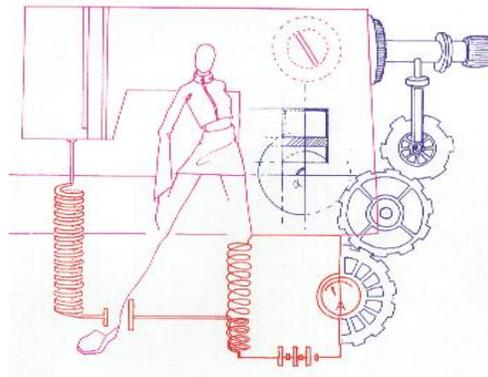


IPIA C.A. DALLA CHIESA – OMEGNA
PROGETTO ALTERNANZA SCUOLA – LAVORO
classi 4° e 5° MANUTENTORI



PRODUZIONE DI ENERGIA DA
FONTI RINNOVABILI

RISPARMIO ENERGETICO

prof. Massimo M. Bonini

MACCHINE PER LA GENERAZIONE DI ENERGIA ELETTRICA



PARLIAMO DI

- Generatori rotanti
 - Alternatori
 - Generatori asincroni
 - Dinamo
- Trasformatori

SCHEMA BASE DI UN SISTEMA DI GENERAZIONE

Motore primo Collegamento meccanico Generatore elettrico rotante

Motore primo	Collegamento meccanico	Generatore elettrico rotante
Macchina a fluido	Accoppiamento	Alternatore
Idraulica	Diretto	Generatore asincrono
Termica	Con riduttore	Dinamo
Eolica	Regolazione di velocità	



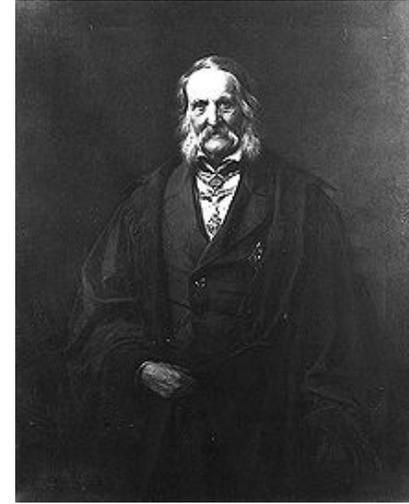
Classico gruppo turbina – alternatore ad asse orizzontale, completo di regolatore di velocità e sistema di eccitazione

PRINCIPI GENERALI

- La generazione di energia elettrica in forti quantità prevede tradizionalmente l'impiego di macchine rotanti a funzionamento elettromagnetico.
- Il loro principio di funzionamento si basa sullo sfruttamento delle leggi di Faraday, Neumann e Lenz, secondo le quali in un conduttore elettrico posto in prossimità di un campo magnetico in qualche modo variabile si induce una forza elettromotrice. Se il conduttore fa parte di un circuito chiuso, prende a scorrervi una corrente proporzionale alla forza elettromotrice indotta e all'impedenza elettrica del circuito (legge di Ohm).



Michael Faraday (1791 – 1867)
fisico e chimico inglese

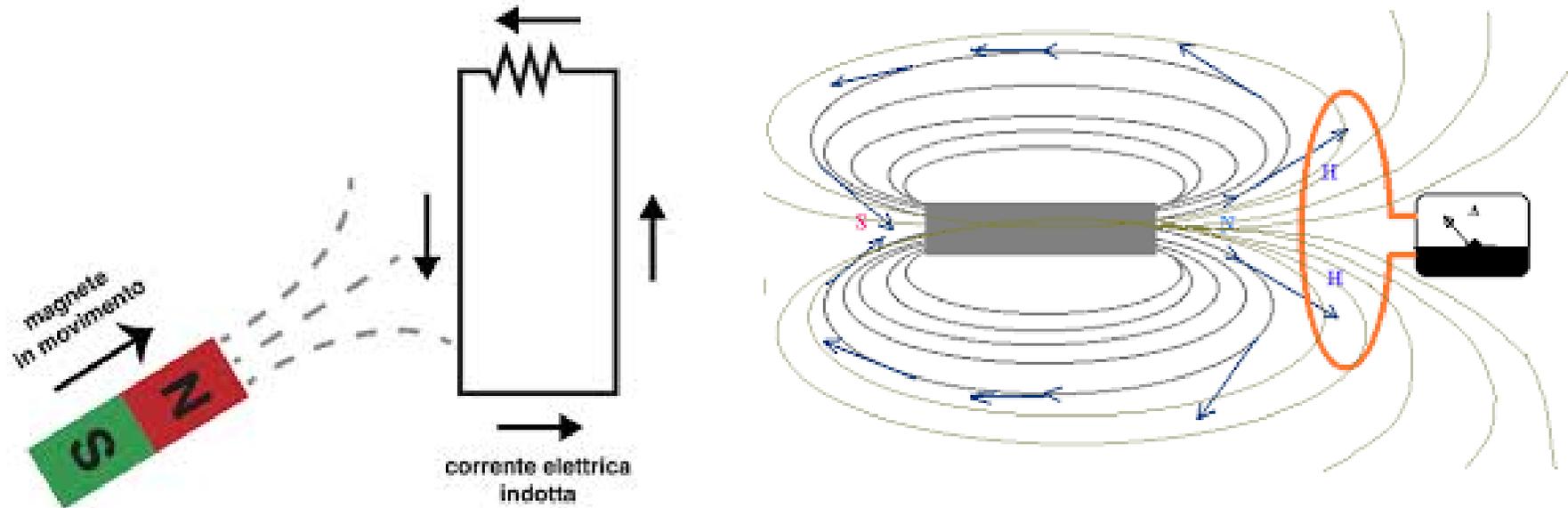


Franz Ernst Neumann (1798 – 1895)
fisico e matematico tedesco.



Il fisico russo **Heinrich Friedrich Emil Lenz** (1804 – 1865)

INDUZIONE ELETTRICA

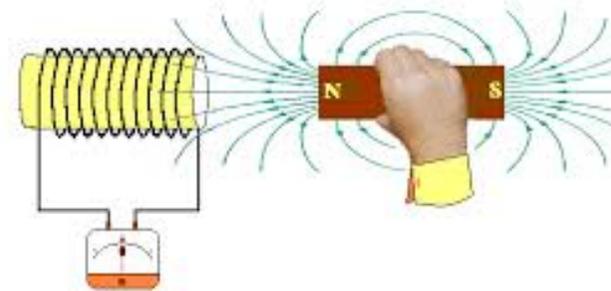
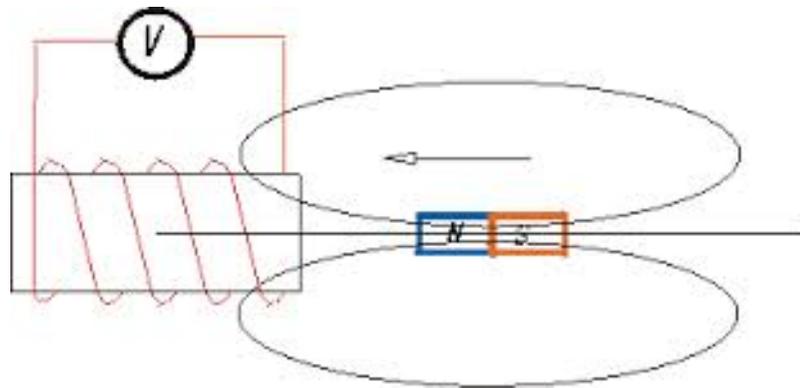


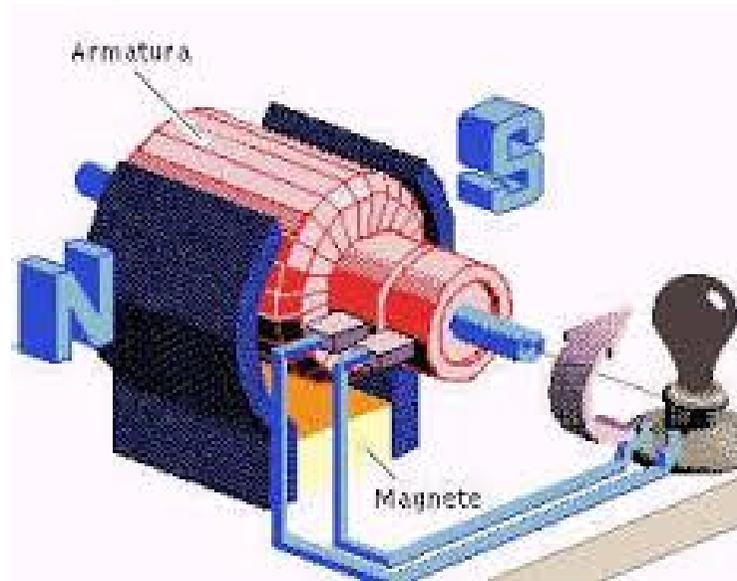
La variazione di flusso magnetico necessaria al funzionamento del sistema può essere provocata variando il flusso magnetico (possibile solo con gli elettromagneti) o, più semplicemente, facendo muovere in qualche modo i due elementi (conduttore e magnete) l'uno rispetto all'altro.

