

MACCHINA ASINCRONA

La macchina asincrona (chiamata macchina a induzione magnetica) fu inventata nel 1885 da **Galileo Ferraris** come applicazione del campo magnetico rotante. Essa è una macchina **reversibile**, può funzionare come **motore** o come **generatore**; come **motore** ha un vasto campo di impiego, grazie alla sua semplicità di applicazione, alla sua robustezza e all'attuale possibilità di regolazione di velocità e impiego in automazione; come **generatore** ha un utilizzo invece piuttosto raro.

Sono motori asincroni trifase quelli degli ascensori e dei montacarichi; dei torni e delle frese; dei trapani da banco; delle macine; delle seghe circolari dei falegnami e dei fabbri; delle gru dei cantieri edili ecc.

Essa viene **alimentata** da un **sistema trifase**.
Con tre tensioni di fase (valore efficace 220 V) isofrequenziali (frequenza: 50Hz), sfasati di 120° .

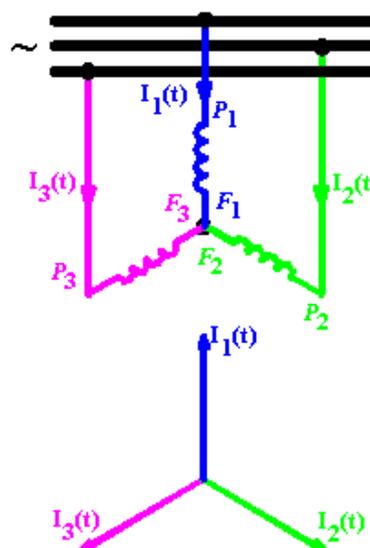
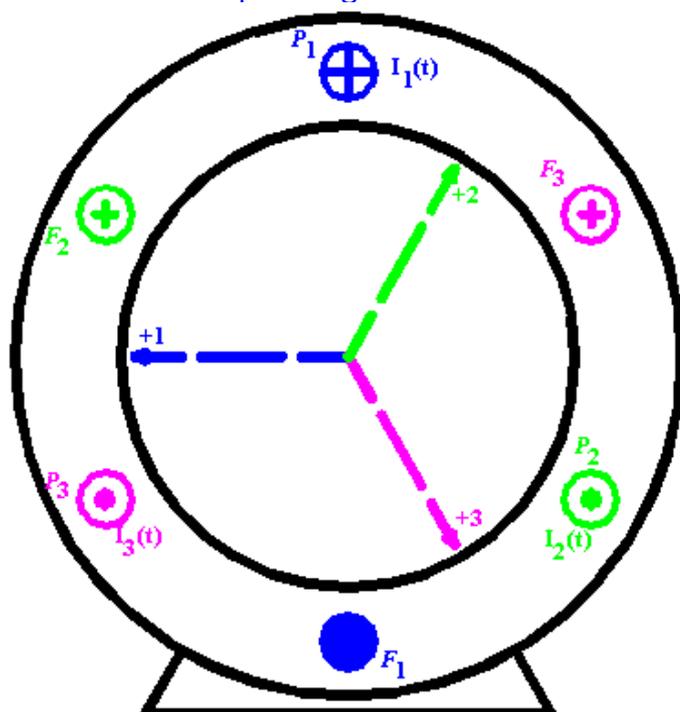
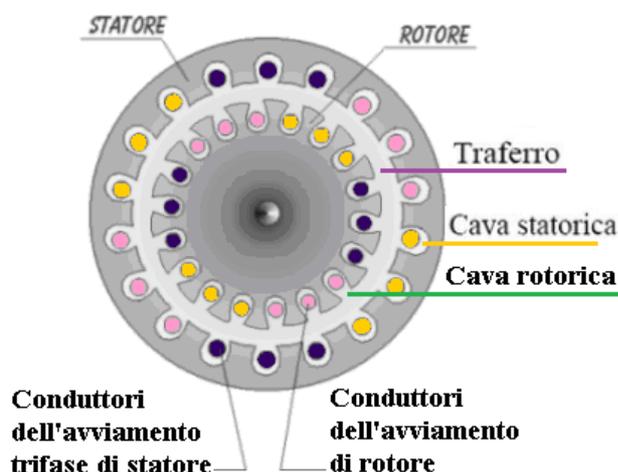
Il motore asincrono è costituito da due parti, una fissa: lo **statore** e una mobile: il **rotore**, separate da traferro, un piccolo spessore uniforme (0,5mm) di aria.

