

APPUNTI DI ELETTRONICA

MOTORI ELETTRICI TRIFASI

Guida Teorica e Pratica

A cura di Marco Dal Prà

Versione n. 3.1 - Gennaio 2008

Prefazione

Sul motore elettrico trifase esistono già moltissimi documenti, e soprattutto su quello asincrono. Questa guida quindi potrebbe sembrare inutile, ma invece ha un approccio un po' diverso dai libri scolastici e dai testi specifici.

L'intenzione è di raccogliere tutte le nozioni, sia basilari che normative che di mercato, e di confrontarle con l'utilizzo pratico del motore.

Si sono affrontate soprattutto le seguenti tematiche :

- Concetti base sui motori elettrici trifasi
- Concetti approfonditi legati all'azionamento dei motori mediante inverter;
- Problematiche meccaniche : la coppia
- Problematiche energetiche : l'efficienza.

Bibliografia :

- Mario Pezzi Macchine Elettriche 2a. Ediz. - Zanichelli
- Bassi / Bossi Elettrotecnica Pratica Editoriale Delfino Marzo 2000
- Principi base dei Motori Trifase a induzione Rockwell Automation Ott.1997*
- www.electroportal.net Articoli di vari

DEFINIZIONI

Al fine della presente guida valgono le seguenti definizioni :

Inverter

Nel gergo industriale si intende un dispositivo atto alla regolazione della velocità dei motori trifasi.

Motore ad Induzione

Sinonimo di motore asincrono trifase, che è chiamato in questo modo prevalentemente in Italia, mentre negli altri paesi è chiamato più correttamente motore ad induzione (induction motor).

Frequenza

Cicli al secondo (si misura in Hertz).

Nella presente guida si considera pari a **50 Hz**, che è la frequenza unificata per l'Europa della tensione di rete.

Bassa Tensione (B.T.)

Sono considerati in Bassa Tensione gli impianti elettrici con tensione inferiore a 1000 Volt in corrente alternata (Norma CEI 64-8).

Il termine tipicamente identifica gli impianti a 230 Volt per i circuiti monofase, e di 400V per i circuiti trifase.

Nota : queste tensioni sono state unificate per l'Europa e sostituiscono definitivamente dal 1 Gennaio 2003 il vecchio sistema 220/380V.

INTRODUZIONE

Il mercato dei motori elettrici oggi è dominato prevalentemente dal motore asincrono trifase a gabbia, un tipo di motore molto semplice, robusto ed economico.

Il motore asincrono trifase negli anni ha guadagnato una fetta di mercato sempre maggiore, occupando, grazie all'elettronica di controllo, anche settori che un tempo erano ad uso esclusivo dei motori in corrente continua, che al contrario stanno quasi scomparendo.



Lo si vede anche dal mercato dei motori elettrici in Italia (anni 2001-2004) che risulta suddiviso (dati estratti dai fatturati delle imprese associate ANIE), come numero di pezzi, indicativamente :

- 80 % Motori Asincroni in B.T.
- 16 % Motori Brushless
- 4 % Motori in Corrente Continua

L'uso dei motori asincroni va dalle pompe ai ventilatori, dagli ascensori alle gru, dai compressori d'aria ai gruppi frigoriferi, dai miscelatori ai trasportatori, ma la lista è interminabile in quanto nella maggior parte delle applicazioni tecnologiche, sia industriali che del terziario, per ricavare energia meccanica dall'energia elettrica si usano proprio questi motori.

Sul mercato sono reperibili numerosissimi modelli, e la gamma di potenza spazia da poche centinaia di watt fino a motori che superano i 600 kW.

Tuttavia, come si vedrà più avanti, questi motori quando collegati alla rete hanno il "difetto" di girare a velocità praticamente costante.

L'inverter è un dispositivo nato proprio per risolvere questo problema, ma per questo dispositivo esiste un altro documento.

Capitolo I°

MACCHINE ELETTRICHE ROTANTI

1.1 Macchine Elettriche

I motori elettrici, a prescindere dal tipo, fanno parte della grande famiglia delle macchine elettriche, ed in particolare a quella delle macchine rotanti.

Si usa il termine “macchine” in quanto generalmente sono *reversibili*.

Si può capire meglio questo concetto con l'aiuto di alcuni esempi :

- I trasformatori possono essere usati per abbassare la tensione, ma anche per ottenere l'effetto contrario, ossia di elevare una tensione.
- Un motore elettrico trasforma l'energia elettrica in meccanica, ma può essere usato come generatore semplicemente applicando all'asse una appropriata forza.
- Una macchina in corrente continua può essere chiamata Dinamo o Motore, ma il fabbricante non può sapere se il suo cliente la utilizzerà per produrre energia elettrica o per eseguire un lavoro meccanico.