Il campo magnetico è una grandezza vettoriale, per cui la sua variazione può riguardare l'intensità, la direzione o il verso di tale vettore.

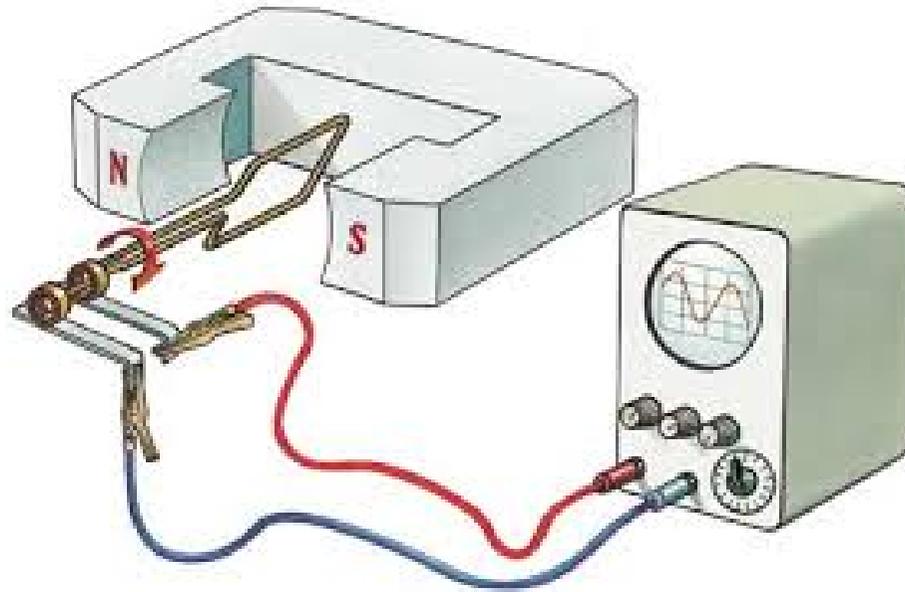
Il campo magnetico può essere di origine naturale (magneti permanenti) o artificiale (elettromagneti). La seconda soluzione permette di avere a disposizione campi di maggiore intensità.

- L'intensità della forza elettromotrice indotta risulta proporzionale all'intensità del campo magnetico e alla lunghezza del conduttore interessato. Date le difficoltà oggettive legate al primo parametro, le condizioni di funzionamento del sistema migliorano quindi ponendo un conduttore di grande lunghezza nello spazio interessato dal campo, spazio che di solito risulta piuttosto limitato; questo si ottiene avvolgendo il conduttore in spire e costruendo così un avvolgimento (bobina).
- Un ulteriore potenziamento agli effetti induttivi si ottiene avvolgendo la bobina su un nucleo di materiale ferromagnetico.





Un sistema particolarmente efficiente e semplice da realizzare è quello che prevede di far ruotare l'avvolgimento nel campo magnetico mantenuto costante o, viceversa, di far ruotare il magnete vicino – in genere all'interno – all'avvolgimento. Si realizza così il generatore rotante, che richiede la fornitura di energia meccanica che provochi la rotazione. Tale energia meccanica (cinetica) è fornita da un motore primo a funzionamento idraulico, termico o eolico.



La forza elettromotrice generata da tali apparecchi – e di conseguenza la corrente che circola nel circuito – ha un andamento tipicamente alternato sinusoidale. Per ottenere andamenti costanti nel tempo, anche in modo approssimato, è necessario provvedere al raddrizzamento della f.e.m. generata.

Questo è uno dei motivi per cui la distribuzione dell'energia elettrica avviene in corrente alternata e non in corrente continua.

L'altro è legato all'esigenza di ridurre le perdite in linea dovute all'effetto Joule ($P=R I^2$), obiettivo raggiungibile abbassando il valore della corrente in circolazione e di conseguenza, a parità di potenza trasmessa ($P=V I$) aumentando quello della tensione in gioco, operazione possibile, su grandi potenze, solo in corrente alternata.

PARAMETRI DI FUNZIONAMENTO

- Potenza nominale: potenza restituita (uscente) dalla macchina alle condizioni nominali di funzionamento; è il valore di potenza che viene “passato” ai carichi elettrici
- Rendimento: rapporto tra potenza restituita e potenza assorbita dalla macchina, espresso in valore assoluto (0 – 1) o percentuale (0 – 100%)

- Tensione nominale: è la tensione presente ai morsetti della macchina funzionante a carico nominale (pieno carico); in assenza di carico (corrente pari a zero) la macchina presenta ai morsetti la cosiddetta tensione a vuoto, il cui valore è superiore a quello nominale
- Corrente nominale: è la corrente corrispondente alla potenza nominale della macchina

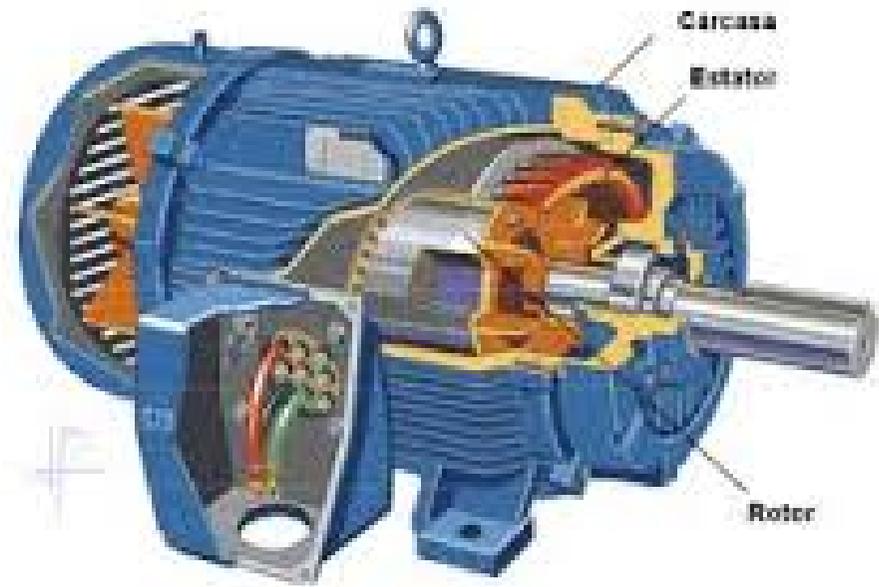
- Velocità di rotazione: è riferita alla rotazione dell'albero; si indica con n e si misura in g/min (giri al minuto o rpm)
- Frequenza: è quella della corrente alternata generata; si indica con f e si misura in Hz (Hertz o pulsazioni al secondo)
- Paia poli: è il numero dei magneti che generano il flusso induttore; si indica con p , mentre $2p$ indica il numero di poli magnetici (si ricordi che un magnete ha sempre due poli opposti, nord e sud)

