

Relazione sul motore asincrono trifase.

A cura di Pierpaolo N.

Con questa relazione l'autore intende fornire un punto di riferimento a tutti coloro che si cimentano nel relazionare la progettazione e la costruzione di un motore asincrono trifase.

Tale relazione venne fatta in ambito di un area di progetto durante il triennio presso l'Istituto Tecnico Industriale Statale di Melfi.

Nella speranza di averVi fatta cosa gradita, Vi ringrazio per le preferenze.

Premessa.

La tesina di T.D.P. riporta il funzionamento del motore asincrono trifase. Particolare attenzione è stata data alla spiegazione del campo magnetico rotante, e alle prove di collaudo eseguite.

La tesina si articola in più capitoli riguardanti, i diversi aspetti del motore, suddivisi in paragrafi arricchiti con grafici e schemi vari.

Pierpaolo N.

I.T.I.S. MELFI

RELAZIONE DI T.D.P.

Progetto di un motore asincrono trifase.

I docenti:

M. Cardone
E. Diliberti

Alunno:

Pierpaolo N.

Classe V sezione BE

Anno scolastico 1999/2000

(1) MOTORE ASINCRONO TRIFASE: GENERALITÀ.

Il motore asincrono trifase, conosciuto anche come motore ad induzione o motore a campo rotante, è una macchina che per il suo funzionamento si basa sui principi dell'elettromagnetismo; trasformando così l'energia elettrica in energia meccanica.

Queste macchine sono classificate in base a:

- potenza fornita;
- corrente;
- principi costruttivi.

Con la prima classificazione si distinguono i motori di piccola, media potenza; infatti le potenze erogabili variano da alcune frazioni di watt ad alcune decine di migliaia di kilowatt.

Con la seconda classificazione si distinguono, invece, i motori che lavorano in corrente continua o alternata. Sempre con questa classificazione i motori si suddividono in: monofasi, trifasi, sincroni ed asincroni.

Con la terza classificazione, che è la più usata, si distinguono i seguenti motori:

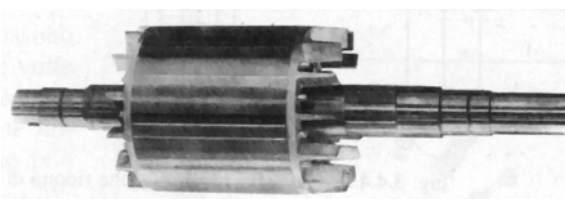
- motore con rotore avvolto in cortocircuito che sono:
 - a gabbia semplice;
 - a doppia gabbia;
 - a barre alte.
- motore con rotore avvolto;
- motore a collettore;
- motore autofrenante.

(1.1) PARTI DEL MOTORE.

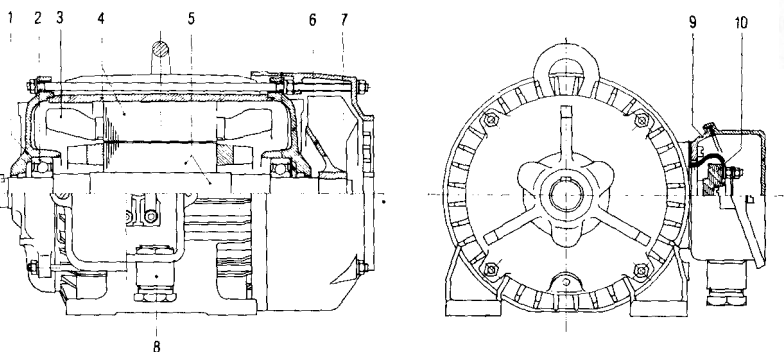
Le parti principali di cui si compone un motore asincrono trifase sono:

- statore;
- rotore;
- avvolgimenti statorici;
- avvolgimenti rotorici;
- morsettiera;
- parti meccaniche.

Lo statore, detto anche induttore, è la parte fissa del motore e si compone di lamierini, presati, a forma di anello con spessore che varia tra i 0,3 e i



0,5 mm. Tutto il pacco di lamierini forma un cilindro cavo, nelle quali si ricavano le cave ove vengono alloggiati gli avvolgimenti statorici.



- | | |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 1 – Scudo lato accoppiamento | 6 – Scudo lato opposto accoppiamento |
| 2 – Cuscinetto lato accoppiamento | 7 – Ventola esterna |
| 3 – Avvolgimento statorico | 8 – Passaggio cavi stagno |
| 4 – Carcassa con pacco statorico | 9 – Scatola morsettiera |
| 5 – Rotore con albero | 10 – Morsettiera a 6 morsetti. |

Il rotore, detto anche parte indotta, è la parte mobile del motore e anch'esso si compone di lamierini magnetici. Il rotore può presentare cave rotoriche, ove vengono alloggiati delle sbarre saldate a due anelli (rotore avvolto in cortocircuito), o può presentare anelli di avviamento e cave ove vengono alloggiati gli avvolgimenti rotorici. Lo spazio vuoto, compreso tra statore e rotore che è dell'ordine del millimetro, è detto *traferro*.

Gli avvolgimenti statorici, così detti perché alloggiati nello statore, hanno una distribuzione tale da produrre, se attraversati da una terna di correnti di uguale intensità ma sfasate di 120° nel tempo, un campo rotante.

Gli avvolgimenti rotorici, così detti perché alloggiati nel rotore, sono sede delle correnti indotte, dovute al campo magnetico.

La morsettiera, fissata sullo statore, permette di collegare i capi degli avvolgimenti statorici per l'allacciamento alla rete di alimentazione.

Le parti meccaniche, sono tutti quei componenti che non assolvono a nessun tipo di funzione elettrica o magnetica. Ne sono un esempio la ventola di raffreddamento fissata sull'albero, l'albero su cui è fissato il rotore, i cuscinetti, i bulloni di serraggio, la carcassa e gli scudi.