Anche se talvolta le macchine rotanti hanno una progettazione leggermente diversa se usate come generatori piuttosto che come motori, il concetto di reversibilità resta.

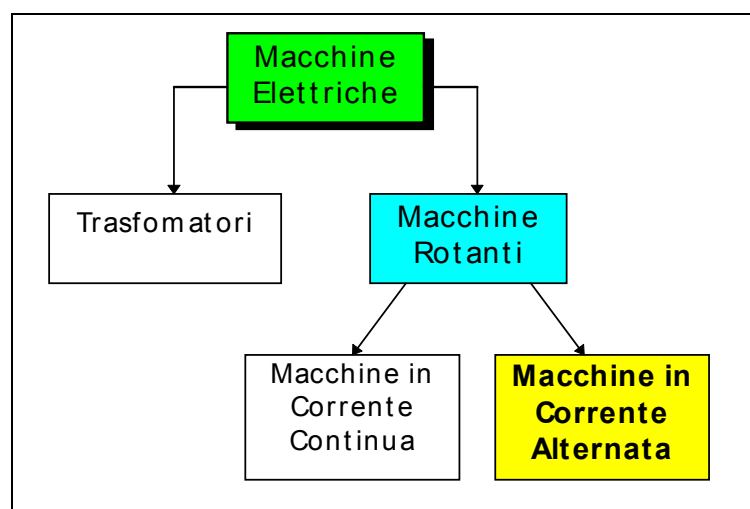


Figura 1.1 - Suddivisione delle Macchine Elettriche

Come si vede in figura 1.1, per le macchine rotanti si individuano due grandi famiglie : le macchine in corrente alternata e quelle in corrente continua.

In questa trattazione ci occuperemo di motori in corrente alternata, e più precisamente di motori trifasi.

1.2 Aspetti meccanici dei Motori Elettrici

I motori elettrici trifasi sono composti essenzialmente di due parti : lo statore ed il rotore. Lo **statore** è la parte fissa nella quale sono inseriti i tre avvolgimenti primari, ai quali viene applicata la tensione di alimentazione.

All'interno dello statore trova posto il **rotore**, che trascinato dal campo magnetico degli avvolgimenti statorici si pone in rotazione.



Figura 1.2 - Motore Elettrico Trifase di tipo Asincrono con rotore a gabbia.

Completano la nostra macchina rotante :

- la carcassa, che con le alette smaltisce il calore prodotto soprattutto dallo statore;
- la ventola, che provvede al raffreddamento, ma sottrae una piccola parte dell'energia assorbita nelle cosiddette "perdite per ventilazione",
- i due cuscinetti che reggono l'albero del motore, che anch'essi influiscono nel rendimento con le "perdite meccaniche"
- la scatola di connessione, o morsettiera
- l'asse scanalato, nel quale si inserisce la "chiavetta" per il fissaggio con la macchina operatrice.

Nota - Le "taglie" dei motori

I Motori elettrici si identificano dal punto di vista meccanico con un termine denominato **Grandezza**.

La grandezza di un motore è semplicemente la misura, in millimetri, dell'altezza dell'asse dal piano di appoggio del motore.

Capitolo II°

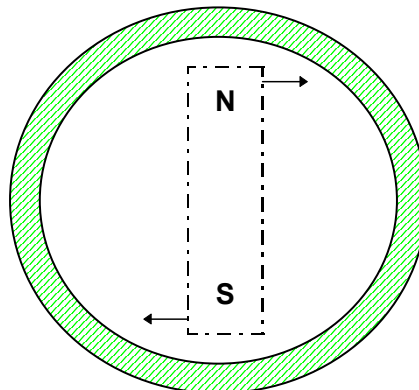
CAMPO MAGNETICO e VELOCITA'

2.1 Campo Magnetico Rotante

Lo *statore* di un motore elettrico trifase è la parte fissa nella quale sono inseriti i tre avvolgimenti primari, e ad essi viene applicata la tensione di alimentazione.

Come già detto, all'interno dello statore trova posto il rotore, che trascinato dal campo magnetico generato dagli avvolgimenti statorici, si pone appunto in rotazione.

Quando ai tre avvolgimenti dello statore viene applicata una tensione alternata, infatti, nello spazio all'interno si crea un *Campo Magnetico Rotante*.



In poche parole è come se il campo magnetico “alternato” prodotto dallo statore generasse un magnete virtuale in rotazione.

All'interno dello statore è comunque possibile installare più “terne” di avvolgimenti (montati sfalsati di un certo angolo), cosicché vengono generati più magneti virtuali, ossia uno per ogni terna di avvolgimenti.

Nella terminologia specifica dei motori elettrici si dice che un motore con una terna di avvolgimenti ha una *Coppia Polare*, o anche più semplicemente *due poli*.