Sia sullo statore (induttore) che sul rotore sono presenti delle cave, per contenere i conduttori degli avvolgimenti. Le cave di rotore (indotto) sono più numerose delle cave di statore per consentire un più agevole avviamento del motore e ridurre le vibrazioni.

campo magnetico rotante

Le tre bobine alimentate dalle tre tensioni del sistema trifase; vengono, percorse da corrente variabile, che dà luogo ad un campo magnetico anch'esso variabile; ruota attorno all'asse del motore alla frequenza fissa di alimentazione: $f = 50 \text{ Hz}$.

Esso viene chiamato **campo magnetico rotante**.



La macchina **asincrona** deriva il nome dal fatto che la parte rotante non riesce a raggiungere autonomamente la cosiddetta velocità di "**sincronismo**" data dalla relazione:

$$n_s = 60 f/p \quad \text{la velocità di sincronismo in giri/secondo}$$

$$\omega_s = 2\pi f/p \quad \text{la velocità angolare in [radianti/s]}$$

Il rotore non ruota alla velocità di sincronismo, ma rallenta al variare del carico; per cui il motore non è detto sincrónico ma asincrono, cioè non rispetta la velocità di sincronismo imposta dallo statore; indichiamo con n_r la velocità del rotore che risulta minore di n_s

Si definisce scorrimento "s" il rapporto (adimensionale)

tra la velocità relativa oppure di scorrimento $\Delta n = n_s - n_r$ del campo magnetico rispetto al rotore e la velocità di sincronismo.

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s}$$

s: vuol dire che, il rotore scorre, cioè perde giri rispetto allo statore;

La velocità (meccanica) del rotore: $n_r = (60 f/p) \cdot (1 - s)$ [giri/min]

La frequenza rotorica : $f_r = s \cdot f$

Valori tipici dello scorrimento:

Lo scorrimento s è un numero adimensionale e varia da 0 a 1 (100%).

- **all'avviamento** (rotore ancora fermo con $n_r = 0$) $\rightarrow s = 1$
- **a vuoto ideale** (rotore con $n_s = n_r$) $\rightarrow s = 0$: condizione teorica di sincronismo tra rotore e campo magnetico rotante.
- **a vuoto reale** ($n_s \sim n_r$) $\rightarrow s \sim 0$

In valore percentuale $s\% = s \cdot 100$. In genere varia dal 1% al 5%.

La tensione indotta al rotore:

Indicando con $E_{20} = k_2 \cdot N_2 \cdot f \cdot \Phi$ il valore di $E_2 = k_2 \cdot N_2 \cdot f_r \cdot \Phi = k_2 \cdot N_2 \cdot s \cdot f \cdot \Phi$ (tensione ai capi dell'avvolgimento rotorico secondario) durante il funzionamento a rotore bloccato (rotore fermo $s=1$).

$$E_2 = s \cdot E_{20}$$

Con il rotore in movimento la tensione indotta in ogni fase dipende dalla frequenza rotorica oppure varia con lo scorrimento.

N_1 : è il numero di conduttori statorici in serie che corrisponde al numero di spire o di avvolgimenti.

N_2 : è il numero di conduttori rotorici in serie che corrisponde al numero di spire o avvolgimenti.

La tensione indotta in una fase statorica: $E_1 = k_1 \cdot N_1 \cdot f \cdot \Phi$

k_1 e k_2 sono costanti che dipendono da alcune particolarità costruttive.

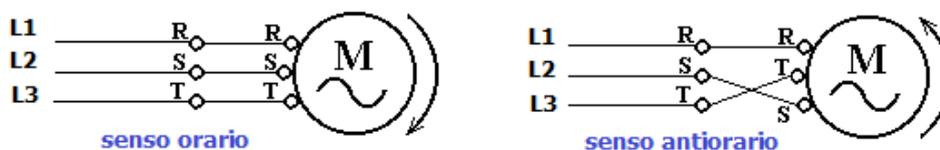
Il **rapporto di trasformazione** a rotore bloccato è: $k_0 = E_1/E_{20}$

Collegamento e verso di rotazione

Questo motore viene collegato alla linea trifase (indicati con L1, L2 e L3), che può essere da 400 V. Dato che gli avvolgimenti (indicati con R, S e T) che compongono il motore devono essere alimentati a 230 V.