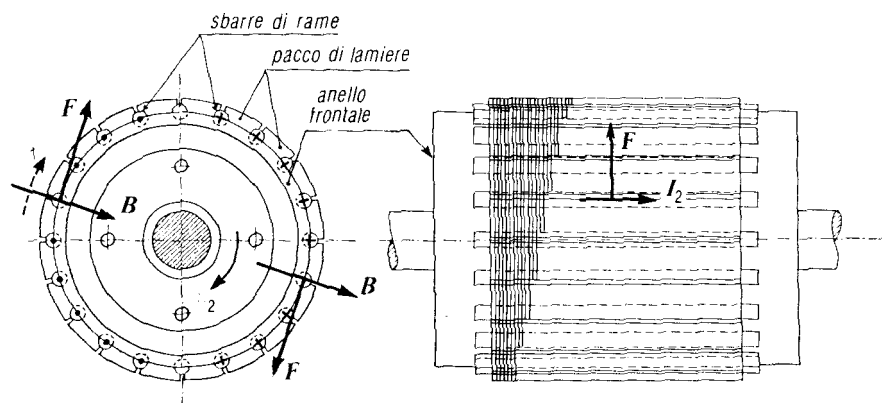
La carcassa e la parte in cui è alloggiato lo statore, mentre gli scudi sono i componenti su cui si fissano i cuscinetti; entrambe assolvono alla protezione meccanica delle parti interne del motore.

(1.2) FUNZIONAMENTO.

Il motore elettrico trifase, allacciato ad una rete trifase, assorbe da essa una terna equilibrata di correnti che, circolando nell'avvolgimento statorico, generano un campo magnetico di velocità costante.

Le linee di forza del campo rotante generato dal circuito statorico, tagliano le sbarre della gabbia creando delle correnti indotte (I_2) che si richiudono attraverso gli anelli frontali. Questo sistema di correnti indotte risulta immerso nel campo magnetico rotante che le genera, il quale esercita su di esse, ovvero sulle sbarre della gabbia che ne sono il supporto, un complesso di forze magnetoelettriche (F) costituenti, nel loro insieme, una coppia che trascina il cilindro in rotazione nello stesso verso del campo rotante induttore.

Durante la rotazione, il rotore non può raggiungere la velocità di sincronismo poiché, fra le sbarre e il campo rotante, non si ha alcun moto relativo ovvero non si ha più un taglio delle linee di forza e le correnti indotte si annullano. In queste condizioni, mancando un'azione motrice che trascina il rotore in rotazione,



il rotore stesso rallenta finché non si crea un moto di scorrimento fra il rotore e il campo magnetico.

Con queste affermazioni, è facile intuire alcune caratteristiche tipiche dei motori asincroni, esse sono:

- velocità di rotazione inversamente proporzionale alla forza resistente, ciò vuol dire che il motore raggiunge una velocità tanto vicina a quella di sincronismo quanto minori sono le resistenze frenanti;
- velocità costante sotto carico, infatti caricando il motore, si ha un piccolo rallentamento finché le correnti indotte non assumono una intensità tale da creare una coppia motrice uguale alla forza frenante dovuta al carico; dopo di che la velocità resta costante;

- funzionamento stabile, ciò è dovuto alla capacità del motore ad adeguare la sua velocità di rotazione al fine di sviluppare una coppia motrice che si opponga a quella resistente.

(1.2.1) INCONVENIENTI DURANTE IL FUNZIONAMENTO.

Il motore è soggetto, durante il funzionamento, a diversi inconvenienti dovuti essenzialmente a fattori esterni ed interni.

Come fattori esterni distinguiamo tutti gli inconvenienti relativi alla linea elettrica di alimentazione: vi possono essere, infatti, black-out o abbassamenti di tensione. Il primo comporta l'arresto del motore, e quindi l'arresto del ciclo di lavoro a cui faceva capo il motore stesso; il secondo comporta un rallentamento della velocità e, a limite, anche l'arresto del motore se la coppia resistente è maggiore della nuova coppia motrice.

Come fattori interni, distinguiamo i cortocircuiti degli avvolgimenti che comportano un grosso problema termico e il funzionamento a scosse del motore sino all'arresto. Il problema termico può essere dovuto anche a sovraccarichi e aumenti di tensione nonché a crepe nella gabbia rotorica.

Il sovraccarico comporta un aumento della corrente rotorica, a cui segue un aumento della corrente statorica con conseguente riscaldamento dei due avvolgimenti; l'aumento di tensione, oltre i limiti imposti dalle norme CEI, producono gravosi effetti termici dovuti ad un accresciuto valore di induzione che causa un aumento di perdite, nel circuito magnetico, e una forte corrente di magnetizzazione: una diminuzione di frequenza causa gli stessi inconvenienti; le crepe nella gabbia rotorica, infine, producono un eccessivo riscaldamento a causa della resistenza relativamente bassa: infatti, se si interrompe la continuità metallica della gabbia, la parte della sezione in conduzione è interessata da una alta intensità di corrente che comporta un riscaldamento.

Tutto ciò, può rovinare l'isolamento e mandare fuori servizio il motore.

(1.2.2) FUNZIONAMENTO RUMOROSO.

Le cause di funzionamento rumoroso, sono da ricercarsi tra gli organi meccanici, anche se ve ne sono altre di natura diversa. Le più comuni sono essenzialmente dovuti a: guasti ai cuscinetti, ovvero usura delle sfere e sgabbiatura, ingresso di corpi estranei, difetto di centratura.

A ciò si aggiungono altre cause come: induzione del traferro oltre il valore di saturazione in caso di sovraccarico o diminuzione di frequenza, che causa una specie di mugolio; addensamento di flusso in una zona con traferro minore, che produce una vibrazione, dovuta ai pennelli di flusso, che può essere attutita dalla inclinazione delle cave della gabbia.

Le vibrazioni possono comportare cortocircuiti e interruzione degli avvolgimenti rotorici e statorici.

(1.2.3) MANUTENZIONE.

La manutenzione, è una operazione atta ad evitare che avvengano guasti improvvisi compromettendo un ciclo di lavoro. A tal fine si ispezionano principalmente le parti meccaniche più sollecitate come: supporti, serraggi e cuscinetti. Generalmente la manutenzione avviene a intervalli di lunghi periodi, nel caso sia installato in ambienti puliti ed asciutti, ma può essere anche frequente nel tempo, nel caso il motore sia installato in ambienti umidi o polverosi.

