

Per macchina elettrica si intende un dispositivo a funzionamento REVERSIBILE il cui funzionamento è basato su 3 leggi:

...dell'induzione elettromagnetica	}	$e(t) = -\frac{d\Phi}{dt}$ f.e.m. indotta trasformatorica	↳ senza parti in movimento
...delle azioni elettrodinamiche		$\vec{E} = l \cdot (\vec{v} \wedge \vec{B})$ f.e.m. indotta mozionale	↳ invece è legata ad l moto
		$\vec{F} = l \cdot (\vec{i} \wedge \vec{B})$ // Laplace	

$V \wedge B$ rappresenta il campo elettrico e la ricaviamo dalla forza di Lorentz togliendo q e moltiplicando per l

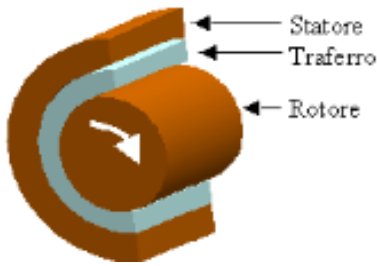
Il cui scopo è trasformare l'energia da ELETTRICITA' ad ELETTRICA (variandone: tensione, corrente e frequenza) oppure da ELETTRICA a MECCANICA (o viceversa-generatore)

La definizione ampliata di macchina elettrica è: dispositivo in cui le trasformazioni energetiche coinvolgono nello stadio iniziale e in quello finale, l'energia elettrica e l'energia meccanica, oppure la sola energia elettrica. Ma in questo caso le macchine non sono più reversibili.

MACCHINE	Rotanti	Statiche
Per c.a. <i>monofase e trifase</i>	Sincrone	Generatori (alternatori e turboalternatori) Motori Compensatori
	Asincrone	Motori Generatori Compensatori
	A commutazione	Motori monofasi in serie Convertitori di frequenza
Per c.c.	A commutazione	<i>Chopper</i>
Per c.c e c.a.	A commutazione	<i>Raddrizzatori Inverter</i>

MACCHINE: (per corrente alternata monofase e trifase-quelle che ci interessano). Nello stadio iniziale o finale è presente energia sotto forma di corrente alternata (gli impianti elettrici oggi sono quasi totalmente in corrente alternata). Questo non vuol dire che in quelle macchine non scorra corrente continua ma quella corrente continua serve solo per l'eccitazione del circuito magnetico.

- **ROTANTI:** hanno masse in movimento (ci sono dei componenti che hanno un moto relativo tra di loro). Sono costituite da 2 parti: una fissa (statore) e una mobile (rotore), separate da una regione di aria (traferro) che ne consente il moto rotativo.



SINCRONE: si ha trasformazione energetica (da energia meccanica e energia elettrica e viceversa) se e solo se vale la relazione:

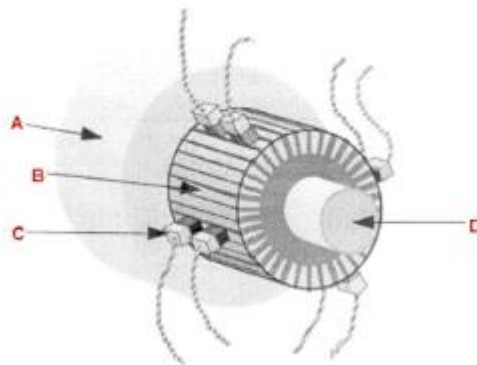
$$h_r = h_c = \frac{60 \cdot f}{P}$$

VELOCITA' ROTORE VELOCITA' SINCRONA :
 LA VELOCITA' DI ROTAZIONE del campo magnetico rotante nella macchina
 frequenza rete di alimentazione
 numero di coppie polari della macchina

ASINCRONE: si ha trasformazione se non vale la relazione vista prima e per scambiare potenza con il rotore visto che è in movimento non posso fare un collegamento statico attraverso dei morsetti. Si può attraverso il collettore ad anelli di materiale conduttore, i quali sono elettricamente collegati con degli elementi rotorici e il collegamento con il mondo esterno avviene attraverso delle spazzole (contatto strisciante). Quindi l'anello ruota su una spira solidale con il rotore e la spazzola piglia sullo statore e si attesta il collegamento con l'esterno. Questo è uno dei punti deboli della macchina rotante perché il contatto strisciante con il tempo si rovina e bisogna periodicamente sostituire.

STATICHE: non hanno punti in movimento (es: trasformatori) e sono di due tipi : ad induzione e a commutazione (conduzione elettrica unidirezionale).