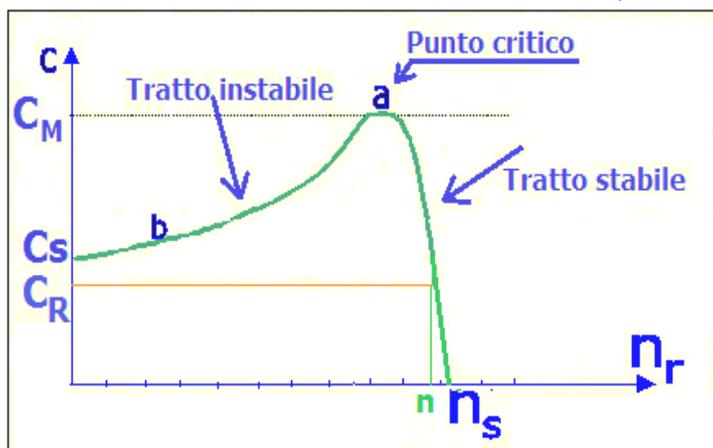
Il senso di rotazione del campo magnetico dipende, da come le fasi dell'avvolgimento induttore vengono collegate alla rete di alimentazione.

se viene rispettato ciclicamente il collegamento delle fasi alla rete di alimentazione L1=R, L2=S, L3=T, la rotazione avviene in senso orario visto dalla parte dell'asse.



Caratteristica meccanica

La caratteristica meccanica rappresenta l'andamento della coppia motrice C in funzione della velocità di rotazione del rotore n_r

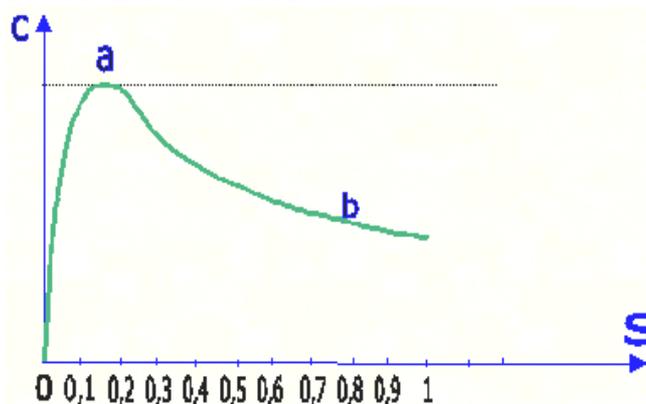


- C_M : la coppia massima;
- C_S : coppia di spunto cioè all'avviamento del motore;
- C_R : la coppia resistente in presenza del carico;
- n : la velocità di regime che corrisponde al carico C_R .

Tratto stabile: ad ogni aumento della coppia resistente, il motore rallenta e si porta a funzionare stabilmente ad un nuovo scorrimento corrisponde una nuova coppia motrice, la stabilità e

l'equilibrio vengono raggiunti dopo una serie di oscillazioni, che dipendono dalla rapidità della variazione del carico, dagli attriti e smorzamenti del moto, con conseguente diminuzione della coppia motrice ed ulteriore rallentamento, dopo di che, smaltita l'energia cinetica delle masse rotanti, il motore si ferma.

La caratteristica meccanica si può anche rappresentare in funzione dello scorrimento s ; Questa caratteristica ci dice che quando il motore gira con velocità elevata, cioè prossima alla velocità di sincronismo n_s ($s \approx 0$, molto piccolo), la coppia è molto elevata; in tal caso lo scorrimento è quasi nullo, vuol dire che la velocità è massima, quindi quasi uguale a quella di sincronismo; il rendimento è elevato.



Quando invece lo scorrimento aumenta e raggiunge il valore 1 ($s = 1$), la coppia motrice si riduce e il motore rallenta; per cui occorre evitare che il motore funzioni nel tratto a-b, che è un tratto instabile; infatti, in tale tratto se aumenta il carico meccanico e il motore rallenta, cioè aumenta lo scorrimento rispetto alla velocità di sincronismo, ma si riduce anche la coppia motrice, per cui il motore non sarebbe in grado di aumentare la sua velocità ma si porta a fermarsi, in quanto la coppia motrice si riduce.

