coincidono esattamente
4. chiudere l'interruttore di macchina quando le **lampade** sono spente o lo **zerovoltmetro** segna zero o il **sincronoscopio** rallenti fino quasi a fermarsi nella posizione di riferimento.

Prof. S. Patti

Parallelo dell'alternatore con la rete

1. - regolare la velocità dell'alternatore da collegare fino a quando le lampade rimangano spente per un tempo sufficientemente lungo (quando le sinusoidi non coincidono le lampade si accendono e si spengono con una successione (battimenti) tanto più rapida quanto maggiore è la differenza di frequenza) e chiudere l'interruttore di macchina quando le lampade sono spente.



- Inserzione delle lampade di parallelo. A seconda del senso di accensione delle lampade si può rilevare se la velocità della macchina è eccessiva (V), oppure lenta (L). L'interruttore I si chiude quando la lampada 2 è spenta.

Prof. S.

Parallelo fra due alternatori

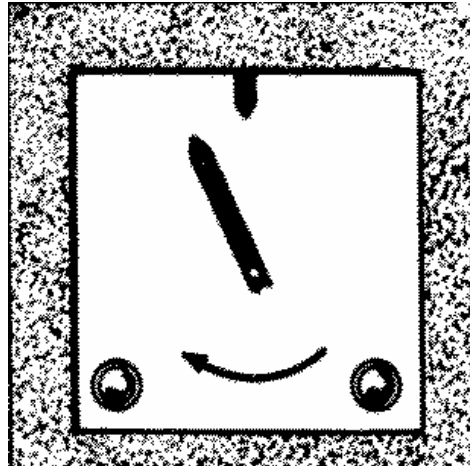
- Infatti le lampade rimangono spente quando ai loro morsetti sono applicate tensioni uguali.
- Eventuali piccole differenze delle frequenze vengono eliminate dal manifestarsi di una coppia sincronizzante dovuta alla corrente di circolazione.

Prof. S. Patti

Parallelo dell'alternatore

Sincronoscopio

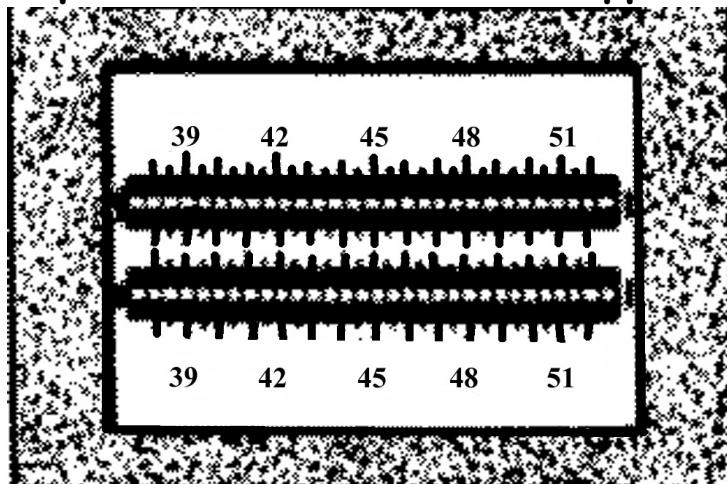
- Regolare la velocità dell'alternatore fino a quando la lancetta ruota nel verso indicato.
- chiudere l'interruttore quando la lancetta ruota lentamente e giunge in prossimità del riferimento