2.2 Velocità

La velocità di rotazione di un motore dipende dal Campo Magnetico Rotante, che a sua volta dipende dalla frequenza della tensione di alimentazione.

In pratica, per un motore con una coppia polare, applicando una tensione a 50 Hz si avrà una velocità del rotore di 50 giri al secondo, ossia 3000 giri al minuto.

Quando invece lo statore è costituito da più coppie polari, il campo magnetico rotante non gira più a 3000 Giri, ma a velocità inferiori, vista la presenza di altri poli magnetici, che permettono al rotore di percorrere “meno spazio” prima di trovare il polo che lo attrae.

Da ciò deriva la **tabella fondamentale delle velocità dei motori trifasi a 50 Hz** :

Numero di Poli	Coppie Polari	Velocità (giri/min.)
2	1	3000
4	2	1500
6	3	1000
8	4	750
10	5	600
12	6	500
20	10	300
30	15	200
ecc..

Tabella 2.1 - Tabella delle velocità del Campo Magnetico Rotante.

Tipicamente i costruttori hanno a catalogo motori a 2,4,6,8 poli, mentre per modelli con un numero di poli superiore è necessario richiederne la costruzione su misura.

Nota - Le Coppie Polari e gli aspetti costruttivi

Il numero di coppie polari incide sugli aspetti costruttivi dello statore, soprattutto dal punto di vista meccanico.
 I motori con più coppie polari infatti, a parità di potenza, hanno una dimensione dello statore maggiore di quelli con poche coppie polari.
 Questo è visibile nei cataloghi, dove si può notare come a parità di potenza i motori con più poli aumentano di “grandezza”.

Ricapitolando

Nello statore si trovano i due “fattori” che influiscono nella velocità di rotazione di un motore , e cioè :

- la frequenza della tensione di alimentazione;
- le coppie polari, ossia il numero di “terne” di avvolgimenti che lo costituiscono.

Capitolo III°

TIPI di MOTORI TRIFASE

3.1 Tipologie di Motori

Osservando un qualunque libro di elettrotecnica si può vedere come i motori trifasi in corrente alternata si dividono in due grandi famiglie: motori sincroni e motori asincroni.

I motori asincroni, a loro volta si dividono in motori con rotore avvolto e motori con rotore in cortocircuito.

Tutti indistintamente sono costituiti da uno statore e da un rotore, ma mentre lo statore è pressoché eguale per tutti i modelli, il rotore cambia in modo sostanziale conformazione da un tipo ad un'altro.

3.2 Motori Sincroni

I motori sincroni sono macchine elettriche il cui rotore gira alla stessa velocità del campo magnetico rotante; il rotore si muove quindi in “sincronia” con esso.

Sono usati per applicazioni molto particolari che richiedono elevata potenza e molta stabilità nella velocità (cartiere, laminatoi, ecc.).

Il rotore è composto da uno o più avvolgimenti alimentati in corrente continua, detti di eccitazione, che creano un campo magnetico “statico” che opponendosi al campo magnetico rotante costringono il rotore a girare.

Per avviare una macchina sincorna è necessario utilizzare un motore ausiliario, detto anche “di lancio”, per portare la macchina alla velocità di sincronismo prima di alimentarlo con la tensione di rete.

Sebbene da certi punti di vista sia la macchina “ideale”, vi sono problemi manutentivi che richiedono personale specializzato, e la complessità costruttiva ne aumenta notevolmente i costi di produzione.

Queste macchine possono essere usate indifferentemente come Motore e come Generatore (Alternatore), *uso questo molto più diffuso*.

Le macchine sincrone e comunque i motori sincroni hanno una trattazione particolare che non rientra tra gli scopi della presente guida.

3.3 Motori Asincroni

Il motore asincrono è una macchina elettrica nella quale il rotore gira ad una velocità inferiore a quella imposta del campo magnetico rotante.

Il nome Asincrono, infatti, sta proprio a significare che il rotore non è sincronizzato con il campo generato dallo statore.

Il nome corretto di questo motore, tuttavia, è motore ad induzione.

Il termine asincrono infatti descrive solo il fatto che il rotore non è in sincronismo con il campo magnetico rotante, ma non descrive il modo di funzionamento del motore stesso.

Il motore asincrono, a differenza di quello sincrono, non ha un sistema separato di eccitazione che crea un campo magnetico sul rotore, ma si sfrutta appunto il fenomeno dell'induzione per fare in modo che il campo magnetico rotante crei delle correnti nel rotore che si oppongono allo stesso.

Il rotore inizia quindi a girare in quanto i campi magnetici dovuti alle correnti rotoriche sono attratti (o respinti) dal campo magnetico dello statore.

Affinchè funzioni quindi il rotore del motore asincrono deve "rubare" al Campo Magnetico Rotante parte dell'energia, e da qui la velocità inferiore a quella effettiva indicata nella precedente tabella (tipicamente del 3-5%).