Collegamento con avvolgimenti rotorici attraverso il COLLETTORE A LAMELLE (macchine a commutazione) : dove si alternano a strisce tratti isolanti e tratti conduttori dove ci sono sempre queste spazzole. È meno efficiente e più critico perché qua l'usura delle spazzole è maggiore perché è legata sia allo sfregamento sia al fatto che durante il funzionamento il passaggio della spazzola da una lamella all'altra permette la creazione di tanti piccoli archi elettrici (scintille).



GENERATORI: trasformano energia magnetica (fornita da un motore primo idraulico o termico : turbine Pelton, Kaplan TV, TG) in energia elettrica (a corrente continua: dinamo, a corrente alternata : alternatori/turboalternatori)

MOTORI: trasformano energia elettrica in energia magnetica:

Motore asincrono monofase: si riconosce dalla presenza di una piccola statica sul corpo, che è il CONDENSATORE DI AVVIAMENTO spontaneo della macchina

TRASFORMATORI: (monofase, trifase)

- **Macchine statiche**
- Funzionamento secondo legge trasformatrice
- Si suddividono in 2 grandi tipologie: monofasi e trifasi
- Trasformano l'energia di corrente alternata variando, a frequenza costante i fattori V e I
Per esempio: da energia ad alta tensione a bassa intensità di corrente a energia a bassa tensione con alta intensità di corrente

CICLO CONVERTITORI: macchine statiche, dato dall'unione di RADDRIZZATORE (che prende l'energia di corrente alternata e la restituisce continua) + INVERTER (prende energia di corrente continua e trasforma in corrente alternata) : in sintesi varia le caratteristiche di una data corrente alternata (sia in entrata che in uscita accoppiandoli avrò corrente alternata)

CHOPPER: componente che modifica le caratteristiche di una data corrente continua (corrente unidirezionale meglio)

CENNI COSTRUTTIVI: PARTI FONDAMENTALI DELLE MACCHINE REVERSIBILI:

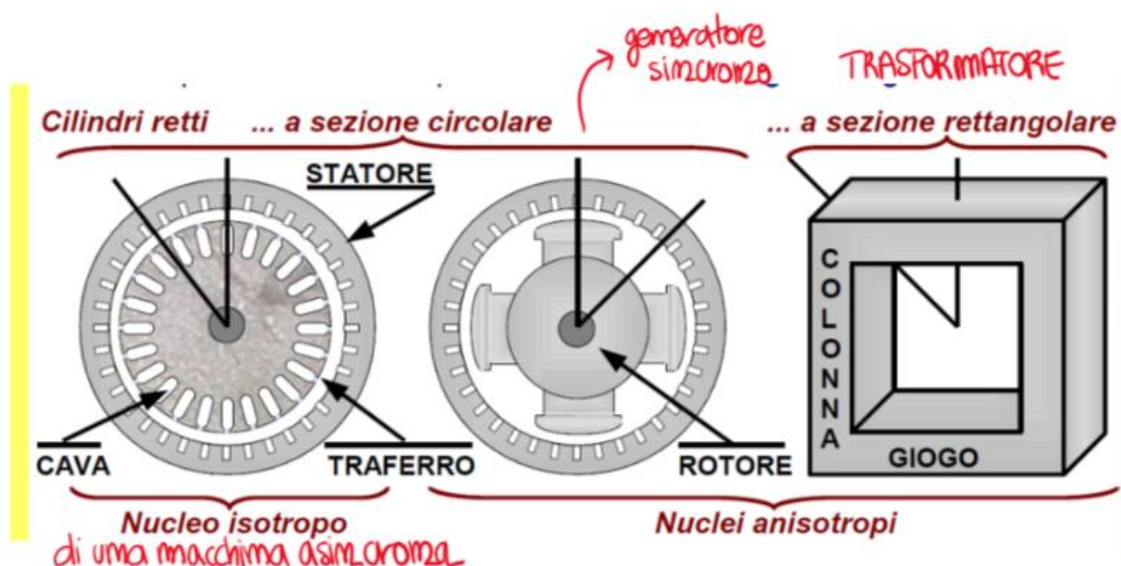
Una macchina elettrica comprende le seguenti parti fondamentali:

1. Struttura magnetica (NUCLEO) in materiale ferromagnetico
2. Avvolgimenti: formano spire
3. Isolanti: garantiscono la separazione elettrica tra i diversi componenti
4. Strutture meccaniche

Nelle parti attive: scorre corrente (nucleo e avvolgimenti)

Nella massa: non scorre corrente elettrica , cioè non sono in tensione (struttura meccanica)

1. I nuclei sono cilindri retti a sezione circolare o rettangolare
 - a. Isotropi: qualsiasi raggio considero ho la stessa struttura geometrica
 - b. Anisotropi: non simmetrici