- I tre valori sono legati dalla formula

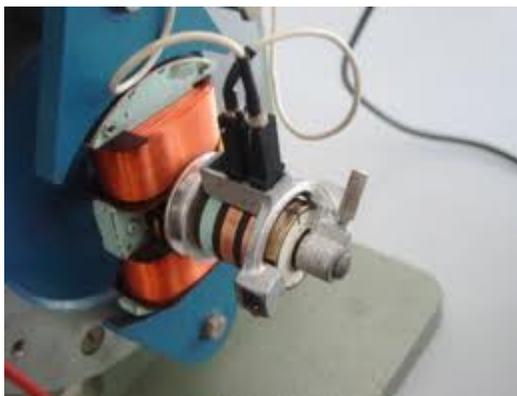
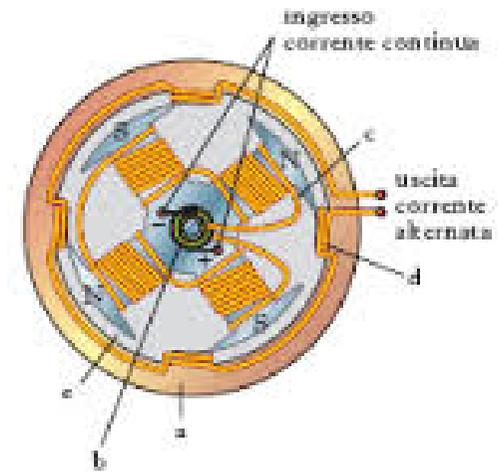
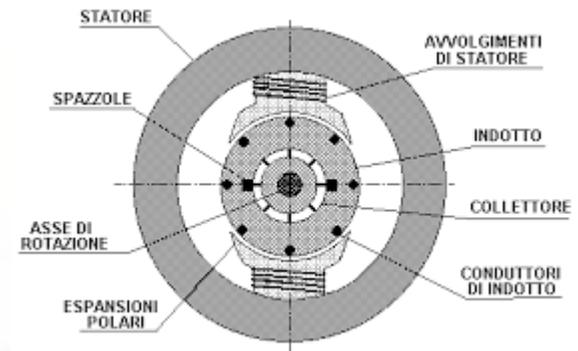
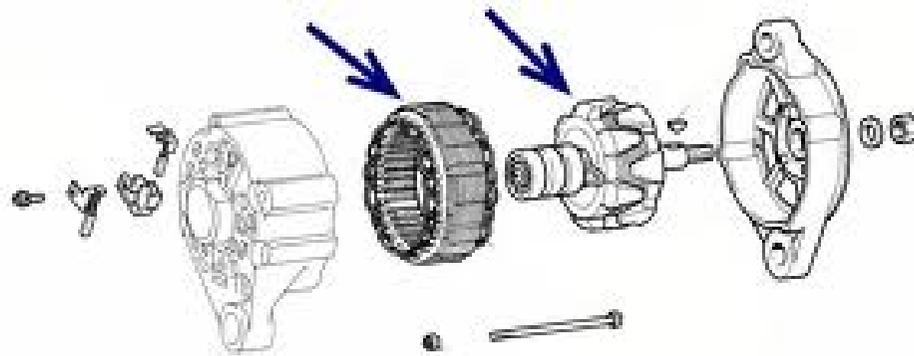
$$n = \frac{60 f}{p}$$

Da cui si deduce che, fissato in fase costruttiva il numero di poli della macchina e volendo erogare ai carichi una frequenza costante, occorre mantenere costante la velocità di rotazione

ALTERNATORE



- **Statore**
 - Carcassa
 - Pacco magnetico con cave
 - Avvolgimenti monofase o trifase (indotto)
 - Scudi frontali con sospensioni per l'albero
 - Spazzole per il sistema di eccitazione
 - Morsettiere
- **Rotore**
 - Albero meccanico
 - Poli magnetici con avvolgimenti (induttore)
 - Anelli rotanti per il collegamento dell'eccitazione

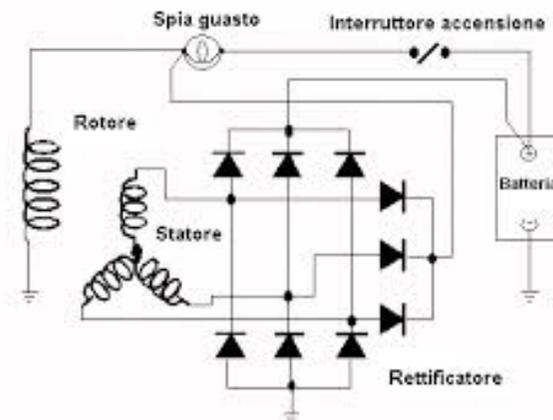


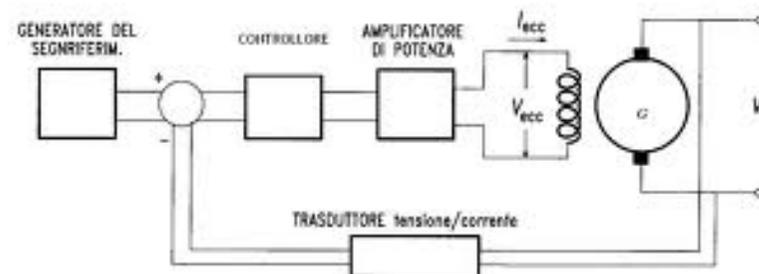
ECCITAZIONE

- Il principio di funzionamento della macchina sincrona prevede di far ruotare un campo magnetico costante in prossimità degli avvolgimenti indotti.
- Nella macchine di piccola potenza questo è ottenibile con l'impiego di magneti permanenti, naturali o artificiali

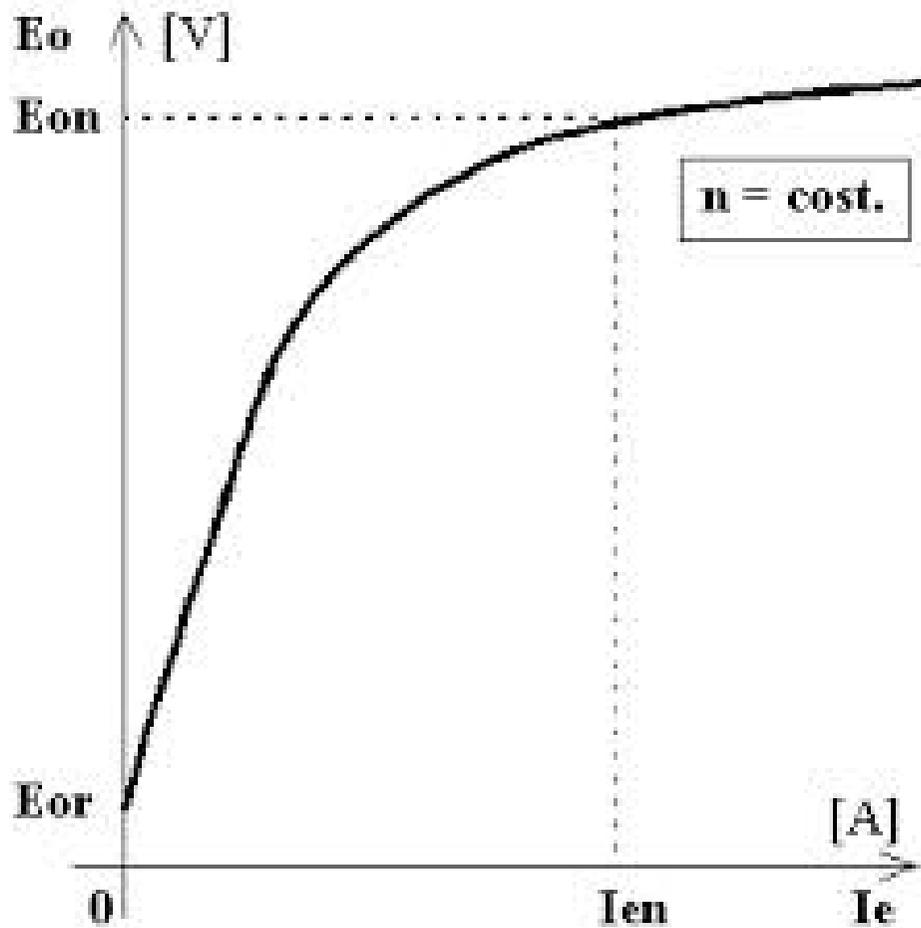
- Nelle macchine di maggiori dimensioni il campo magnetico viene invece generato da una corrente continua (corrente di induzione) che percorre gli avvolgimenti induttori; essendo questi di solito collocati sul rotore occorre un collegamento elettromeccanico tra le parti fisse e in rotazione, realizzato con i gruppi spazzole – anelli
- La corrente di induzione è di solito fornita da una dinamo (generatore rotante di corrente continua) montata sullo stesso albero dell'alternatore, autoeccitata o eccitata da un'ulteriore piccola dinamo a magneti permanenti.