Talvolta si usa chiamare "indotto" il rotore ed "induttore" lo statore, anche se questi termini sono nati per i motori in corrente continua.

Il motore asincrono trifase può essere costruito in due modi : con il rotore avvolto o con il rotore in cortocircuito.

3.4 Motore Asincrono con Rotore Avvolto

In questo tipo di motore asincrono vi sono tre avvolgimenti anche nel rotore, ma mentre nel motore sincrono l'avvolgimento del rotore è alimentato a parte, nel motore asincrono le correnti che circolano negli avvolgimenti rotorici, come detto, sono indotte dal campo magnetico di statore.

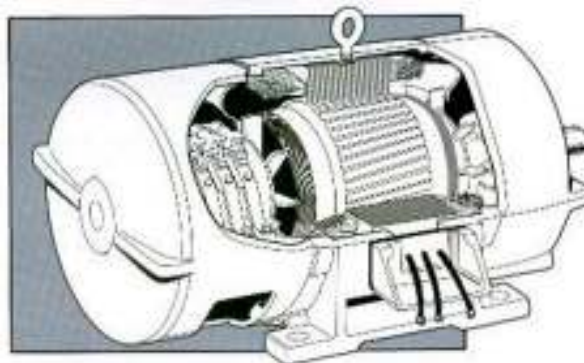


Figura 3.1 - Motore Asincrono Trifase con rotore avvolto; a sinistra, i 3 anelli rotorici.

E' anche detto "Motore ad anelli", in quanto il rotore è dotato di anelli conduttori ai quali fanno capo i tre avvolgimenti rotorici.

Sugli anelli poi strisciano delle apposite spazzole, alle quali vengono collegati dei reostati per regolare le correnti circolanti sul rotore, soprattutto all'avviamento, consentendo una discreta regolazione della velocità.

I motori asincroni con il rotore avvolto erano utilizzati in passato in tutte le applicazioni di notevole potenza dove era necessaria la regolazione della velocità, come gru, carriponte, ecc.

Questo tipo di motore, seppur ancora utilizzato in alcuni casi, presenta i seguenti inconvenienti .

- ha bisogno di manutenzione a gli anelli ed alle spazzole,
- occupare uno spazio maggiore sia in grandezza che in lunghezza.

Dato l'utilizzo sempre più diffuso di regolatori elettronici di velocità (inverter) per i motori asincroni con rotore in cortocircuito, questi motori sono lentamente destinati ad essere abbandonati.

3.5 **Motore Asincrono con Rotore in Cortocircuito**

Come già detto i motori elettrici più utilizzati in senso assoluto sono i motori asincroni trifasi con il rotore in cortocircuito.

Il rotore di questi motori infatti è costituito da delle semplici sbarre chiuse in cortocircuito, e per questo motivo viene detto anche "motore a gabbia di scoiattolo".

Questo motore, grazie alla sua semplicità costruttiva, è utilizzato per la stragrande maggioranza delle applicazioni , in quanto :

- garantisce una buona robustezza,
- non richiede manutenzione,
- ha dei costi molto contenuti,
- in commercio sono disponibili anche modelli ad alto rendimento (vedere appendice per standard europei in tema di Efficienza Energetica).

In seguito, quando si parlerà di motore asincrono si intenderà il motore con rotore in cortocircuito.

Capitolo IV°

TEORIA DEL MOTORE ASINCRONO

4.1 Introduzione

Per capire meglio un azionamento in corrente alternata è necessario capire le formule base che descrivono il funzionamento del motore trifase.
Innanzi tutto vediamo l'aspetto velocità di rotazione.

4.2 Giri al Minuto

Come già visto, nel motore trifase il rotore è mantenuto in rotazione dal campo magnetico rotante prodotto dalle correnti che circolano negli avvolgimenti trifasi dello statore.
La velocità del campo magnetico rotante è calcolabile con la seguente formula :

$$n_s = \frac{120 * f}{p}$$

Dove :
 n_s = Numero di Giri al Minuto (del campo di statore)
 f = frequenza di alimentazione
 p = Numero di poli che costituiscono il motore

Si deduce quindi che per regolare la velocità di un motore, l'unica possibilità è quella di variare la frequenza della tensione di alimentazione.

Esempio

Si prenda un motore a 2 poli, che alimentato 50Hz funziona a 3000 giri/min.

Se viene alimentato con una frequenza di 20 Hz questo funzionerà ad una velocità (teorica) di :

$$n = 120 * 20 / 2 = 1200 \text{ giri/min.}$$

Nota - Lo Scorrimento

A differenza dei motori sincroni, nei motori ad induzione la velocità di rotazione reale è leggermente inferiore a quella del campo magnetico rotante, ed è proprio per questo motivo che vengono chiamati asincroni, perchè non girano in "sincronismo" con esso.