Nelle cave sono installati i conduttori per realizzare gli avvolgimenti della macchina

I nuclei delle macchine elettriche sono realizzati con materiali magnetici (principalmente ferromagnetici) che si suddividono in:

Farday-Neumann- Lenz dice che una qualsiasi spira di raggio infinitesimale dr dei conduttori è soggetta ad una fem indotta da $B(t)$ che è pari a :

$$e(t) = - \frac{d\phi(B(t))}{dt}$$

In virtù della fem indotta poiché il materiale è conduttore circolerà una corrente

Che causerà 2 effetti:

- Perdite per effetto Joule
- Genera un campo magnetico che si oppone al campo magnetico che l'ha generato. Ovvero il campo di induzione magnetica (generato dalle correnti indotte) del materiale stesso: e questo è un aspetto deleterio perché va a ridurre il campo di induzione magnetica che dà luogo alla produzione energetica. Qui si può fare qualcosa. Per ridurre le eddy current: si suddivide il materiale in molteplici lamierine che vengono verniciate. Ciò basta a garantire che non ci sia continuità elettrica nel mezzo. (così riduco lo spessore)

Si dimostra che le perdite parassite sono:

- Proporzionali alla conducibilità nel mezzo con legge lineare. Per diminuire la conducibilità del mezzo: si procede al drogaggio del materiale con SILICIO. Si ottiene una resistività crescente con perdite minori. Il materiale risulterà però più fragile (avrò difficoltà a lavorarlo e ottenere le forme che voglio)
- Proporzionali allo spessore con legge quadratica

$$P_r = K_{imt} f B + K_{ce} d^2 f^2 B r^2$$

FORMULA LAMIERINO

frequenza \nearrow $1,6 \div 2$ \searrow spessore

Perdite per isteresi + perdite per correnti parassite = perdite nel ferro

Le perdite nel ferro ci quantificano la bontà del materiale, e quindi le prestazioni della macchina elettrica che utilizza quel materiale ferromagnetico. Minori sono le perdite maggiori saranno le prestazioni della macchina. Tale qualità è espressa da una caratteristica detta (in condizioni standard):

$$B_M = 1T \text{ e } f = 50Hz$$

Cifra di perdita: potenza dissipata per Kg di materiale con

CIRCUITI MAGNETICI: (vengono trattati con il loro equivalente circuitale)

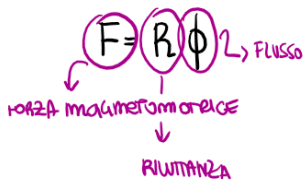
Ciascun pezzo del nucleo può essere espresso con una riluttanza R . L'eccitazione viene effettuata tramite

$$F = N \cdot I(t)$$

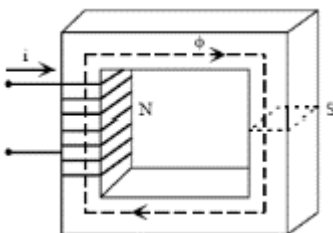
\downarrow
ML SPIRE

un solenoide alimentato. Sulla colonna di sinistra si produce una fem.

Per calcolare il flusso magnetico di questo circuito applico semplicemente la legge di Hopkinson:



Che è equivalente alla legge di Ohm per circuiti elettrici



Per ogni nodo del circuito elettrico si ha (LKC) $\sum_l i_l = 0$

Per ciascun nodo del circuito magnetico si ha $\sum_l \phi_l = 0$

Per ogni maglia del circuito elettrico si ha (LKT) $\sum_l u_l = 0$

od anche $\sum_l e_l = \sum_l R_l i_l$

Per ciascuna maglia del circuito magnetico si ha $\sum_l \mathcal{A}_l = \sum_l \mathcal{R}_l \phi_l$

In generale, si può quindi concludere che per i circuiti magnetici valgono leggi analoghe a quelle stabilite per i circuiti elettrici (e.g., le leggi di Kirchhoff), purché sia possibile individuare senza ambiguità nodi, lati e maglie.

MATERIALI ISOLANTI: (gas: aria; liquidi: oli; solidi)

Hanno la funzione di mantenere separati elettricamente dei conduttori di tensione

CARATTERISTICA FONDAMENTALE: rigidità dielettrica: campo massimo applicabile all'isolante che produce la scarica dissipativa nel dielettrico. L'aria può trattenere fino a 4 KV/mm. Quando prendiamo la scossa è perché tra noi e l'altro oggetto si forma un campo elettrico.