- Per alternatori di piccola e media potenza la corrente continua di eccitazione può anche essere fornita da un sistema che prelevi corrente alternata dall'alternatore medesimo e la raddrizzi mediante circuiti elettronici
- Questo richiede però che, al momento dell'avviamento, ci sia già tensione sulla linea oppure che si presenti una batteria elettrolitica di avviamento, come avviene sugli automezzi





- Il valore della corrente di induzione è strettamente legato a quello della tensione – e quindi della potenza - generata dall'alternatore



Curva di eccitazione
(caratteristica esterna) di
un alternatore

REGOLAZIONE DI VELOCITA' E DI TENSIONE NEGLI ALTERNATORI

- La velocità di rotazione dell'albero è strettamente legata alla frequenza elettrica generata; con le variazioni di carico elettrico (corrente erogata) tende a variare e deve quindi essere costantemente rilevata e corretta
- Un regolatore di velocità è formato da un sensore, meccanico o elettrico, che comanda un attuatore, il quale a sua volta va ad agire sull'organo di comando del motore primo (il distributore nel caso di turbine idrauliche)

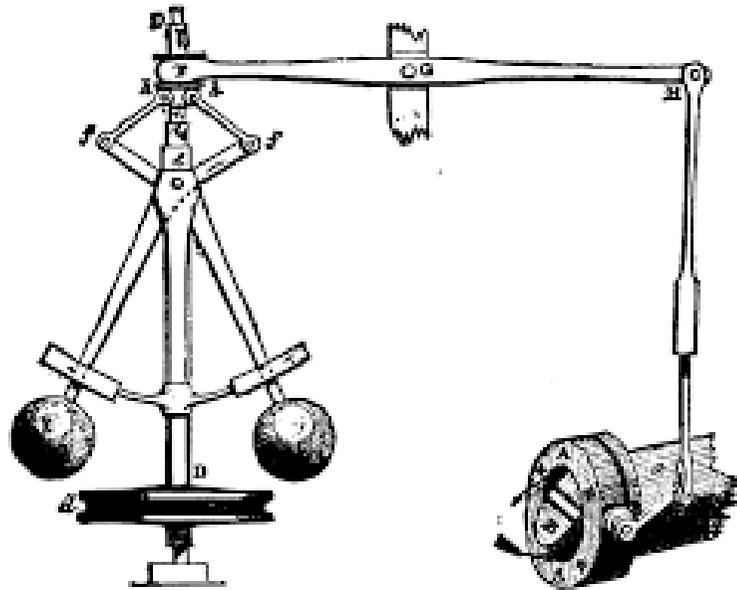
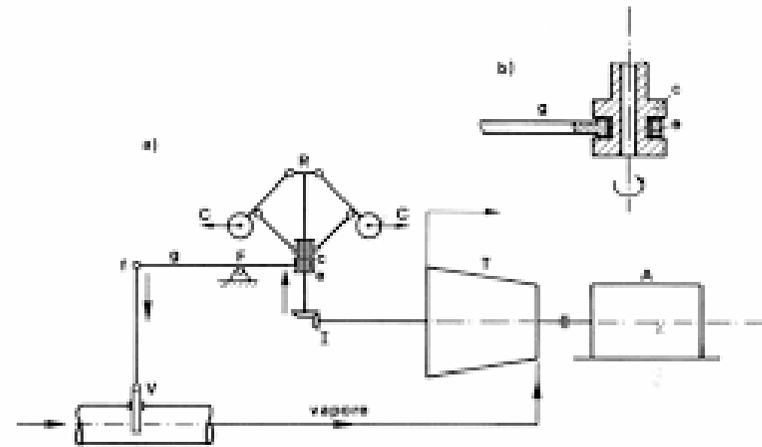
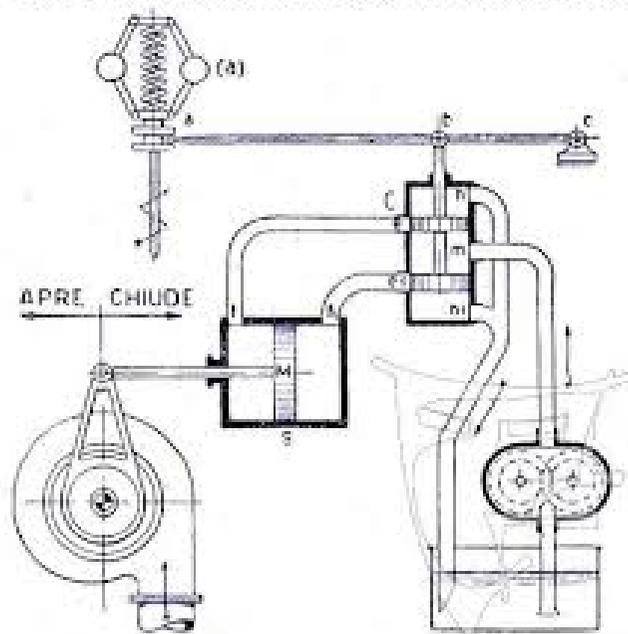


FIG. 4.—Governor and Throttle-Valve.

In fig. 2.10-1, a) è schematicamente rappresentato il sistema di regolazione di velocità per un gruppo elettrogeno, costituito da una turbina a vapore T e da un alternatore A.

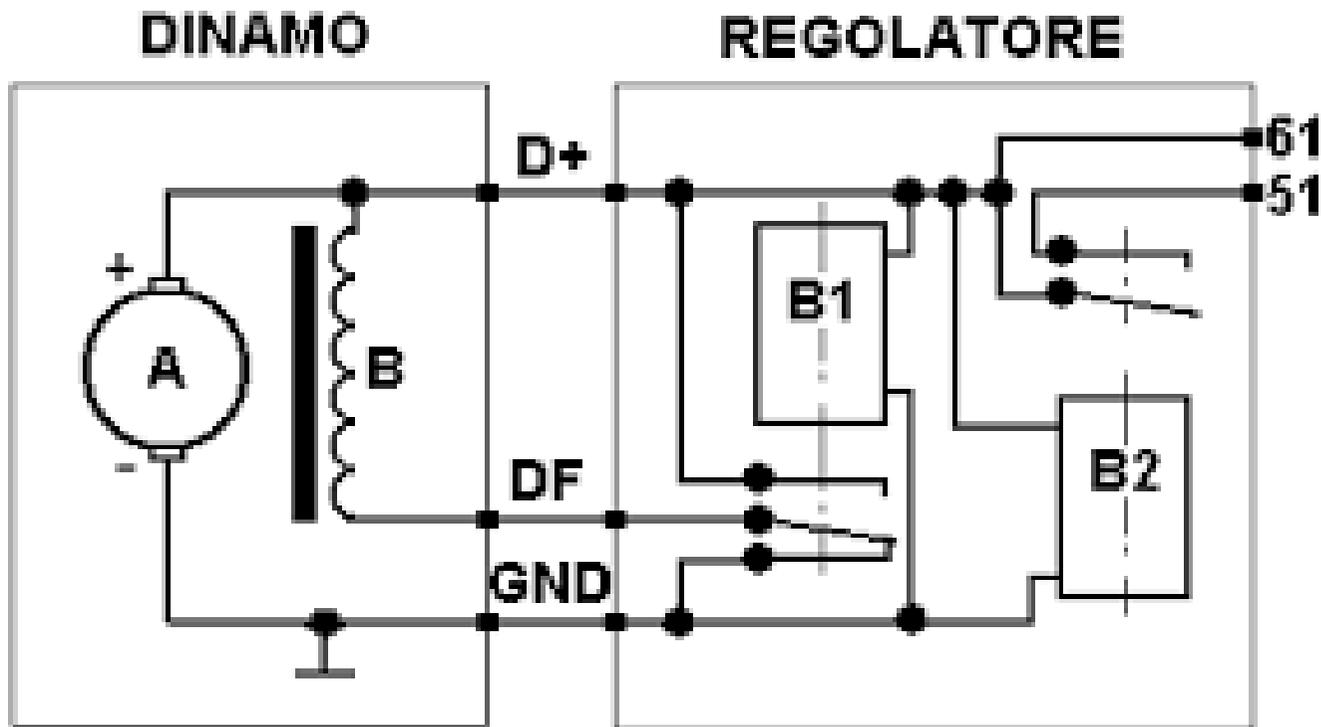


SCHEMA FUNZIONALE REGOLATORE DI VELOCITA'