Questo fenomeno è denominato scorrimento, e viene indicato con il simbolo s o anche $s\%$.

Per conoscere il numero di giri al minuto Nominale di uno specifico motore è necessario consultare le caratteristiche fornite dal costruttore.

Indicativamente la velocità reale si discosta da quella calcolata di un 3% per i grossi motori (oltre 100kW) fino al 6-7% per i motori di piccola taglia.

Detto questo sembrerebbe risolto il problema di come regolare la velocità di un motore elettrico : basta un dispositivo che alimenti un motore con corrente alternata a frequenza variabile a seconda delle esigenze dell'utente, e questo dispositivo è proprio l'inverter.

Tra l'altro alla luce della formula indicata, nulla toglie alla possibilità di alimentare il motore con una frequenza superiore a quella di targa, per fargli così raggiungere delle velocità più elevate.

Purtroppo però, come si vedrà a breve, ci sono altri parametri elettrici da controllare per mantenere il funzionamento del motore entro le caratteristiche progettuali.

In particolare la frequenza incide notevolmente sulle reattanze e sul flusso magnetico per cui è necessario ricorrere ad alcuni accorgimenti per garantire al motore le prestazioni "meccaniche" nominali.

4.3 Flusso Magnetico

Nel motore asincrono trifase il campo magnetico prodotto dagli avvolgimenti dello statore genera un flusso magnetico che passa dallo statore al rotore attraverso il traferro*.

Tale flusso magnetico si calcola con la seguente formula :

$$\Phi = \frac{V_1}{K N_1 f}$$

Dove :
 V_1 = Tensione di Alimentazione
 f = Frequenza di alimentazione
 N_1 = Numero di spire dell'avvolgimento di statore
 K = Fattore dipendente da parametri costruttivi

Il valore del flusso magnetico nel motore viene stabilito dal costruttore in fase di progettazione e di dimensionamento dei lamierini magnetici e di altre parti meccaniche del motore.

Cambiare questo valore significa uscire dai valori di funzionamento del motore stesso, con il rischio di ottenere un funzionamento anomalo.

Inoltre come si vede, nella formula è presente la Frequenza.

Questo significa che se si varia la frequenza con cui si alimenta il motore al fine di modificare la velocità di rotazione si avrebbe come conseguenza :

- Per valori inferiori a 50 Hz - un aumento del flusso magnetico,
- Per valori superiori a 50 Hz - una diminuzione del flusso magnetico.

Come già detto, invece, per conservare inalterate le caratteristiche meccaniche del motore, è necessario garantire che il flusso magnetico rimanga più vicino possibile al valore stabilito dal costruttore.

E' quindi necessario ricorrere a qualche altro parametro presente nella suddetta formula per fare in modo che al variare della frequenza il flusso magnetico rimanga pressochè inalterato.

Dato che i parametri K ed N_1 non sono modificabili in quanto insiti nel motore, l'unica variabile che può essere usata per risolvere il problema ***è la tensione.***

Per concludere quindi il motore trifase può essere controllato in frequenza a patto che il rapporto

$$V / f$$

venga mantenuto il più costante possibile, in modo da assicurare che nel motore il flusso magnetico si mantenga nei valori stabiliti dal costruttore.

*(lo spazio di 'aria' tra il rotore e lo statore)

3.3 Coppia

La coppia che un motore imprime ad un carico è calcolabile con la formula :

$$C = \frac{60 P}{2 \pi n'}$$

Dove :
 P = Potenza Meccanica del Motore in Watt
 n' = Numero di giri al minuto effettivi

Questa formula però non ci dice nulla sulle caratteristiche “elettriche” del motore, e soprattutto di come varia la coppia al variare dei parametri di alimentazione.

Per determinare la coppia nominale di un motore asincrono trifase, partendo dalle caratteristiche elettriche, si può ricorrere alla seguente formula semplificata :

$$C_n = \frac{3p}{2\pi f_2 R_2} \frac{V^2}{f^2}$$

La prima parte della formula è costituita da parametri pressochè costanti per lo studio che dobbiamo affrontare ora, quindi ci concentriamo sulla seconda parte, ossia sul rapporto della tensione al quadrato diviso la frequenza al quadrato.

Per ottenere il calcolo del valore nominale ovviamente il costruttore ha utilizzato i valori di tensione e di frequenza nominali.

Anche in questo caso mantenendo costante il rapporto V/f si mantiene costante la caratteristica meccanica del Motore.

Capitolo V°

REGOLAZIONE delle GRANDEZZE ELETTRICHE

5.1 Introduzione

Vediamo ora cosa accade alimentando il motore con tensione e frequenza diversi da quelli nominali.