Invece il tratto 0-a è un tratto stabile; infatti all'aumentare del carico, aumenta lo scorrimento, e quindi il motore rallenta, ma aumenta pure la coppia motrice, per cui il motore asincrono è in grado di sopportare l'aumento di carico meccanico.

Rendimento

Il rendimento η del motore asincrono trifase lo possiamo calcolare con la solita formula a destra. P_r : è la potenza meccanica utilizzata sul rotore, P_a è la potenza elettrica assorbita sullo statore.

$$\eta = \frac{P_r}{P_a}$$

La potenza sullo statore è di tipo elettrico e la si può misurare con dei wattmetri; essendo la potenza sul rotore di tipo meccanico la possiamo trasformare in potenza di tipo elettrico se ci calcoliamo le perdite, cioè la potenza perduta P_p .

Le perdite di potenza sono dovute sia al riscaldamento degli avvolgimenti di statore e di rotore, per effetto Joule, sia alle perdite nel ferro dovute ai flussi magnetici dispersi nello statore e nel rotore, e sia alle perdite dovute agli attriti meccanici e alle ventole di raffreddamento. Se indichiamo con P_p la somma di tutte le perdite, allora la potenza resa sul rotore sarà:

$$P_r = P_a - P_p$$

cioè sarà la differenza tra la potenza assorbita sullo statore P_a meno la potenza perduta P_p . Di conseguenza il rendimento diventa:

$$\eta = \frac{P_a - P_p}{P_a}$$

Il rendimento è basso per i piccoli motori, intorno al 77%, mentre è elevato per i grandi motori e raggiunge il 94%.

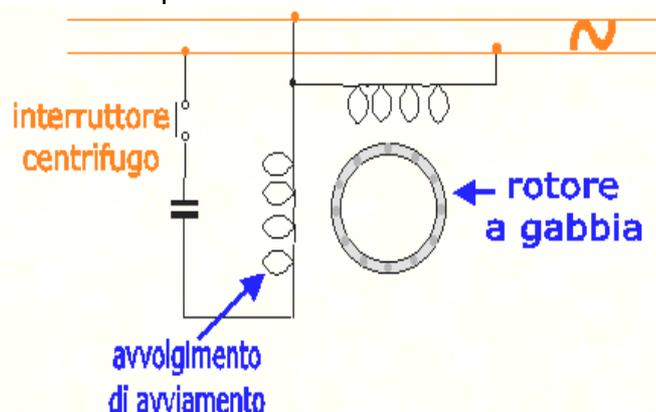
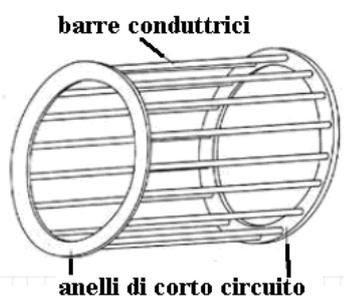
Motore asincrono monofase

Quando non è disponibile un'alimentazione trifase, è possibile utilizzare i motori asincroni monofase per macchine come seghe circolari, perforatrici, macchine d'aspirazione e ventilazione, elettrodomestici, macchine per l'ufficio.

I motori monofase ad induzione sono costruttivamente molto simili ai motori asincroni trifase. Normalmente il rotore è del tipo a gabbia di scoiattolo e lo statore presenta solo due avvolgimenti: uno principale (di marcia) e uno ausiliario (di avviamento). Sono disposti a 90° , percorsi da corrente alternata presente nelle abitazioni civili con una tensione tra fase e neutro è di 220 V con frequenza $f=50$ Hz e sono sfasate fra loro di $\frac{1}{4}$ di periodo.

Inserendo un condensatore in serie all'avvolgimento ausiliario (è il sistema più usato). Scegliendo opportunamente la capacità del condensatore, in modo che le correnti principale ed ausiliaria possano essere sfasate di 90° . Allo scopo di diminuire il consumo di potenza. $C = \frac{P_n}{(2\omega\eta V^2)}$ P_n : potenza nominale; η : rendimento

Rotore a gabbia semplice di scoiattolo: si trova in macchine di piccola-media potenza. L'avviamento rotorico è costituito da un insieme di barre conduttrici in rame o in alluminio (una per cava) collegate tra loro all'estremità da due anelli di cortocircuito. In modo da formare dei circuiti chiusi, percorsi dalle correnti d'indotto.