Prof. S. Patti

Parallelo dell'alternatore

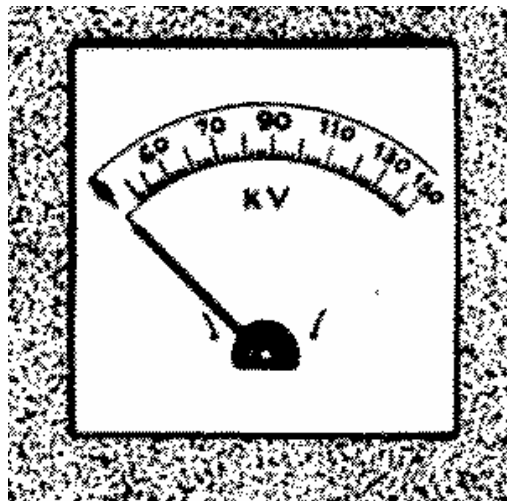
Frequenzimetro a lamelle a doppia scala



Prof. S. Patti

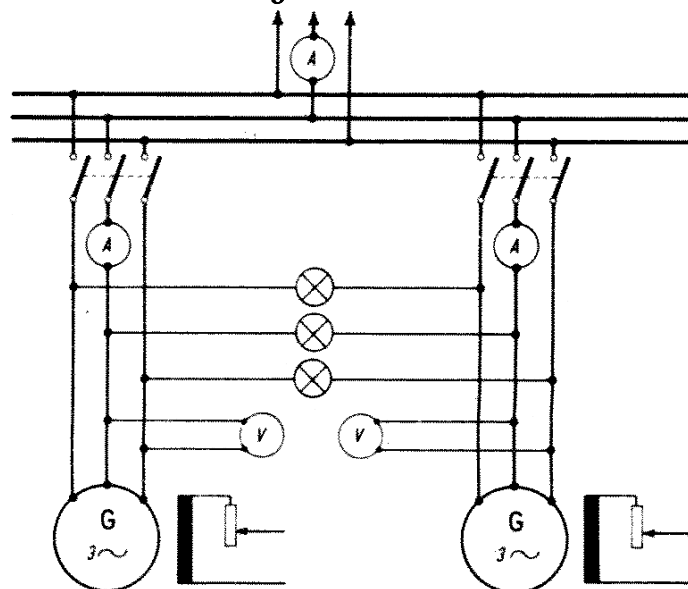
Parallelo dell'alternatore

- Voltmetro consente di controllare la tensione



Prof. S. Patti

Parallelo fra due alternatori

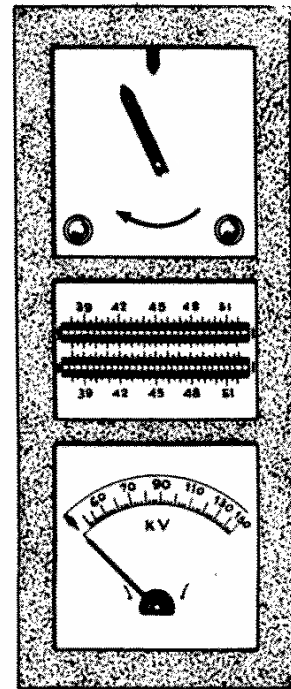


Parallelo dell'alternatore

Gruppo di parallelo, costituito

- da un sincronoscopio (per determinare le condizione di sincronismo della macchina da porre in parallelo rispetto la rete esterna);
- da un doppio **frequenzimetro**
- da un doppio **voltmetro** (per verificare la coincidenza delle frequenza e delle tensioni).

Prof. S. Patti



Edipower Pace del Mela (ME) 27-04-2005



Parallelo dell'alternatore Oscillazioni pendolari.

Abbiamo detto che piccole correnti di circolazione producono una coppia sincronizzante, ossia accelerano o ritardano la marcia di un alternatore in modo da riportarlo in fase con gli altri o con la rete.

Prof. S. Patti

Parallelo dell'alternatore Oscillazioni pendolari.

Può accadere in certe condizioni che una brusca variazione di carico provochi una coppia accelerante o ritardante tale da oltrepassare la posizione di equilibrio, causando a sua volta nuovamente una coppia ritardante o accelerante.

Si hanno così le oscillazioni di velocità, chiamate « **oscillazioni pendolari** ».

Prof. S. Patti

Parallelo dell'alternatore Oscillazioni pendolari.

Queste oscillazioni, oltre ad essere fastidiose, possono entrare in risonanza, aumentando di ampiezza fino a provocare la **disincronizzazione** della macchina, o come si dice, la sua «**uscita di passo**».

Prof. S. Patti

Parallelo dell'alternatore Oscillazioni pendolari.

A questi inconvenienti, particolarmente sensibili con gli alternatori comandati da motori a moto alternato (ad esempio, **motori diesel o motori a scoppio**), si ovvia munendo il gruppo di **volani** il cui scopo è appunto quello di uniformare il moto alternativo.