5.2 Variazione della Tensione di Alimentazione

In questo caso, rispetto al valore nominale :

- Se la tensione è inferiore, la coppia diminuisce;
- Se si aumentasse la tensione, la coppia aumenterebbe, ma ciò non è possibile in quanto si danneggerebbe l'isolamento degli avvolgimenti.

Molti sistemi di avviamento, per limitare la corrente di spunto, sono concepiti per alimentare il motore ad una tensione più bassa di quella nominale.

Questo sistema, seppur valido, ha come controindicazione il fatto che la coppia ***diminuisce in rapporto quadratico rispetto alla tensione***, cosicchè talvolta questo sistema si dimostra inutilizzabile.

Ad esempio con un sistema che riduce la tensione di $1/\sqrt{3}$ (ovvero 230V anzichè 400V), tipicamente il sistema Stella/Triangolo, si avrebbe che la coppia disponibile sarebbe molto bassa, circa $1/3$ di quella nominale.

5.3 Variazione della Frequenza di Alimentazione

In questo caso, rispetto al valore nominale :

- Se la frequenza è inferiore, il motore riduce la velocità, ma la coppia aumenta;
- Se la frequenza aumenta, il motore accelera , ma la coppia diminuisce.

Questo funzionamento potrebbe essere deleterio dal punto di vista meccanico, soprattutto per le frequenze basse, in quanto al momento dell'avviamento il motore avrebbe una coppia elevatissima.

Ad esempio alimentando un motore a 2 Poli da 5,5 kW con una tensione di 400V a 10Hz si avrebbe una coppia all'avviamento 5 volte più grande di quella nominale.

Questo comporterebbe inoltre delle correnti di spunto inammissibili per il motore stesso e quindi sarebbe una possibilità non attuabile.

5.4 Variazione combinata di Tensione e Frequenza

Applicando ad un motore una alimentazione con frequenza e tensione ridotte in modo proporzionale tra loro, si ha una diminuzione nella velocità del motore, ma anche il mantenimento della coppia entro lo stesso valore di quella nominale.

Questa è la soluzione ideale, in quanto questo significa che **restano costanti le caratteristiche meccaniche del motore**.

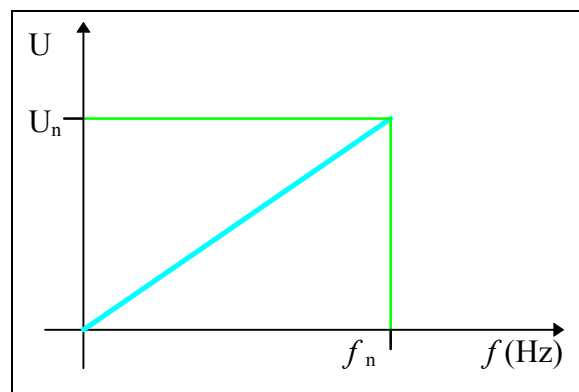


Figura 5.1 Grafico della legge teorica di variazione della tensione in funzione della frequenza.