Regolatore di Watt

- Le tensione generata dalla macchina è invece funzione della corrente di eccitazione, quindi è questa che va costantemente controllata e regolata mediante dispositivi elettromeccanici o elettronici



MESSA IN PARALLELO DEGLI ALTERNATORI

- Quando un alternatore è destinato a dover alimentare un linea a cui sono collegati anche altri generatori occorre che frequenza e tensione generate corrispondano esattamente ai valori richiesti; inoltre le tensioni di macchina devono risultare “in fase” con quelle di linea
- La macchina deve quindi essere preventivamente portata alla velocità e alla tensione richieste per poi eseguire la “messa in parallelo” (collegamento alla linea mediante la chiusura di un interruttore) nel momento in cui le due terne di tensioni risultano in fase
- La manovra – particolarmente delicata - può essere eseguita manualmente, con l’ausilio di apposite apparecchiature (quadri di parallelo) o mediante sistemi automatici



Quadro di messa in parallelo

- In conclusione si può affermare che l'alternatore è una macchina efficiente per grandi potenze, ma risulta delicata e complessa per la generazione di piccole quantità di energia, come avviene ad esempio con le turbine eoliche
- Per tali motivi viene sempre più spesso sostituito con generatori asincroni, che presentano molti meno problemi di gestione

MOTORE SINCRONO

Un alternatore, come tutte le macchine elettriche, ha un funzionamento reversibile. Questo significa che alimentandolo elettricamente genera energia meccanica, comportandosi da motore. L'avviamento della macchina, in tali condizioni è una manovra complessa e delicata, che prevede innanzitutto la messa in parallelo alla linea come generatore e poi il suo passaggio alla funzione di motore.

Viene sfruttato nelle centrali idroelettriche a recupero d'acqua, accoppiato a turbine reversibili (a reazione) o ad apposite pompe innestabili al momento del bisogno.

GENERATORI ASINCRONI

La macchina asincrona inventata da Galileo Ferraris viene normalmente utilizzata come motore in corrente alternata, mono o polifase. In questo secondo caso risulta autoavviante, a differenza del motore sincrono.



Galileo Ferraris (1847 – 1897)

- Deve il suo nome al fatto che la sua velocità di rotazione – benché teoricamente legata a frequenza di linea e poli – può “scorrere” intorno al valore base
- E’ una macchina di costruzione più semplice e di conseguenza più robusta, di quella sincrona, in particolare perché priva – almeno nelle versioni più semplici - di collegamenti elettrici tra rotore e statore
- Come tutte le macchine elettriche ha un funzionamento reversibile, quindi, in particolari condizioni, si comporta da generatore di corrente alternata



SCORRIMENTO

Ricordando che la velocità di sincronismo (teorica) si calcola come

$$n_0 = \frac{60 f}{p}$$

Si definisce scorrimento (s) la differenza tra la velocità di rotazione effettiva (numero di giri) teorica e quella effettiva n

Si esprime in valore assoluto o in percentuale

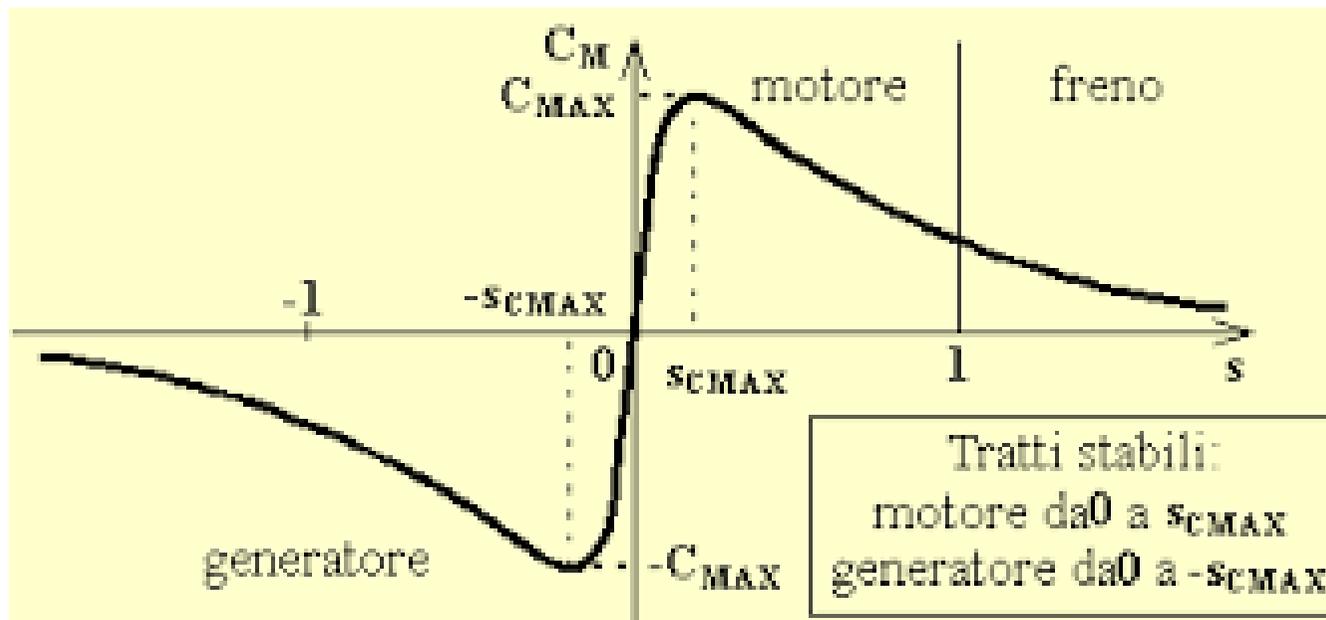
Può assumere valori positivi o negativi

In particolare la macchina asincrona

- Se alimentata da una linea elettrica gira spontaneamente a una velocità leggermente inferiore di quella di sincronismo (teorica) e funziona come motore
- Se alimentata dalla linea elettrica e costretta meccanicamente a girare a una velocità superiore a quella di sincronismo si comporta da generatore

$n < n_0$ $s > 0$ macchina si comporta da motore

$n > n_0$ $s < 0$ macchina si comporta da generatore



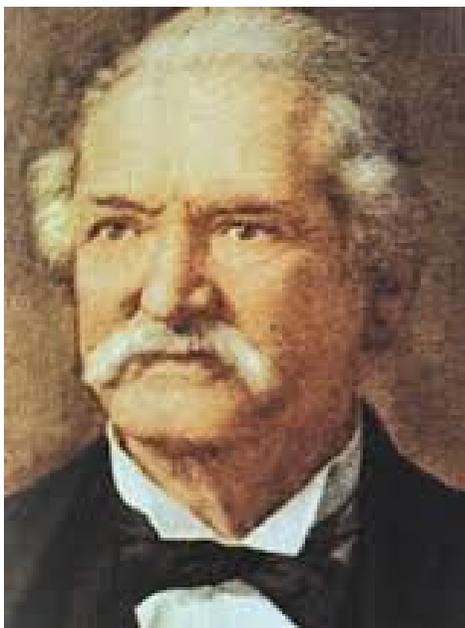
- Si noti che la macchina non ha bisogno di particolari procedure di avviamento, benché siano sempre previsti dispositivi di distacco automatico in caso di scorrimento positivo
- Necessita però di essere collegata ad una linea elettrica già alimentata, che impone tensione e frequenza di comportamento
- Quindi il generatore asincrono non è in grado di autoavviarsi, a differenza dell'alternatore