Prof. S. Patti

Parallelo dell'alternatore Oscillazioni pendolari.

Talune macchine sono invece munite di **gabbie smorzanti**, montate sul rotore: queste diventando sedi di **f.e.m. indotte** tentano ad opporsi alla causa che le ha provocate, ossia le **oscillazioni pendolari** stesse.

Prof. S. Patti

Disinserimento di un alternatore dal parallelo

Si effettuano le seguenti manovre:

1. **diminuire la potenza del motore primo dell'alternatore** che si vuole disinserire (aumentando contemporaneamente la potenza dei motori primi dell'alternatore, o degli alternatori, che devono rimanere in servizio) fino a ridurre a zero la potenza fornita dall'alternatore che si vuole disinserire (la diminuzione della potenza può essere rilevata attraverso l'indicazione dell'amperometro di linea);

Prof. S. Patti

Disinserimento di un alternatore dal parallelo

- 2 — aprire l'interruttore di macchina;
- 3 — fermare il motore primo;
- 4 — togliere l'eccitazione dell'alternatore.
- Le operazioni indicate per il collegamento in parallelo di alternatori si effettuano pure per la sincronizzazione dei motori sincroni sulle reti (la sincronizzazione è condizione essenziale per il funzionamento dei motori sincroni).

Prof. S. Patti

Motori Sincroni

- Se ad un **generatore sincro**, funzionante in parallelo su una linea, anziché alimentarlo con una potenza meccanica, gli si applica una **coppia resistente**, esso continuerà a ruotare con velocità sincrona:

$$n = \frac{60 \cdot f}{p} \left[\frac{\text{giri}}{\text{min}} \right]$$

Prof. S. Patti

Motori Sincroni

- La **potenza** necessaria per vincere la coppia resistente è prelevata dalla linea;
- la **potenza elettrica** avrà quindi cambiato di segno;

Prof. S. Patti

Motori Sincroni

- la **corrente**, anziché erogata, sarà **assorbita** e sarà diretta in senso contrario alla **f.e.m. indotta**.
- La macchina da **generatore** è diventata **motore**.
- La **macchina sincrona**, come abbiamo detto all'inizio, è dunque una **macchina reversibile**.

Prof. S. Patti

Caratteristiche distintive dei motori sincroni sono dunque:

1. velocità rigorosamente costante, definita dalla relazione:

$$n = \frac{60 \cdot f}{p} \left[\frac{\text{giri}}{\text{min}} \right]$$

2. dover essere avviati (non sono autoavvianti);
3. richiedere eccitazione con corrente continua.

Prof. S. Patti

Funzionamento a diverse eccitazioni -
Compensatore sincrono.

- Se in un alternatore alimentante una linea, non alimentata da altre macchine, si varia la corrente di eccitazione, si avrà come conseguenza una variazione della tensione indotta e conseguentemente della tensione ai morsetti.

Prof. S. Patti

*Funzionamento a diverse eccitazioni -
Compensatore sincrono.*

- Se facciamo la tessa cosa in un **motore sincrono**, senza variarne la potenza resa, varierà la f.e.m. indotta, ma non potrà variare la tensione ai **morsetti**, poiché questa è applicata dall'esterno e **mantenuta costante dalla linea**.