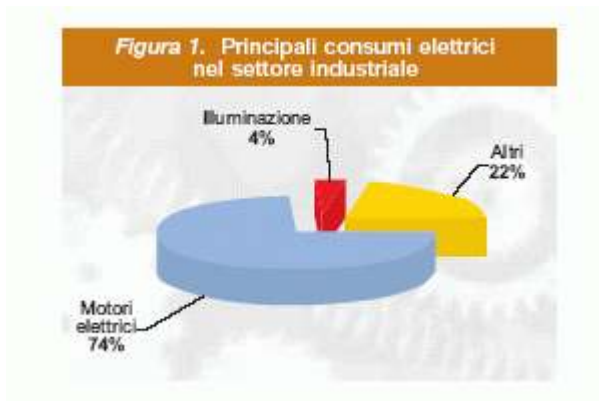
APPENDICI



- A. Efficienza Energetica
- B. riserva
- C. Questione di Coppia

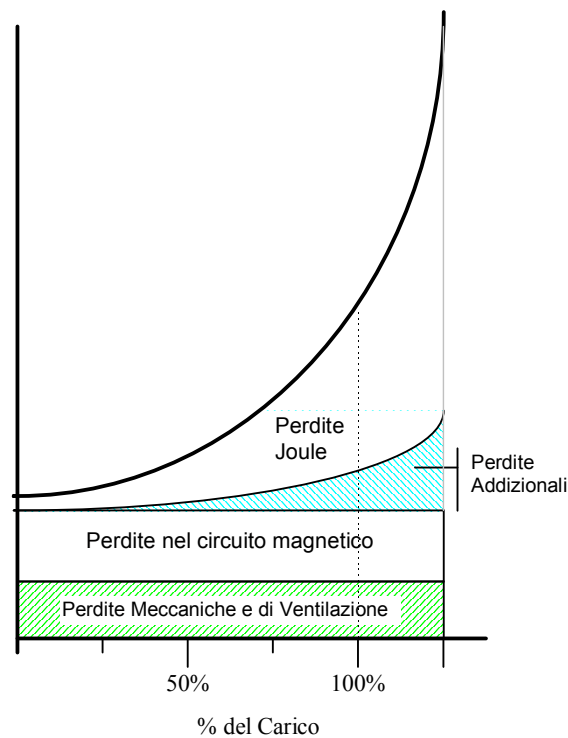
A. EFFICENZA ENERGETICA

A proposito di questa tematica, dato che non esistono normative in fatto di rendimento dei motori, i maggiori produttori europei si sono associati nel consorzio CEMEP ed hanno siglato un accordo volontario con la Commissione Europea.



Il consorzio ha individuato 3 classi di efficienza denominate EFF1, EFF2 ed EFF3, dove la classe EFF1 indica il livello migliore, ed è stato stabilito di abbandonare progressivamente la produzione di motori di tipo EFF3.

I motori di questo tipo sono riconoscibili proprio per la presenza di queste sigle nell'etichetta.



C. QUESTIONE di COPPIA

La coppia è una unità di misura esprime la forza che un motore imprime al proprio asse, ossia al carico meccanico, quindi è un parametro fondamentale per conoscere le caratteristiche meccaniche del motore.

L'unità di misura della coppia nel Sistema Internazionale è il Newton per Metro (Nm), mentre inizialmente si usavano i kgm (chilogrammetri).

In una macchina si identificano due “coppie” :

- **C_m** Coppia Motrice - La coppia che imprime il motore ;
- **C_r** Coppia Resistente - La coppia del carico meccanico che si oppone alla coppia motrice (detta anche coppia di carico);

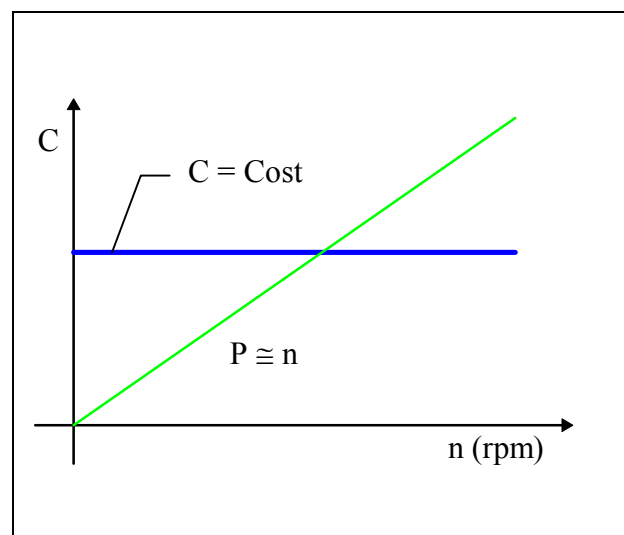
La coppia resistente, come la coppia motrice, non è sempre costante, ma varia a seconda della velocità di rotazione del motore.

Vediamo dei tipici casi di Coppia resistente a seconda del tipo di macchina, con dei grafici che esprimono la coppia di carico in funzione della velocità.

C.1 Macchine a Coppia Costante

Nelle macchine a coppia resistente costante la coppia è indipendente dalla velocità. Ciò accade, ad esempio, negli apparecchi di sollevamento, dato che il peso sollevato è costante.

- Gru, Argani, Ascensori
- Seggiovie e funivie
- Nastri trasportatori, Coclee
- Pompe volumetriche a pistoni o ingranaggi
- Compressori a pistoni a pressione costante
- Rettificatrici, Piallatrici
- Macchine continue per la carta
- Macchine continue di stampa
- Macchine rotative tessili
- Mescolatori
- Laminatoi
- Avvolgitrici a tiro costante

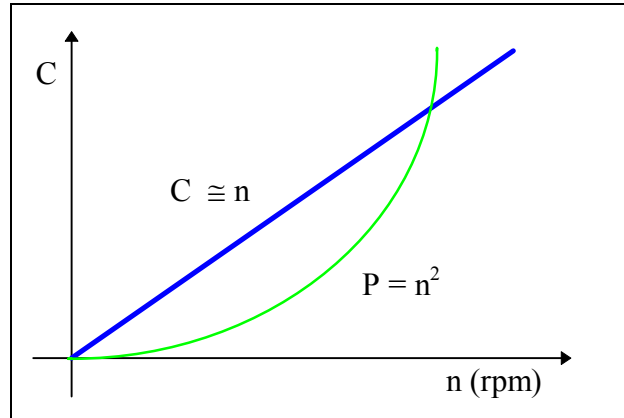


Nel grafico è indicata anche la Potenza, che cresce in modo proporzionale con la velocità.