DINAMO

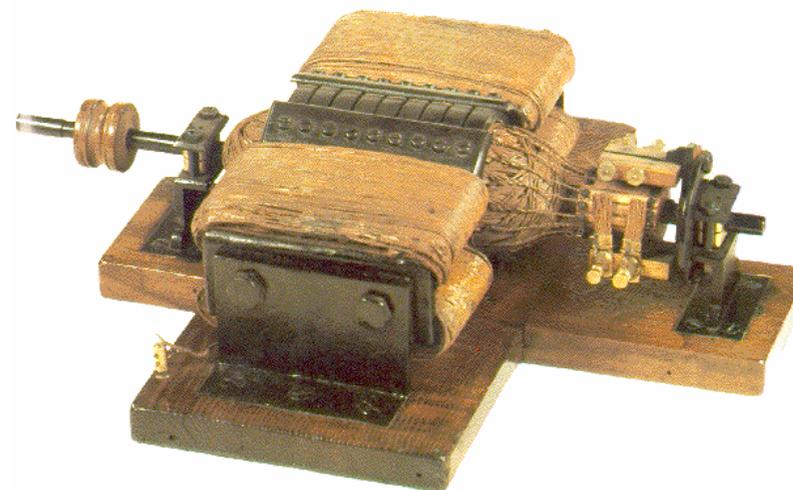
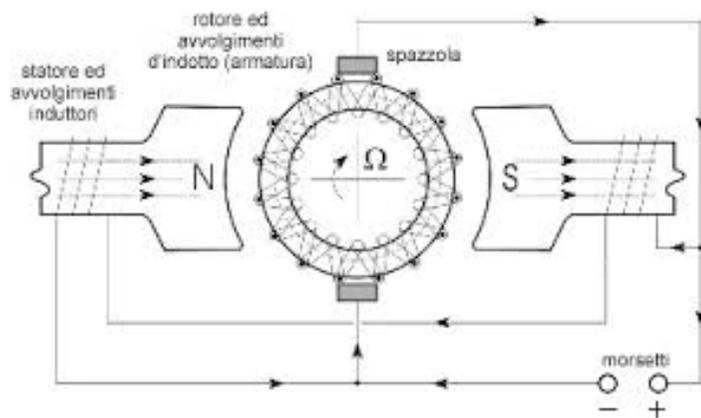
La prima dinamo, basata sui principi di Faraday, fu costruita nel 1860 in Italia da Antonio Pacinotti e perfezionata in Francia da Zénobe Gramme nel 1869.

L'invenzione di Pacinotti (anche detta anello di Pacinotti) era costituita da un magnete che veniva fatto ruotare con una manovella. I poli nord e sud del magnete passavano ripetutamente davanti a un pezzo di acciaio avvolto da un cavo elettrico, producendo impulsi di corrente in direzioni opposte. Dopo l'aggiunta di un convertitore, Pacinotti fu capace di trasformare la corrente alternata in corrente continua. L'apparato fu chiamato dal suo inventore *macchina magnetoelettrica*.

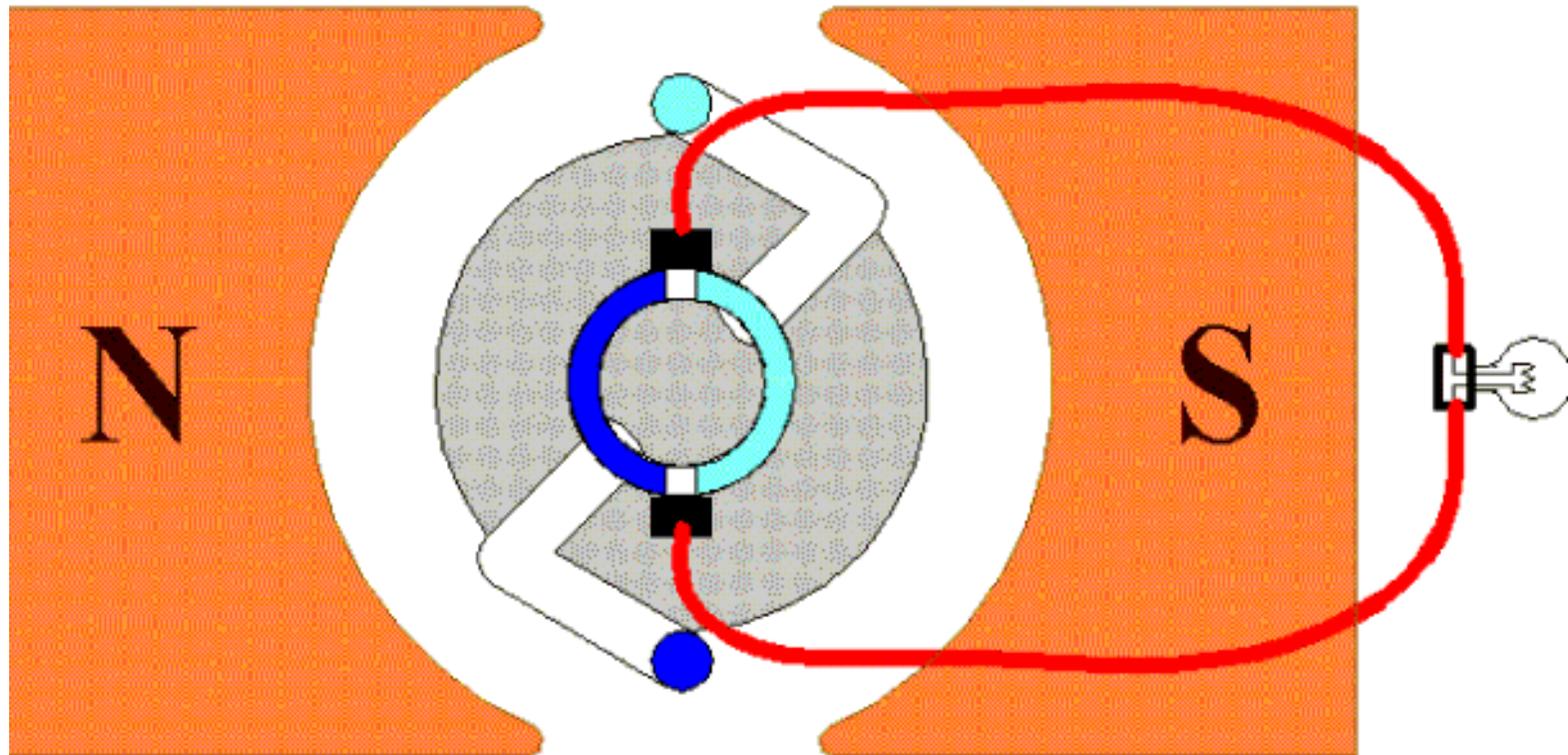
- La dinamo è una macchina rotante, azionata da un qualunque motore primo, in grado di generare una corrente unidirezionale, ma non esattamente continua
- Le correnti generate sono di fatto alternate e sinusoidali; vengono poi combinate tra di loro e se ne preleva solo una parte attraverso un dispositivo detto collettore a lamelle