Prof. S. Patti

*Funzionamento a diverse eccitazioni -
Compensatore sincrono.*

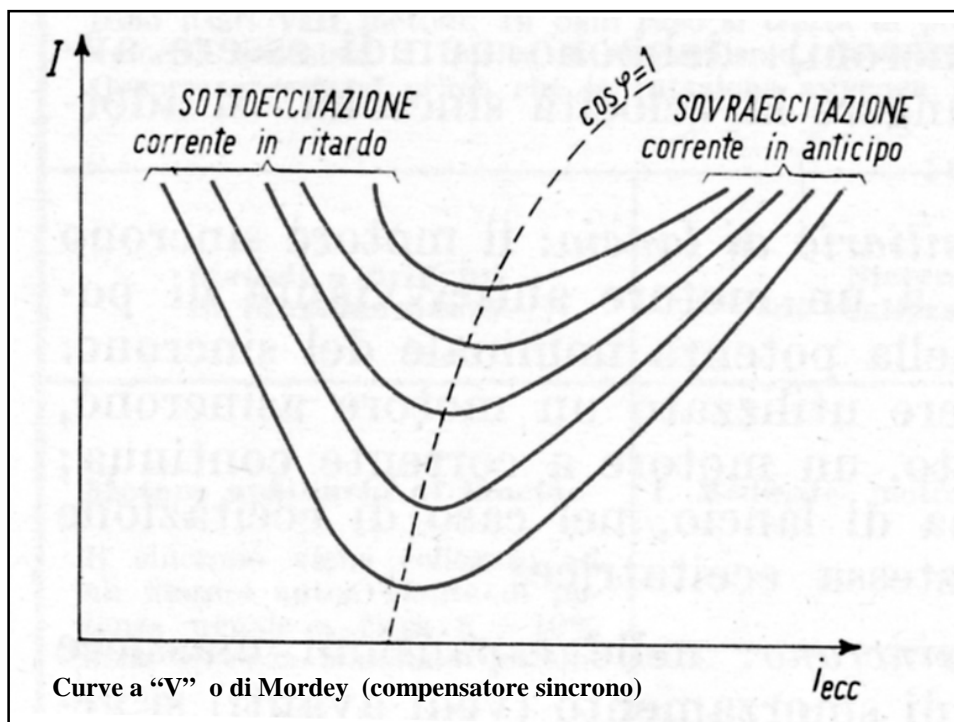
- affinché vi sia equilibrio dovrà allora variare lo sfasamento fra f.e.m. indotta e tensione applicata, in conseguenza di ciò si verifica che deve variare anche l'intensità e lo sfasamento della corrente assorbita, pure rimanendo costante il carico del motore.

Prof. S. Patti

Funzionamento a diverse eccitazioni - Compensatore sincrono.

- Si hanno i seguenti casi:
 1. per un determinato valore della corrente di eccitazione (**eccitazione giusta**) corrente assorbita minima, $\cos\varphi=1$;
 2. con corrente di eccitazione minore della precedente (**sottoeccitazione**), corrente assorbita maggiore della minima, $\cos\varphi<1$ in **ritardo**;
 3. con corrente di eccitazione maggiore della giusta (**sovraeccitazione**), corrente assorbita maggiore della minima, $\cos\varphi<1$ in **anticipo**.

Prof. S. Patti



Compensatori sincroni

- Si sfrutta questa proprietà dei motori sincroni per **rifasare** gli impianti.
- Infatti, dando alla macchina una opportuna **sovra-eccitazione**, essa assorbirà **corrente in anticipo** che compenserà la corrente in ritardo dovuta alla presenza di carichi induttivi.

Prof. S. Patti

Compensatori sincroni

- Talora si installano motori sincroni con il solo scopo di **rifasare la rete**:
- Essi non sviluppano potenza meccanica altro che per compensare le perdite proprie.
- In questo caso si chiamano **compensatori sincroni o anche condensatori sincroni**

Prof. S. Patti

Avviamento dei motori sincroni.

I motori sincroni non sono autoavvianti: debbono quindi essere avviati per consentire loro di raggiungere la velocità sincrona.

Prof. S. Patti

Avviamento dei motori sincroni.

Si adottano vari sistemi di avviamento:

- a) per mezzo di motore ausiliario di lancio: il motore sincrónico viene collegato meccanicamente a un motore autoavviante di potenza uguale a circa il $5 \div 10\%$ della potenza nominale del sincrónico.

Prof. S. Patti

Avviamento dei motori sincroni.

Come motore di lancio può essere utilizzato un motore asincrono, un motore asincrono sincronizzato, un motore a corrente continua; come motore a corrente continua di lancio, nel caso di eccitazione coassiale, può essere usata la stessa eccitatrice;

Prof. S. Patti

Avviamento dei motori sincroni.

b) con auto-avviamento asincrono: nelle espansioni massicce dei poli induttori e nelle gabbie di smorzamento si generano correnti indotte, le quali reagendo con il campo induttore possono dar luogo ad un avviamento analogo a quello che si ha nei motori asincroni.