MACCHINA SINCRONA È detta sincrona quella macchina rotante in corrente alternata nella quale la frequenza della tensione indotta generata e la velocità di rotazione sono in rapporto costante.

L'impiego più diffuso e più comune della macchina sincrona è quello come generatore di energia elettrica sotto forma di corrente alternata, generalmente trifase (alternatore). In casi particolari la macchina sincrona, essendo reversibile, viene impiegata anche come motore, eccezionalmente come dispositivo per convertire la corrente alternata in continua o viceversa.

Alternatore

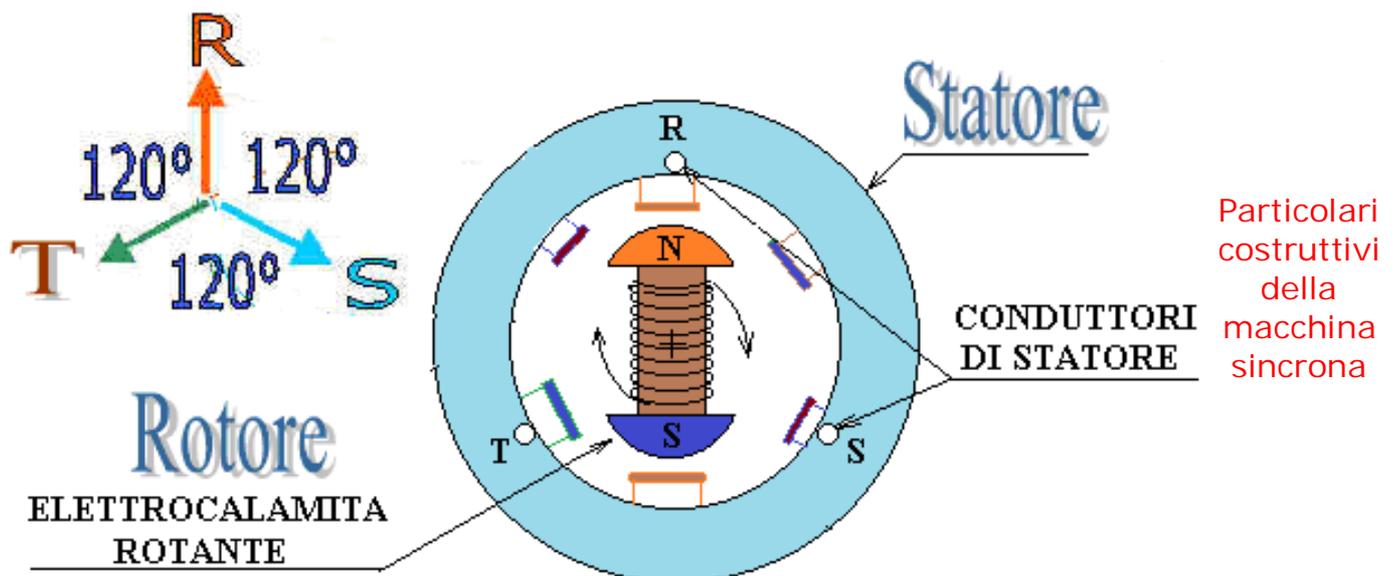
L'alternatore è una macchina elettrica rotante che trasforma energia meccanica in energia elettrica a corrente alternata, generalmente trifase. L'energia meccanica è fornita da motori primi: turbine idrauliche, a vapore o a gas, motori a carburazione o Diesel. L'importanza dell'alternatore negli impianti elettrici è legata alla convenienza di produrre energia elettrica a corrente alternata piuttosto che a corrente continua, perché in tal modo, grazie ai trasformatori, è possibile trasportarla a grande distanza con ottimi rendimenti. Gli alternatori sono sempre costituiti da due parti fondamentali, una fissa e l'altra rotante, dette rispettivamente statore e rotore, su cui sono disposti avvolgimenti di rame isolati. Dal punto di vista del funzionamento elettrico i due avvolgimenti si dicono induttore e indotto; a seconda del tipo di alternatore l'induttore può essere disposto sul rotore e l'indotto sullo statore o viceversa.

L'alternatore viene detto anche macchina sincrona per il fatto che la velocità con cui ruota deve essere costante e sincronizzata in base alla frequenza della rete elettrica a cui è collegata, rete che in Italia ha la frequenza di 50 Hz.