Isolanti solidi molto buoni: 200 KV/mm (mica e poliestere). Soffrono molto le trazioni meccaniche e si possono fessurare creando delle nuove chiusure dell'arco elettrico danneggiando irreversibilmente la macchina e sarà obbligatoria la sostituzione dell'isolante. (se scoccasse ad esempio in aria, tale dielettrico è auto-ripristinante; per i liquidi bisogna vedere da quanti residui lascia l'arco elettrico, negli isolanti in olio c'è tutto un sistema di scariche parziali interne la quale somma se supera il livello ammissibile si va fuori servizio- e serve sostituzione)

TRASFORMATORE: reversibile quindi può funzionare sia come abbassatore o elevatore quindi può prendere energia da alta tensione-bassa corrente e darla a bassa tensione-alta corrente e viceversa. In una cabina viene aperto l'interruttore di media per fare manutenzione e sono sicuro che non ci sia circolazione di corrente tra la rete di distribuzione di media e la cabina. Non è così. Se per caso nel mio impianto di bassa ho dei pannelli fotovoltaici, delle turbine eoliche o un gruppo di continuità collegato alle sbarre di bassa tutti questi sistemi produrranno energia trasferite alle sbarre di bassa e il trasformatore le passa nel lato alta.

- sono macchine elettriche statiche (i.e., prive di organi in movimenti) il cui funzionamento si basa sulla legge dell'induzione elettromagnetica (i.e., la legge di Faraday-Neumann-Lenz)
- lavorano a flusso costante

A partire dal 1890 , i trasformatori hanno consentito una rapida diffusione di energia elettrica

Classificazione in base all'impiego:

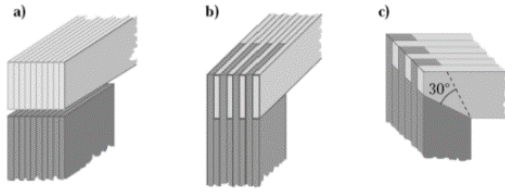
TIPO		APPLICAZIONE
MONOFASE	di misura	di corrente di tensione
	alimentazione circuiti	di potenza di comando di segnalazione
	speciali	a corrente costante (illuminazione in serie) per saldatrici
TRIFASE	di potenza !	per sistemi di I cat. (e.g., cabine secondarie MT/BT) per sistemi di II e III cat. (e.g. cabine primarie, stazioni ecc.)
	trifasi !	per forni per raddrizzatori

TIPO	RAFFREDDAMENTO	LIMITI
A secco in aria o in resina <i>Le parti attive non sono immerse in liquido isolante.</i>	Naturale (moti convettivi dell'aria)	Fino a 1000 kVA in aria Fino a 3000 kVA in resina
	Forzata (circolazione di aria forzata mediante ventilatori – solo per applicazioni speciali)	
In olio o liquidi siliconici <i>Le parti attive sono immerse in un liquido isolante a cui viene trasmesso il calore che verrà asportato dal sistema di raffreddamento esterno.</i>	Naturale (come sopra): - a cassa liscia - con radiatori o con tubi	20-50 kVA 50-2000 kVA
	Artificiale: - con aria forzata (ventilatori) - con acqua (scambiatori di calore esterni)	Fino alla massime potenze

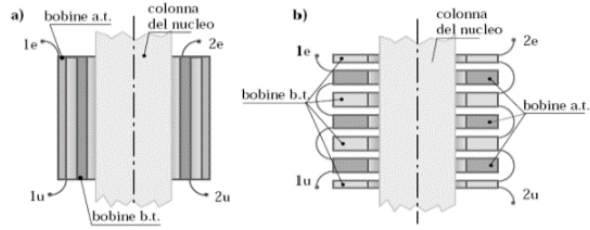
I trasformatori con una quantità di olio superiore ai 500 kg devono essere provvisti di una vasca di raccolta al fine di impedire il dilagare dell'olio infiammato all'esterno delle cabine, se queste non sono isolate.

PRINCIPALI SISTEMI DI RAFFREDDAMENTO	
Sigla	Significato
AN(AF)	Per circolazione naturale dell'aria (o forzata non guidata)
ONAN	Per circolazione naturale dell'olio e dell'aria
ONAF	Per circolazione naturale dell'olio e forzata non guidata dell'aria
OFAN	Per circolazione forzata dell'olio e naturale dell'aria
OFAF	Per circolazione forzata dell'olio e forzata non guidata dell'aria

Le prime due lettere indicano il mezzo di raffreddamento in contatto con le parti attive ed il tipo di circolazione. Le altre due lettere indicano il mezzo di raffreddamento intermedio a contatto con il sistema di raffreddamento esterno ed il tipo di circolazione.



Creazione dei nuclei ferromagnetici: in ordine di prestazione
 Accoppiamento della colonna al gioco
 B e C intercalate



Interna bassa
 Esterna alta