Prof. S. Patti

Avviamento dei motori sincroni.

(Segue b) auto-avviamento asincrono)

Poiché la corrente assorbita all'avviamento con questo sistema è molto elevata, si usa spesso interporre durante l'avviamento un autotrasformatore riduttore di tensione: naturalmente la riduzione di tensione causata dall'autotrasformatore riduce grandemente la coppia di spunto.

Prof. S. Patti

Avviamento dei motori sincroni.

(Segue b) auto-avviamento asincrono)

Motori sincroni
particolarmente studiati per questo genere di avviamento, vengono anche denominati **motori autosincroni**.

Prof. S. Patti

Avviamento dei motori sincroni.

Tanto con il sistema a), quanto con il sistema b), portata la macchina in prossimità della velocità sincrona, si effettua il parallelo del motore sincro sulla rete e si stacca l'eventuale motore ausiliario.

Prof. S. Patti

Avviamento dei motori sincroni.

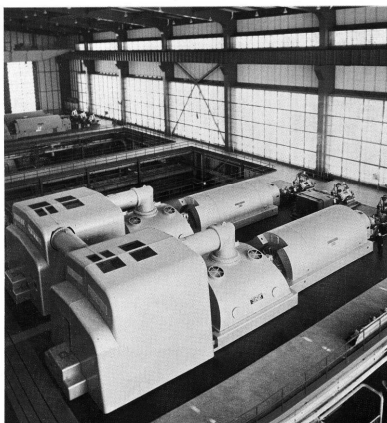
c) L'avviamento sincro a frequenza crescente.

Si alimenta il motore con un apposito generatore sincro del quale, partendo da fermo (frequenza zero), si aumenta gradualmente la velocità e quindi la frequenza.

Prof. S. Patti

Marelli

Grandi turboalternatori
con raffreddamento in idrogeno



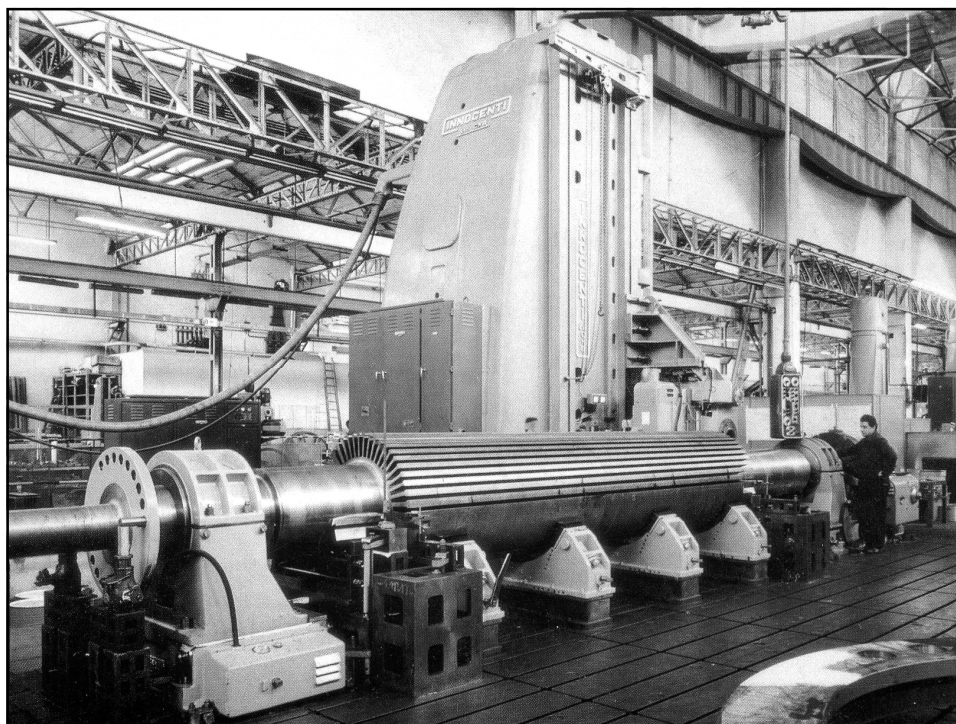
Controllo Termoelettrico di "Le Sesta" - Prima a sinistra unità a cross compound e già in servizio, installata rispettivamente da due turboalternatori da 170 MW e da due turboalternatori da 172 MW e 2.000 giri/min.