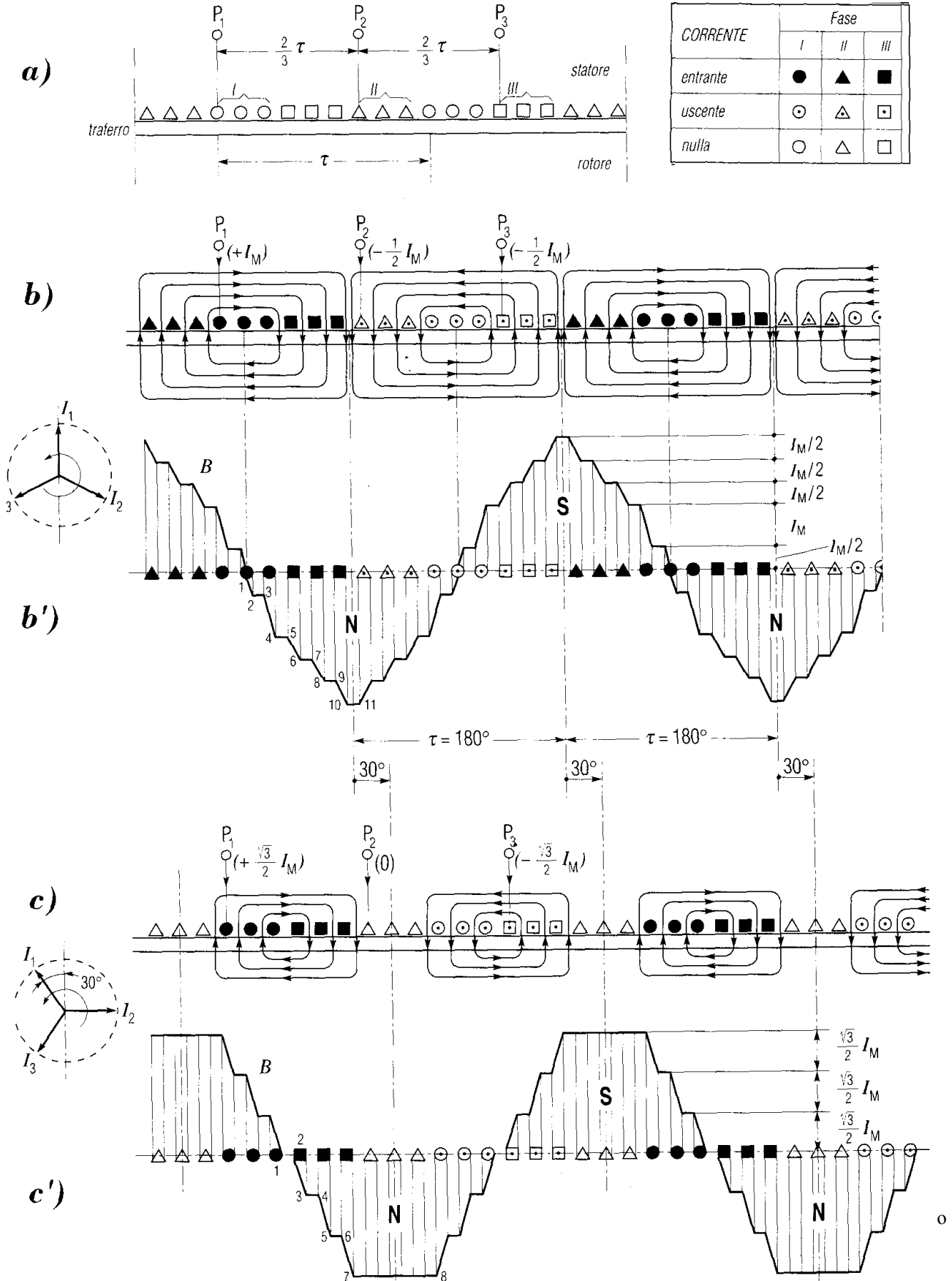
(1.3) CAMPO MAGNETICO ROTANTE.

Per descrivere il processo di formazione del campo rotante, che viene generato dagli avvolgimenti dello statore, si considera un avvolgimento trifase ripartito in tre canali per polo e per fase e si immagina di sviluppare la circonferenza di statore, e il traferro, su una retta, riportata in figura, in cui τ è il passo polare, P1 P2 e P3 i principi delle tre fasi, poste a $2/3$ di τ , sullo statore, ovvero

Il file è di proprietà di Pierpaolo N. Se ne autorizza la copia purché non sia a scopo di lucro. Il file è scaricabile dal mio sito web all'indirizzo: <http://utenti.quipo.it/presependo> nella home page della sezione dedicata a Melfi

distanziate l'una dall'altra di 120° elettrici.

Alimentando i tre avvolgimenti con un sistema trifase, si considera l'istante in cui la corrente, nella prima fase, passa per il suo valore massimo positivo: in tale istante le altre due correnti hanno un valore pari alla metà del massimo, e sono di segno negativo. Convenendo di considerare positive le correnti quando entrano per il principio delle rispettive fasi, si avrà nella prima fase, una corrente pari a I_M che entra per il principio P1, mentre nelle altre due fasi si avranno due correnti, negative,



- Come si origina il campo rotante statorico.

di valore pari a $I_M/2$ uscenti dai principi P2 e P3.

Le correnti nei fasci attivi dell'avvolgimento, assumono così la distribuzione indicata nella figura **b** e cioè si alternano consecutivamente nove fasci con corrente entrante, e nove con corrente uscente: nei tre fasci che stanno al centro di ogni gruppo, la corrente ha il valore I_M e negli altri il valore $-I_M/2$. Una distribuzione di corrente così fatta, produce un campo magnetico le cui linee di forza assumono l'andamento indicato nella stessa figura; si formano in tal modo sulla faccia dello statore, verso il traferro, tante polarità alternate nord e sud: le polarità nord dove le linee di forza escono dallo statore verso il traferro, le polarità sud dove le stesse linee di forza rientrano dal traferro nello statore.

Lungo ciascuna linea di forza del campo, agisce una forza magnetomotrice corrispondente a tutte le correnti attorno a cui la linea stessa si richiude; poiché ogni linea di forza attraversa il traferro due volte, si può costruire un diagramma delle *f.m.m.* riferito al traferro attribuendo, a ciascun passaggio del traferro, una *f.m.m.* pari alla metà della totale corrispondente a tutte le correnti concatenate con la linea di forza che si considera.