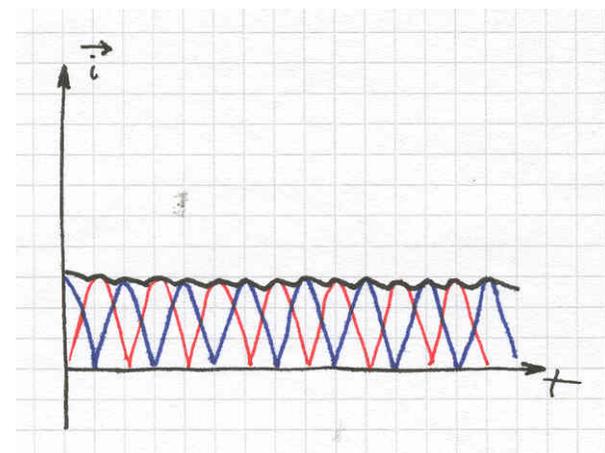
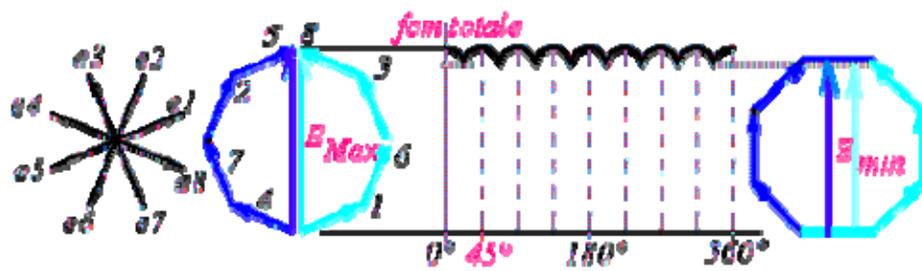
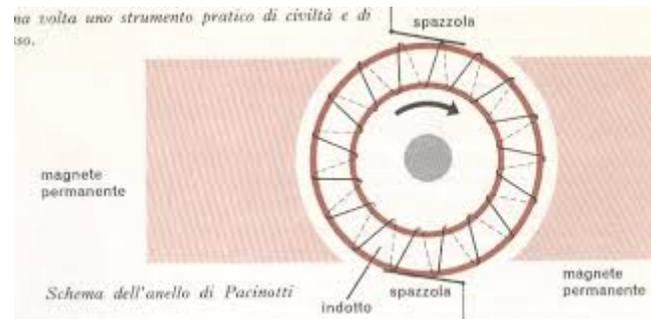
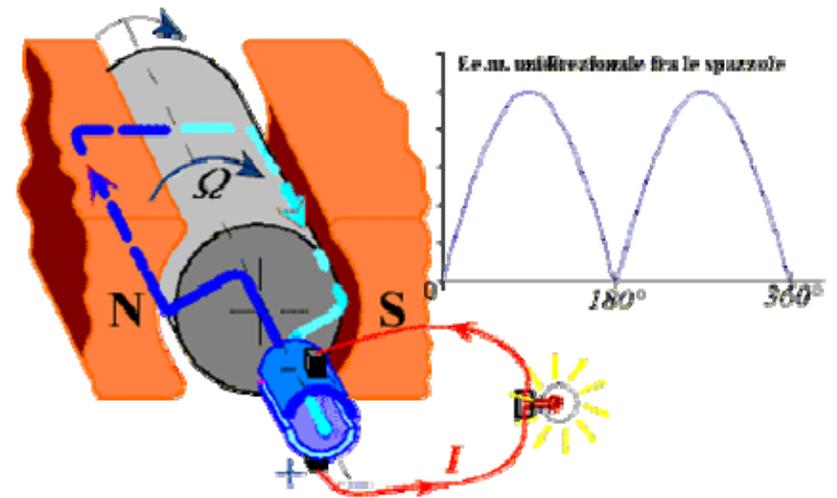
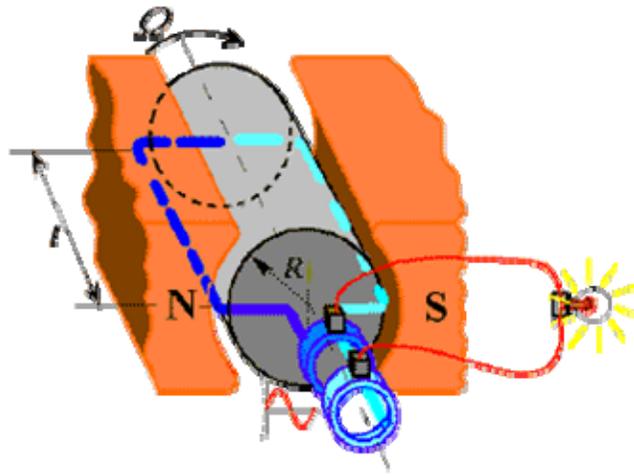


Antonio Pacinotti (1841 – 1912)



PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO



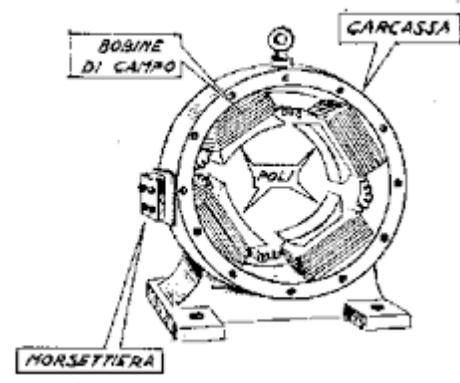
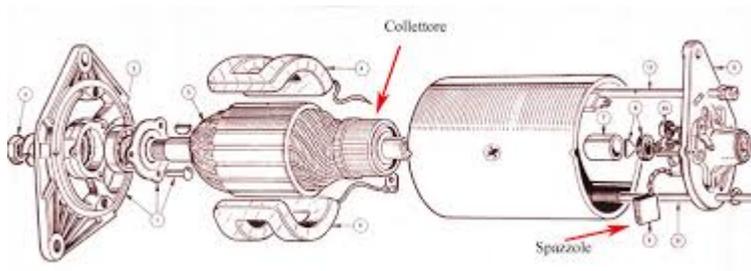
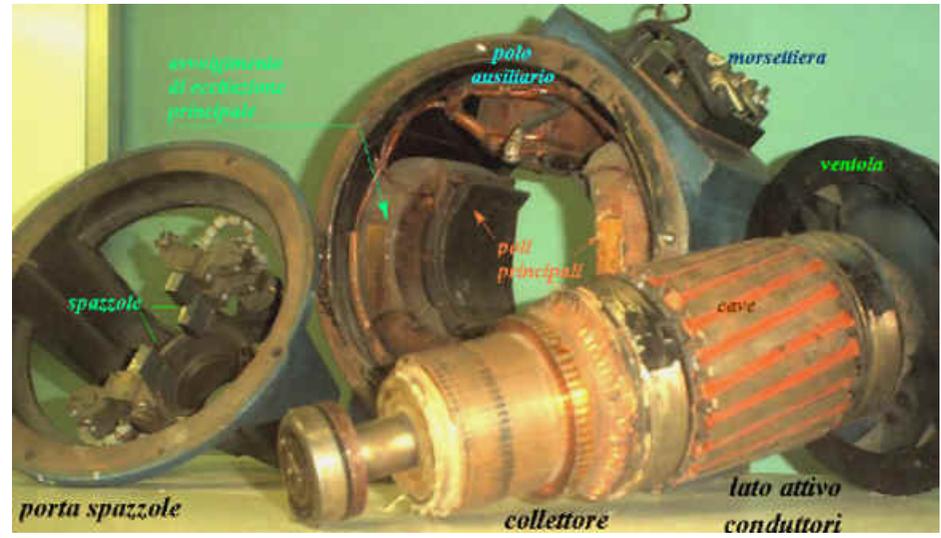
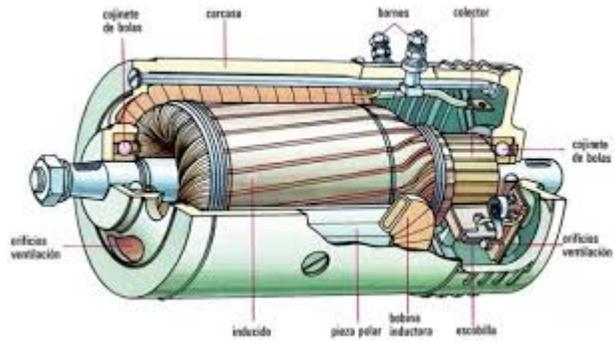


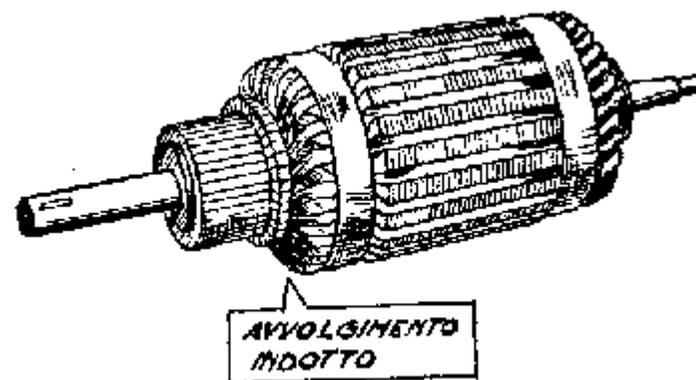
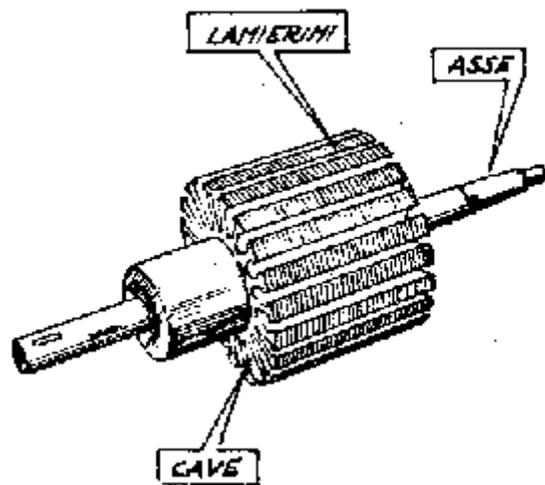
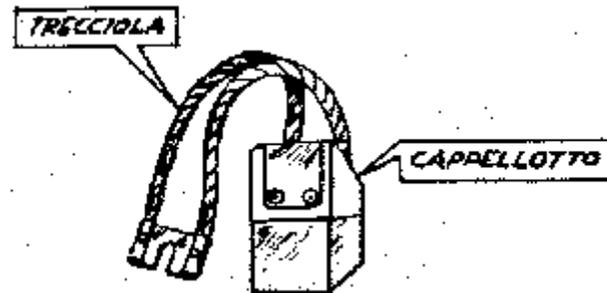
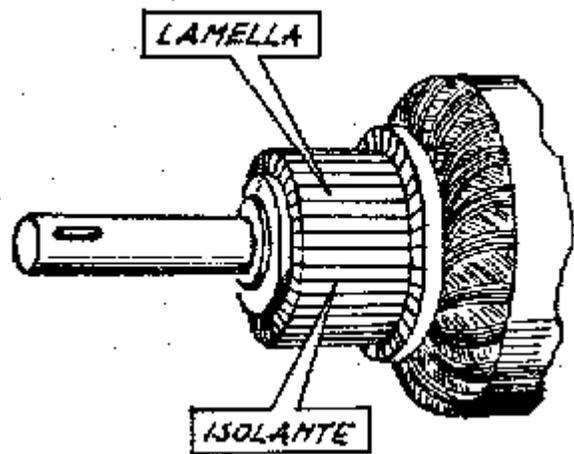
Costituzione della macchina