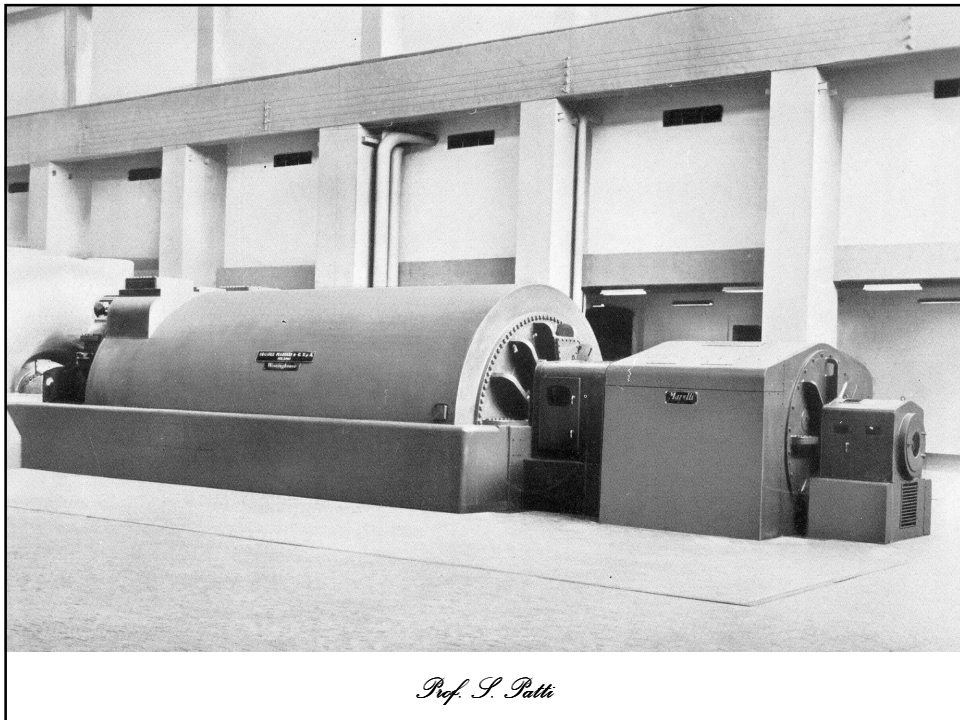
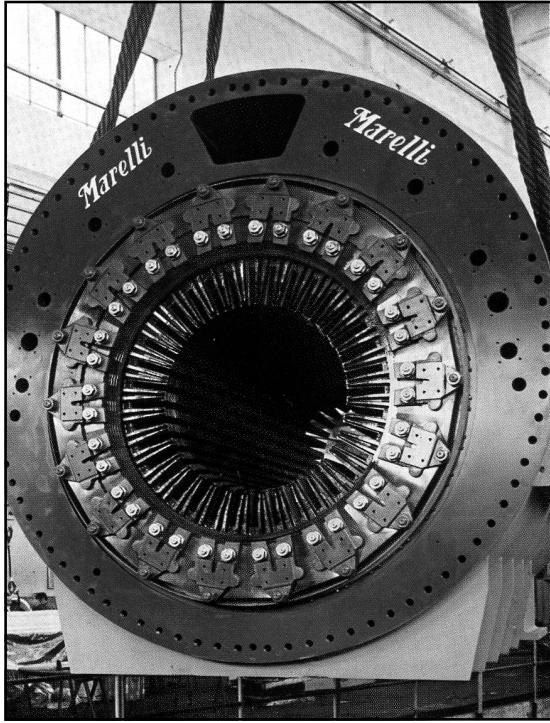
ERCOLE MARELLI & C. S.p.A.



MILANO VIA BORGOSUOVO 24

UFFICI COMMERCIALI - TECNICI - OFFICINE - SESTO S. GIOVANNI - TELEFONO 2494 - TELEX 31043





Prof. S. Patti