Il diagramma assume l'andamento segnato nella figura **b'**. La *f.m.m.* è nulla in corrispondenza del centro del fascio di mezzo di ciascun gruppo di correnti rispettivamente entranti o uscenti: procedendo da tale centro verso i fasci laterali, la *f.m.m.* aumenta, in un verso oppure nell'altro, ad ogni fascio di una quantità proporzionale alla corrente di tale fascio, mentre negli intervalli fra un fascio e l'altro rimane costante.

La *f.m.m.* è zero ad esempio nel punto 1; aumenta, verso il basso, di $I_M/2$ da 1 a 2 (metà della corrente del fascio che ha il centro in 1); rimane costante fra 2 e 3, aumenta di I_M fra 3 e 4, perché il fascio corrispondente è percorso dalla corrente I_M ; rimane costante fra 4 e 5, perché il fascio corrispondente è percorso dalla corrente $I_M/2$, e analogamente aumenta ancora di $I_M/2$ fra 7 e 8, e fra 9 e 10. Fra 10 e 11 conserva il valore massimo pari a $3 I_M$.

Si è Supposto in ciò, che ciascun fascio sia composto da un solo conduttore: all'atto pratico, poiché in un canale si hanno più passaggi, tutte le ordinate del diagramma dovranno essere moltiplicate per il numero di conduttori di ciascun fascio.

Se si ammette che la riluttanza dei percorsi delle linee di forza nel ferro sia trascurabile rispetto a quella del traferro, come si è fatto, le ordinate del diagramma delle *f.m.m.* risultano senz'altro proporzionali ai corrispondenti valori dell'induzione magnetica (B) nel traferro, e le aree racchiuse dal diagramma, a loro volta, proporzionali al flusso (Φ) relativo a ciascun polo del campo.

Questa configurazione però, non resta fissa: essa, infatti scorre lungo il traferro, come risulta infatti ripetendo le considerazioni precedenti per l'istante che segue, ad esempio quello sopra considerato di $1/12$ di periodo, corrispondente a 30° elettrici: si avranno in tale istante le condizioni rappresentate nelle figure **c** e **c'** e cioè: la corrente nella seconda fase è zero; nella prima fase si ha invece una corrente pari a $3 \cdot \sqrt{3}/2 I_M$ positiva, mentre nella terza fase si ha una corrente eguale ma di segno opposto: la prima entra per il principio P1 e la terza esce dal principio P3.

Il diagramma delle *f.m.m.* e della induzione (B) nel traferro, assumono così la forma rappresentata nella figura **c'**: la *f.m.m.* è nulla nell'intervallo da 1 a 2, aumenta verso il basso di $\sqrt{3}/2 I_M$ fra 2 e 3, e della stessa quantità aumenta ancora fra 4 e 5, e fra 6 e 7; conserva poi costante il valore raggiunto pari a $3 \cdot \sqrt{3}/2 I_M$ per tutto l'intervallo fra 7 e 8 perché i fasci, compresi in questo intervallo, hanno corrente nulla.

Confrontando i due diagrammi si rilevano così due fatti: in primo luogo, il diagramma ha cambiato forma e cioè è variata la distribuzione dell'induzione magnetica nel traferro: è diminuita essenzialmente l'induzione massima, in corrispondenza degli assi dei poli, ma le aree racchiuse dal diagramma tuttavia non hanno subito una gran variazione; perciò il flusso corrispondente, a ciascun polo, è rimasto sensibilmente costante; in secondo luogo, il campo si è spostato verso destra, e precisamente gli assi dei poli hanno percorso, nell'intervallo considerato di $1/12$ di periodo, un angolo pari a $1/6$ del passo polare τ e cioè un angolo corrispondente a 30° elettrici.

Rifacendo la costruzione del diagramma del campo dopo un altro dodicesimo di periodo, si

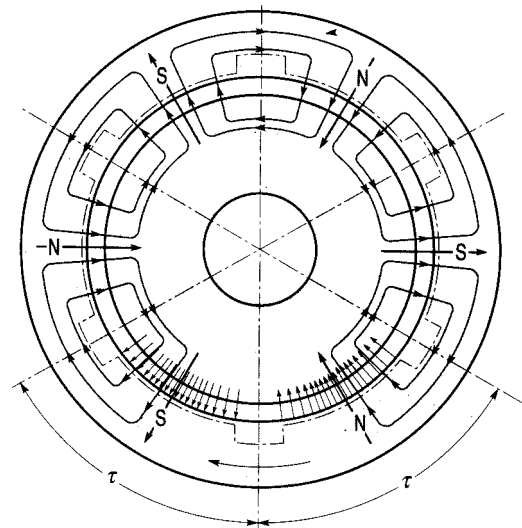
avrebbe che il diagramma riprende ancora la forma della figura **b'** e si sposta ancora verso destra di altri 30° elettrici: ad ogni dodicesimo di periodo ripete, successivamente, gli stessi cambiamenti spostandosi ogni volta di 1/12 del doppio passo polare 2τ .

Se le correnti di alimentazione dello statore hanno la forma sinusoidale, si ha dunque nel traferro un campo rotante a polarità alternate nord sud, il quale ruota di un campo completo, e cioè d'un angolo corrispondente ad una coppia di poli, ad ogni periodo delle correnti di alimentazione; durante la rotazione, tuttavia, il campo non rimane invariato ma si deforma periodicamente pulsando fra le due forme limite, indicate nelle due figure **b'** e **c'**, ad ogni dodicesimo di periodo. Il valore del flusso, corrispondente a ciascun polo, non subisce però che variazioni assai limitate. Nella forma d'onda del campo, si ravvisa comunque un'onda fondamentale di forma sinusoidale, con una grande molteplicità di armoniche.

In ogni caso se il campo rotante ha p coppie di poli, esso percorre nello spazio, ad ogni periodo, un angolo pari a $360^\circ/p$, cioè compie un giro completo in p periodi: se la frequenza delle correnti di alimentazione è f , il campo gira con una velocità pari a f/p giri al secondo e compie quindi al minuto primo un numero di giri dato dalla relazione: $n_1 = 60f/p$.