C.2 Macchine a Coppia Crescente

In queste macchine la coppia resistente aumenta in modo proporzionale con la velocità.

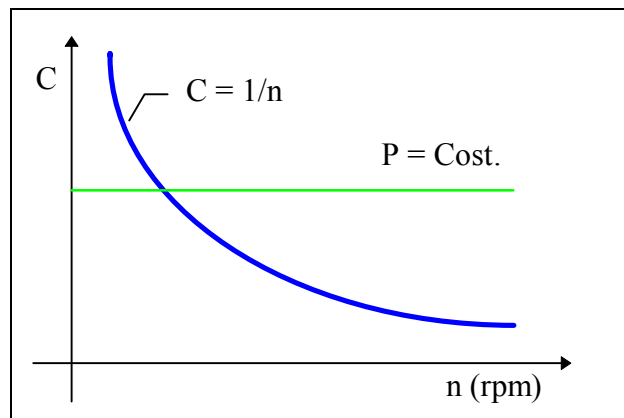
- Presse meccaniche e idrauliche,
- Calandre
- Freni elettromagnetici
- Estrusori



C.3 Macchine a Coppia Decrescente

In queste macchine la coppia resistente è elevata a bassa velocità e decresce all'aumentare della velocità.

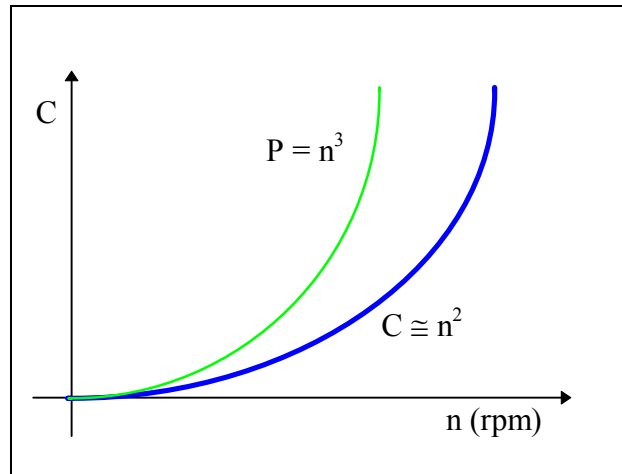
- Torni
- Alesatrici
- Fresatrici
- Piallatrici per legno
- Avvolgitrici, Bobinatrici



C.4 Macchine a Coppia Quadratica

In queste macchine la coppia resistente è in rapporto quadratico rispetto alla velocità. E' il caso tipico delle macchine che lavorano con fluidi (liquidi o aeriformi).

- Ventilatori e ventole di ogni tipo
- Eliche
- Macchine a pistoni con erogazione in rete aperta
- Pompe Centrifughe
- Pompe Assiali
- Compressori a vite
- Agitatori,
- Centrifughe
- Veicoli.



Nota : tipicamente nelle macchine che spingono fluidi, la portata è in rapporto “al cubo” rispetto alla velocità.

COPYRIGHT - Proprietà del Documento

Questo documento è stato redatto da Marco Dal Prà, perito industriale iscritto all'albo della Provincia di Venezia.

Cosa si può fare

Il documento può essere liberamente utilizzato e distribuito per scopi didattici sia da parte di studenti che di docenti di scuole pubbliche di ogni grado, e di corsi di specializzazione pubblici.

Può essere liberamente stampato per uso personale da chiunque sia interessato ad approfondire l'argomento in proprio.

Cosa non si può fare

Il documento non può essere replicato, su altri siti internet, mailing list, pubblicazioni cartacee (riviste) e cd-rom, ciò indipendentemente dalle finalità di lucro.

E' proibito utilizzarlo a scopo di lucro, come ad esempio da parte di società private che a qualsiasi titolo tengano corsi di aggiornamento e/o di specializzazione.

Per tali finalità è possibile prendere accordi che dovranno essere formulati in forma scritta da entrambe le parti.

Esclusione di Responsabilità

I contenuti del presente documento sono utilizzabili così come sono.

Nonostante i controlli fatti prima di renderlo di pubblico dominio nel sito internet, **non** è possibile assicurare che il documento sia esente da errori e/o omissioni.

Nessuna responsabilità può essere attribuita all'autore del documento per l'utilizzo dello stesso.

Note

I marchi citati nel presente documento sono di proprietà dei relativi produttori.

Aggiornamenti

Il presente documento può essere aggiornato dall'autore a sua discrezione e senza alcun preavviso.

Ad esempio l'autore può decidere di effettuare un aggiornamento sulla base di libere segnalazioni fatte dai lettori, all'indirizzo dalpra.marco@gmail.com.

In ogni caso, ciò non avviene a cadenza periodica.

Per verificare la presenza di una versione più aggiornata consultare il sito www.marcodalpra.it.