In particolare tra frequenza e velocità esiste la seguente relazione: $f = n p / 60$

dove f è la frequenza misurata in Hz, n è il numero di giri del rotore compiuti in un minuto e p è il numero di coppie polari (nord-sud).

Quando nel rotore vi è un solo polo Nord e un solo polo Sud ($p = 1$), cioè vi è una sola coppia di poli: $f = n / 60$

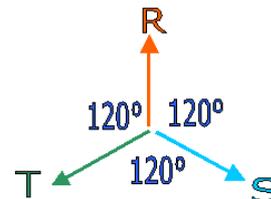


Sul rotore vi sono degli avvolgimenti che sono alimentati con una tensione continua; tale tensione continua può essere fornita o da una batteria esterna oppure da una dinamo calettata (fissata) sullo stesso albero rotore.

L'avvolgimento del rotore è anche detto avvolgimento di eccitazione, in quanto genera un campo magnetico.

Sullo statore vi sono altri avvolgimenti che non sono alimentati ma ai capi di questi avvolgimenti vi si genera una forza elettromotrice indotta, dovuta alla legge di Farady. Tale forza elettromotrice viene poi sfruttata per alimentare un utilizzatore.

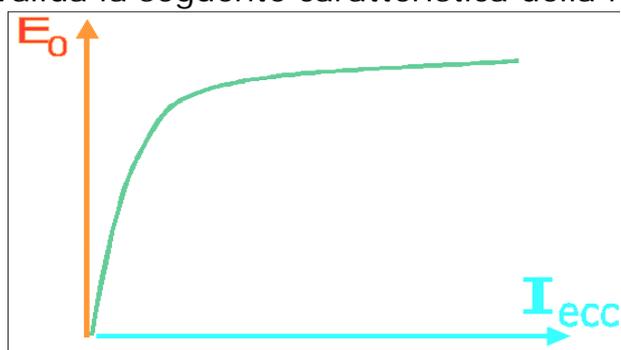
Se sullo statore vi sono tre avvolgimenti separati e disposti in modo tale che formino tra di loro degli angoli meccanici del valore ciascuno di 120° anche le tensioni alternate che vi si generano in questi tre avvolgimenti sono sfasate tra di loro di un angolo pari a 120° .



stella di tensioni del sistema trifase

Nel sistema trifase fornito dall'ENEL i valori delle tensioni trifasi sono pari a 400 V, in valore efficace.

Per poter cambiare la tensione dello statore possiamo agire sull'avvolgimento di eccitazione, cioè sull'avvolgimento di rotore; in particolare aumentando la tensione continua sul rotore aumenta anche la tensione alternata prelevata sullo statore. Infatti è valida la seguente caratteristica della macchina sincrona utilizzata come alternatore:



Tale caratteristica è detta a vuoto perché è valida quando manca il carico, cioè quando manca l'utilizzatore. Tale caratteristica ci dice che all'aumentare della corrente di eccitazione del rotore aumenta anche la tensione alternata prelevabile sullo statore. In presenza del carico la tensione scende all'aumentare del carico, se il carico è di tipo resistivo o induttivo; se, invece, il carico è di tipo capacitivo, la tensione a carico risulta essere maggiore di quella a vuoto.

caratteristica a vuoto di un alternatore

Per calcolare il **rendimento** possiamo fare il rapporto tra la potenza utile P_e , che è quella erogata e la potenza assorbita P_a , che è quella meccanica fornita dal motore meccanico che mette in rotazione il rotore.

La potenza assorbita la possiamo calcolare come somma tra la potenza erogata e la potenza perduta, cioè: $P_a = P_e + P_p$

La potenza perduta P_p è dovuta sia agli attriti meccanici sull'albero rotore, sia alle perdite dovute al riscaldamento nei fili di rame per effetto Joule, sia a perdite magnetiche dovute ai flussi dispersi, e sia alle perdite dovute alle apparecchiature addizionali, e cioè i sistemi di raffreddamento e il generatore di tensione che alimenta l'avvolgimento di eccitazione del rotore.

In definitiva possiamo dire che: $\eta = P_e / P_a = P_e / (P_e + P_p)$, Come valori si aggira tra il 90% e il 95%.

La potenza nominale dell'alternatore è: $P = V I$ E si misura in VA (Voltampere)