Tale campo può essere concepito come una corona di p coppie di poli, come in figura, inseriti nel pacco lamellare, che scorrono, sulla superficie interna dello statore, con velocità costante n_1 detta velocità di sincronismo.

Concludendo si può affermare che: un avvolgimento trifase percorso da un sistema trifase di correnti, produce una forza magnetomotrice risultante che conserva un valore pressoché costante nel tempo mentre ruota, intorno all'asse del sistema, con la velocità di sincronismo.



(1.4) AVVIAMENTO DEL MOTORE ASINCRONO TRIFASE.

L'avviamento del motore è basato sulla sua potenza e sul tipo di rotore che lo compone. Si possono distinguere due diversi tipi di avviamento:

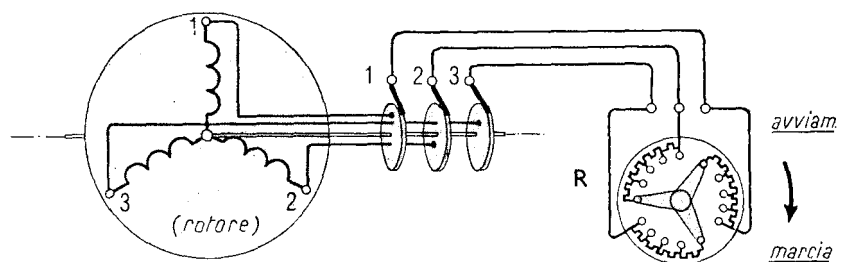
- avviamento a tensione nominale;
- avviamento a tensione ridotta.

L'avviamento a tensione nominale, regolato dalla norma CEI 17-7, permette l'inserzione diretta dei motori alla rete di alimentazione; ne è un esempio il teleavviamento di marcia.

L'avviamento a tensione ridotta, regolato della norma CEI 17-8, permette l'inserzione dei motori in linea con tensioni inferiori a quella nominale nella fase di partenza; ne è un esempio l'avviamento stella-triangolo.

L'avviamento dei motori con rotore avvolto in cortocircuito, può avvenire o tramite tensione nominale o tramite tensione ridotta.

Per i motori con rotore a gabbia semplice, l'avviamento è attuato con tensione nominale solo se il motore è di piccola potenza ($2 \div 3$ KW), mentre per potenze fino ai 20 KW si attua l'inserzione a tensione ridotta. Nei motori con rotore a doppia gabbia



schema di rotore ad anelli con reostato di avviamento

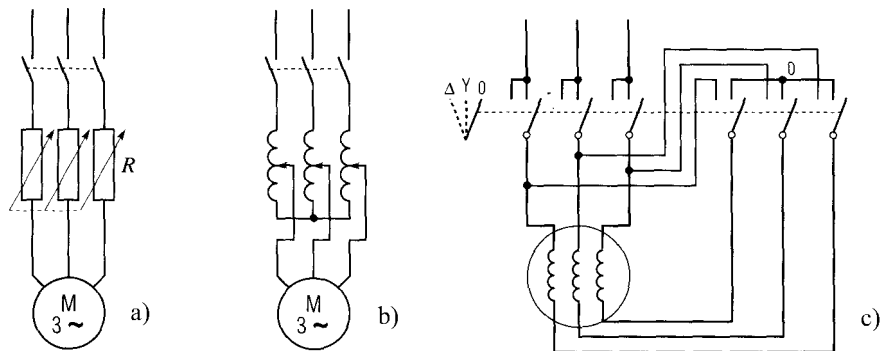
di scioiattolo, l'avviamento è generalmente effettuato con tensione ridotta; è però possibile avviarli con tensione nominale, ma con una coppia di avviamento $1.5 \div 1.8$ volta la coppia nominale, e una corrente 4 volte quella nominale. I motori con rotore a barre alte hanno, all'avviamento, un comportamento intermedio tra il motore con rotore a gabbia semplice e il motore con rotore a doppia gabbia.

L'avviamento dei motori con rotore avvolto, avviene tramite i reostati di avviamento. Essi, posti in serie agli avvolgimenti rotorici, si escludono gradualmente dalla fase di avvio fino all'avviamento completato, comportando la chiusura in cortocircuito dell'avvolgimento rotorico. Il reostato comporta una riduzione della corrente di inserzione, o di spunto, ed un aumento della coppia di spunto.

L'avviamento con tensione ridotta avviene in tre modi differenti:

- con commutatore stella-triangolo;
- con autotrasformatore;
- con resistenze e reattanze statoriche.

Il primo metodo è usato per motori di piccola e media potenza, ottenendo una riduzione della coppia e della corrente di avvio; il secondo metodo è usato per motori di potenze elevate, mentre il terzo metodo è usato per motori di piccola potenza alimentati da reti elettriche, di portate più modeste; ne è un esempio il motore per ascensori. Il motore però, può assorbire, a parità di coppia di avviamento, correnti maggiori.



Avviamento a tensione ridotta:
a) con reostato statorico;
b) con autotrasformatore;
c) con commutazione stella triangolo.

(1.4.1) INCONVENIENTI ALL'AVVIAMENTO.

Il motore asincrono, che per il suo avviamento ha solamente bisogno di essere collegato alla rete di alimentazione, può andare incontro ad uno stentato avviamento o addirittura a una mancata partenza.

Infatti, può accadere che vi siano problemi di alimentazione o di avviatore, ma esclusi questi problemi esterni, ve ne sono altri propri della macchina.

Avendo dei motori, a rotore avvolto, che per l'avviamento necessitano di un reostato, si può verificare una sua interruzione che, anche se non impedisce la partenza del motore, riduce la coppia allo spunto che si può avere solo con un ben determinato valore di resistenza rotorica. I cortocircuiti nell'avvolgimento statorico, escludono un certo numero di spire, per cui una fase produce un flusso minore delle altre comportando, in questo caso, un campo rotante di intensità inferiore a quella di progetto comportando un avviamento stentato.

I cortocircuiti nel rotore, invece, fanno diminuire il valore della reazione di indotto per cui in genere non si ha l'avviamento.

Le eventuali interruzioni degli avvolgimenti, rotorico e statorico, o della gabbia rotorica, causano un avviamento stentato, nel primo e terzo caso, e un mancato avviamento nel secondo caso.