- Statore
 - Carcassa
 - Sospensioni per l'albero
 - Pacco magnetico a lamierini
 - Avvolgimenti di eccitazione
 - In alternativa magneti permanenti (per piccole macchine)
 - Spazzole e portaspazzole per il collettore
 - Morsettiera

Costituzione della macchina

- Rotore
 - Albero meccanico
 - Pacco magnetico a lamierini
 - Avvolgimenti indotti
 - Collettore a lamelle

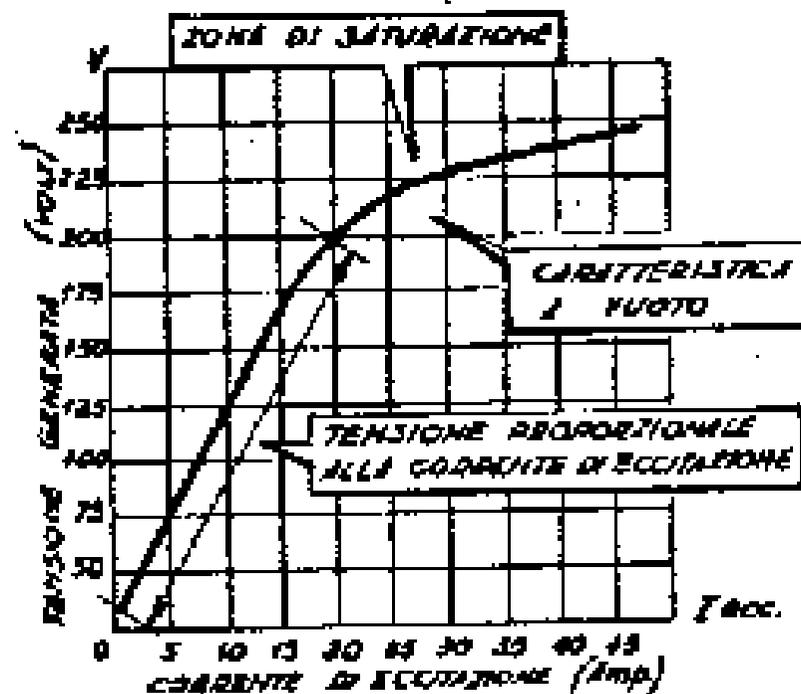


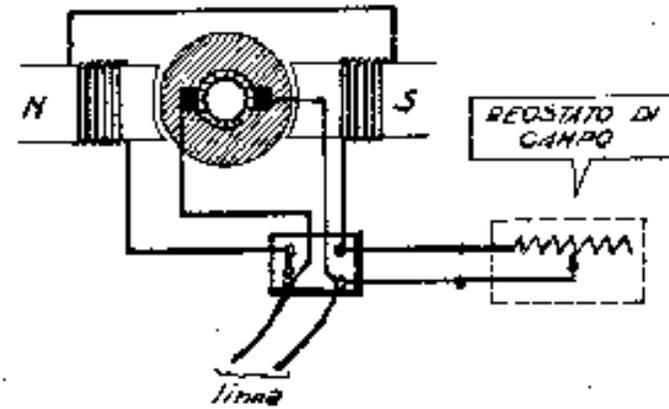
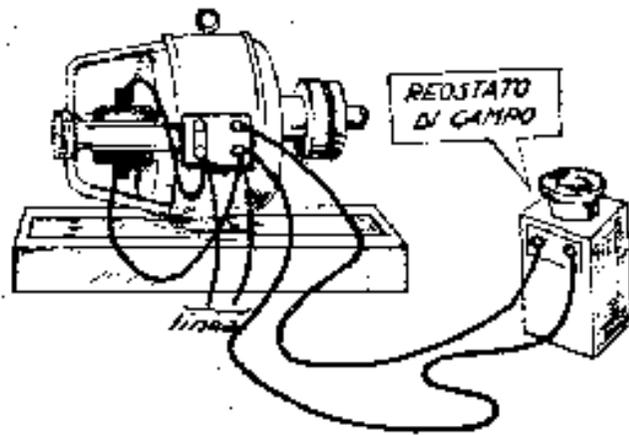


ECCITAZIONE

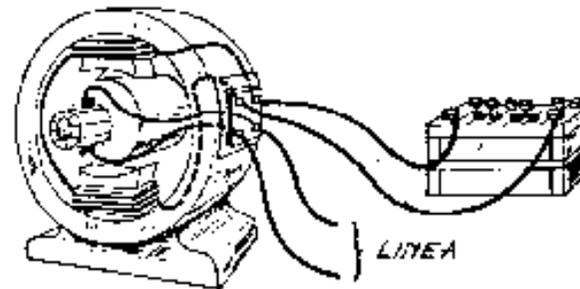
- Il campo magnetico principale (statorico) può essere generato da magneti permanenti o da elettromagneti; in questo caso è necessariaa la presenza di avvolgimenti percorsi da corrente continua, detta corrente di induzione
- La corrente di induzione può provenire da sorgente separata (batteria, altra dinamo, convertitore AC/DC) e in questo caso si parla di macchina ad eccitazione separata, o essere prelevata dalla macchina stessa, collegando l'eccitazione in parallelo e/o in serie ai morsetti principali; si parla in questo caso di eccitazione in derivazione, in serie (usata principalmente quando la macchina funziona da motore) o composta

- Il circuito di eccitazione è sempre dotato di un sistema di regolazione della corrente, normalmente un semplice reostato, in quanto il valore di questa corrente è strettamente legato alla tensione generata ai morsetti principali





DINAMO AD ECCITAZIONE
INDIPENDENTE



MOTORE A CORRENTE CONTINUA

- Come tutte le macchine elettriche, anche la dinamo è perfettamente reversibile, quindi se alimentata ai morsetti principali, si comporta da motore
- In questo caso la corrente di eccitazione regola la velocità di rotazione, che può variare con continuità in una grande fascia di valori
- Per questo motivo la macchina a corrente continua, nonostante la sua intrinseca delicatezza, è stata utilizzata per decenni dovunque fosse necessaria la velocità di rotazione regolabile, ad esempio nel campo dei trasporti ferroviari e tramviari
- Al giorno d'oggi il sistema è superato dall'avvento dei regolatori elettronici a inverter

TRASFORMATORI

- L'energia elettrica è considerata una forma “pregiata” in quanto facilmente trasportabile a lunga distanza mediante linee di trasmissione
- Per il buon funzionamento di queste ultime è però indispensabile ridurre le perdite causate dall'effetto Joule

$$P = R I^2$$

- A parità di potenza trasmessa

$$P = V I$$

e non potendo agire che in modo marginale sulla resistenza dei cavi, non resta che diminuire la corrente di linea mediante un corrispondente aumento della tensione

- Ecco quindi che diviene indispensabile l'impiego di trasformatori, elevatori a inizio linea e riduttori all'arrivo, in quanto per ragioni di sicurezza, la tensione consegnata all'utenza non può superare determinati limiti

STRUTTURA GENERALE DI UN SISTEMA ELETTRICO