Altri casi di avviamenti stentati sono: i collegamenti delle fasi a triangolo invece che a stella, che causano una coppia di avviamento ridotta di un terzo del suo valore nominale; avviamento a tensione ridotta, che causa una riduzione di coppia poiché è direttamente proporzionale al quadrato della tensione.

(1.5) REGOLAZIONE DELLA VELOCITA'.

La velocità di un motore asincrono trifase può essere ritenuta, escludendo piccole fluttuazioni dovute alle variazioni del carico, costante.

E' possibile modificare la velocità con tre metodi differenti:

- commutazioni di polarità;
- inserzioni di un reostato;
- variazioni della frequenza tramite convertitori.

Il metodo più usato è il terzo, cioè è dovuto alla difficile variazione su scorrimento e numero di poli; è da menzionare che la regolazione della velocità può avvenire anche con motoriduttori.

La regolazione della velocità con commutazione di polarità si esegue, tramite la variazione del numero di poli realizzati sugli avvolgimenti statorici, tramite il cambiamento delle connessioni portate all'esterno della morsettiera.

Il metodo descritto trova maggiore applicazione sui motori con rotore a gabbia di scoiattolo, mentre crea problemi con motori aventi il rotore avvolto; infatti a ogni commutazione degli avvolgimenti statorici deve seguire una commutazione degli avvolgimenti rotorici.

Per far fronte a questo problema si usano appositi motori, aventi due distinti avvolgimenti statorici o un solo avvolgimento con connessioni secondo lo schema Dahlander.

Con questo tipo di motore si possono ottenere sino a quattro commutazioni di polarità diverse, esse sono:

- con avvolgimento Dahlander, per due velocità;
- con due avvolgimenti semplici, ma separati, per due velocità;
- con un avvolgimento Dahlander e un avvolgimento semplice, separato, per tre velocità;
- con due avvolgimenti Dahlander, separati, per quattro velocità.

Con i normali motori che si trovano in commercio, si riscontrano le seguenti velocità:

- motore a due poli, funzionante a 3000 giri/min;
- motore a quattro poli, funzionante a 1500 giri/min;
- motore a sei poli, funzionante a 1000 giri/min;
- motore a otto poli, funzionante a 750 giri/min;
- motore a dieci poli, funzionante a 600 giri/min;
- motore a dodici poli, funzionante a 500 giri/min.

La regolazione della velocità tramite reostato di avviamento, si effettua collegando un reostato all'avvolgimento rotorico. Questa operazione causa un aumento dello scorrimento provocando una riduzione della velocità.

Questo tipo di regolazione presenta molti inconvenienti, infatti si ha: una variazione di impedenza rotorica con riduzione della corrente di avviamento, possibile instabilità di funzionamento e aggravamento economico a causa dell'energia dissipata dal reostato.

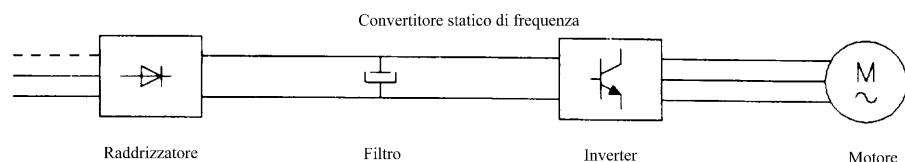
Il metodo descritto trova applicazioni nel campo del sollevamento di carichi.

La regolazione della velocità con convertitori statici di frequenza, avviene tramite la trasformazione di un sistema trifase, o monofase, a tensione e frequenza costante in un sistema a tensione e frequenza variabile.

I convertitori, che sono dei dispositivi di potenza e assolvono alla funzione di regolazione, si compongono di quattro elementi essenziali:

- un convertitore corrente alternata/corrente continua;
- un filtro;
- un invertitore;
- una logica di controllo.

Questa applicazione è generalmente usata per: ventilatori, pompe, nastri convogliatori e



trasportatori, azionamenti e servizi ausiliari su macchine operatrici.

(2) DIMENSIONAMENTO DI UN MOTORE ASINCRONO TRIFASE.

Generalità.

Il dimensionamento di un motore, è atto a determinare i vari elementi di cui si compone, essi sono:

- la lunghezza ed il diametro del pacco di lamierini statorici;
- il lamierino statorico e rotorico da impiegare per costruire il motore;
- il numero di matasse dell'avvolgimento;
- il numero di spire delle matasse;
- il collegamento e la sistemazione delle matasse nelle cave;
- la sezione delle singole spire;
- la lunghezza totale dell'avvolgimento.

I dati che si hanno a disposizione, per il dimensionamento sono:

- la potenza resa;
- la tensione e la frequenza di alimentazione;
- il numero di giri al minuto del motore.

Svolgimento.

Il dimensionamento ha inizio con la determinazione delle coppie polari e quindi del numero di poli, la relazione usata è: $N = 120 \cdot f / p$ da cui si ricava: $p = 120 \cdot f / N$.

Le coppie polari possono essere determinate tramite tabella, conoscendo il numero di poli, o con la relazione: $n = 60 \cdot f / 2p$ da cui si ricava: $2p = 60 \cdot f / n$.

Questi dati saranno utilizzati per ricavare, tramite tabella, il valore dell'induzione magnetica massima nel traferro, B_M . Successivamente si determina, sempre tramite tabella, il valore del flusso (ϕ) in funzione della potenza resa del motore.

Con questi valori, si può determinare il valore del prodotto tra la lunghezza L , e il diametro D del pacco di lamierini; la relazione usata è: $D \cdot L = p \cdot \phi / B_m$. Usando la tabella 12.V, si può ricavare il valore del rapporto tra la lunghezza ed il diametro del pacco di lamierini; fatto ciò è possibile ricavare il valore di L e di D risolvendo il sistema formato dalle seguenti equazioni:

- $L/D =$ valore tabellato, da cui si ha $L =$ valore tabellato $\cdot D$;
- $D \cdot L =$ valore tabellato, da cui si ha $D =$ valore tabellato $\cdot D = A$, dove per A si intende un generico valore, risolvendo ancora si ha: $D^2 = A /$ valore tabellato.

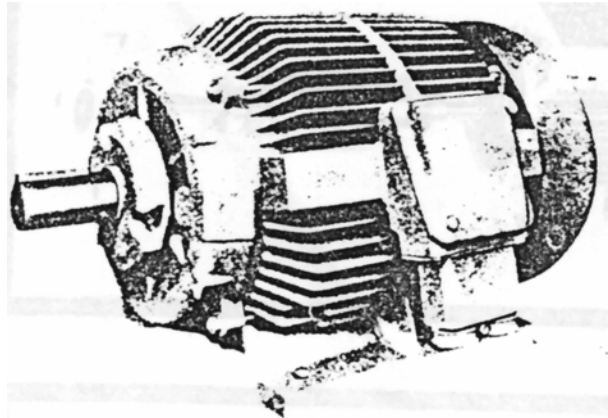
Con questi dati a disposizione, si può determinare, tramite tabella, il tipo di lamierino da usare per lo statore. In base al lamierino scelto, le tabelle ci forniscono il lamierino del rotore corrispondente. Dimensionato il circuito magnetico, si passa al calcolo dell'avvolgimento statorico. La prima operazione consiste nel determinare il numero di conduttori in serie per fase, con la seguente relazione: $N = E / 2,22 \cdot K_a \cdot f \cdot \phi$ la tensione, stellata, è stata ridotta del 3% a causa della caduta di tensione che si ha nell'avvolgimento stesso; mentre "Ka", valore tabellato, è il fattore di avvolgimento.

Ora è possibile determinare il numero di cave per polo per fase, indicato con "q", con l'ausilio della seguente relazione: $q = c / 2p \cdot 3$ dove "c" indica il numero di cave dello statore.

Si determinano ora il numero di conduttori per cava "Nc" dalla seguente relazione: N/cf dove "cf", cave per fase, è dato dalle relazione: $cf = c/3$.

Con l'ausilio di tabelle, si può desumere il valore del rendimento che dovrebbe avere il motore; a tal punto si può ricavare il valore della corrente assorbita dal motore con la seguente relazione:

$$I = P/3 \cdot V \cdot n \cdot \cos\phi.$$



Assumendo una densità di corrente di 4 A/mm^2 , si può determinare la sezione del filo di rame: $S_{Cu}=I/\delta$; si può determinare, tramite tabella, il valore della sezione commerciale.

La cava, dovendo contenere l'avvolgimento, deve risultare maggiore o uguale del valore ottenuto dalla relazione: $Nc \cdot S_{Cu}/K_r$ dove K_r è il coefficiente di avvolgimento. Nel caso in cui la sezione risultasse più piccola di quella calcolata, si ripeteranno i calcoli dell'avvolgimento assumendo un lamierino maggiore.

Si determina, in fine, la lunghezza delle spire: $l = 2 \cdot (L+1,7 \cdot \pi \cdot D/2p)$ da cui si ha che la lunghezza totale è: $l_t = l \cdot N \cdot c/2$ ove il rapporto $c/2$ indica il numero di matasse.

(2.1) REALIZZAZIONE DELL'AVVOLGIMENTO STATORICO.

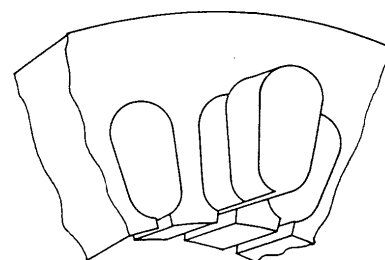
La realizzazione degli avvolgimenti, per motori di modeste potenza, può essere fatto in diversi modi; in questo contesto, si ritiene più opportuno illustrare quelli più usati, ovvero:

- avvolgimenti embricati;
- avvolgimenti concentrici.

L'operazione si articola in più fasi, esse sono:

- isolamento delle cave;
- costruzione delle matasse;
- montaggio delle matasse;
- serraggio delle matasse nelle cave;
- collegamento delle fasi;
- isolamento delle teste;
- verifica dei collegamenti;
- legatura e verniciatura delle teste.

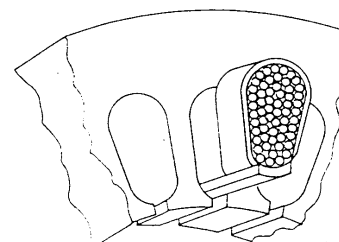
L'isolamento delle cave avviene per mezzo di un isolante, cartoncino bachelizzato (riportato in figura), avente opportune caratteristiche elettriche e meccaniche. Il cartoncino deve sporgere lateralmente di circa 4-8mm e, per evitare uno slittamento all'interno della cava, deve avere un doppio bordo. Una volta inserito il cartoncino nella cava lo si modella affinché non assuma la stessa forma della cava, a tal fine, come per le altre operazioni che verranno illustrate, si è preferito utilizzare utensili in legno.



La costruzione delle matasse ha inizio col dimensionamento, sperimentale o con formula, della spira media. Tale operazione è atta ad evitare spiacevoli inconvenienti nel serraggio nelle matasse poiché una spira lunga andrebbe a spingere contro gli scudi, mentre una spira corta renderebbe difficoltosa, se non impossibile, lo svolgimento dell'operazione.

Determinata la lunghezza della spira media, si dispone la sagoma della bobinatrice; le matasse vengono avvolte tutte nello stesso senso e, infine, si legano con lo spago, o altro, i la ti delle bobine per evitare lo smembramento delle stesse. La forma definitiva delle matasse, la si ottiene all'atto del montaggio sullo statore.

Le matasse vengono montate nello statore con l'ausilio di un pezzo di carta al fine di evitare la possibile graffiatura dello smalto delle stesse matasse. Per comodità, si numerano le cave dello statore, che nella realizzazione del motore è stata effettuata in senso orario, e si alloggiano nel loro interno le matasse seguendo il passo polare. Per procedere in modo più spedito al collegamento degli inizi e delle fini delle matasse, si è avuto cura di numerare i capi delle matasse durante il loro montaggio nelle cave.



Il serraggio delle matasse consiste nel bloccare le matasse nelle cave; a tal fine si usano due diversi metodi:

- piegare sulla cava la parte del cartoncino sporgente e infilare una

bietta di legno;

- realizzare un tegolo, in materiale isolante, di opportune dimensioni affinché occupi tutto lo spazio libero.

Completato il serraggio delle bobine, si passa al loro collegamento. Esso permette di collegare in serie le varie bobine, al fine di realizzare tre gruppi di matasse ai quali faranno capo le tre fasi. Il collegamento lo si esegue tramite uno schema ben determinato; di seguito si illustrano i collegamenti effettuati per la realizzazione del motore:

FASE 1: cave 1-7, 2-8, 13-19, 14-20;

FASE 2: cave 5-11, 6-12, 17-23, 18-24;

FASE 3: cave 9-15, 10-16, 21-3, 22-4.

Passo polare: 6.

PRINCIPI:

fase 1: 1;

fase 2: 5;

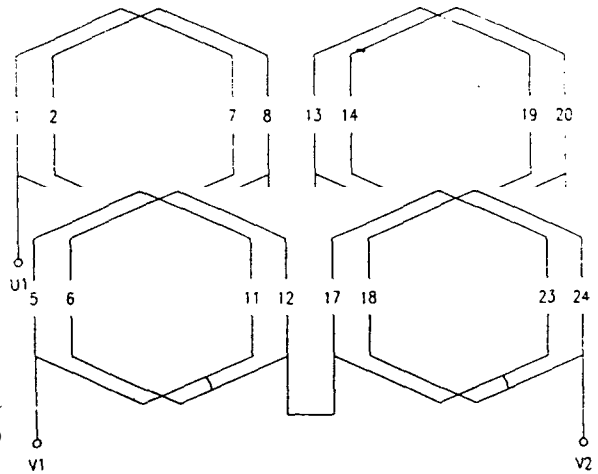
fase 3: 9;

FINI:

fase 1: 20;

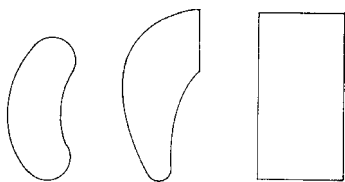
fase 2: 24;

fase 3: 4



L'isolamento delle teste si esegue interponendo, tra una matassa e l'altra, un diaframma isolante che può assumere, a seconda dei casi, forme differenti.

Generalmente, all'isolamento delle matasse, segue la nastratura delle matasse stesse.



La verifica di isolamento, si articola in due misure:

- continuità delle fasi;
- isolamento tra fasi e massa.

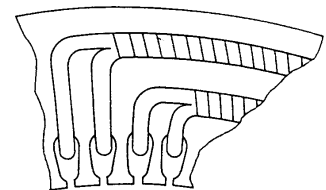
La prima misura si esegue o con un ponte di Wheatstone o con un

ponte di Thomson; la resistenza deve essere uguale in tutte le fasi. La seconda misura la si esegue con un megaohmmetro misuratore di isolamento.

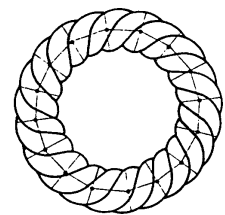
Come ultima fase, si effettua la legatura e la verniciatura delle teste. La legatura ha il compito di evitare possibili vibrazioni alle matasse che, a lungo andare, potrebbero scalfire la smaltatura delle spire. La verniciatura, è effettuata, a seconda dei casi, a pennello, a spruzzo o ad immersione.

Il procedimento da effettuare è il seguente:

- preriscaldamento dell'avvolgimento a 70-80 °C, al fine di eliminare l'umidità;
- verniciatura di amalgama in vasche aperte o in autoclave;
- esposizione prolungata per lo sgocciolamento e l'essiccazione della vernice, all'aria o in forno;
- verniciatura delle teste con smalto di finitura;
- essiccazione all'aria.



Isolamento delle teste (A. concentrici)



Isolamento delle teste (A embricati)

(3) PROVE DI COLLAUDO (generalità).

Le prove di collaudo, a cui è soggetto il motore asincrono trifase, sono atte a determinare le caratteristiche di funzionamento del motore come: la caratteristica della corrente assorbita, la caratteristica del fattore di potenza ($\cos\phi$), la caratteristica dello scorrimento percentuale ($s\%$), la caratteristica del rendimento (h), la caratteristica della coppia utile (T).

La determinazione di tali caratteristiche, si può effettuare con metodo diretto o con metodo indiretto. Il metodo diretto è impiegato nel collaudo dei motori con rotore in cortocircuito o con il file è di proprietà di Pierpaolo N. Se ne autorizza la copia purché non sia a scopo di lucro. Il file è scaricabile dal mio sito web all'indirizzo: <http://utenti.quipo.it/presependo> nella home page della sezione dedicata a Melfi

rotore avvolto di potenza limitata; il metodo indiretto è impiegato nel collaudo dei motori con rotore avvolto di qualsiasi potenza. Il collaudo di un motore con metodo diretto, si effettua caricando il motore con l'ausilio di freni; il collaudo di un motore con metodo indiretto, si effettua eseguendo una serie di prove preliminari sulla macchina in prova e cioè:

- misura delle resistenze statoriche e rotoriche;
- prova di rapporto;
- prova a vuoto;
- prova a rotore bloccato (cortocircuito);
- prova di riscaldamento;
- prova di isolamento.

Con i risultati delle prove è possibile costruire il diagramma circolare, e calcolare i valori delle grandezze del motore nelle diverse condizioni di funzionamento.

La misura della resistenza di una fase statorica e di una fase rotorica, di un motore asincrono con rotore avvolto, si effettua a macchina fredda impiegando il metodo di confronto.

La prova di rapporto, è la prova con la quale si determina il rapporto di trasformazione di un motore asincrono trifase con rotore avvolto. La prova si esegue in due fasi successive: nella prima fase si alimenta il motore dallo statore, misurando col metodo diretto il rapporto di trasformazione (m_s); mentre nella seconda fase si alimenta il motore dal rotore, possibilmente con la stessa tensione di targa, e si misura con lo stesso metodo il rapporto di trasformazione (m_r); il rapporto di trasformazione del motore si calcola con la formula: $m = \sqrt{m_s \cdot m_r}$.

La prova a vuoto, è la prova con la quale si determinano le perdite meccaniche, le perdite nel ferro, la corrente assorbita a vuoto e il fattore di potenza a vuoto, di un motore asincrono trifase con rotore avvolto, alimentato a tensione e frequenza nominale.

La prova si effettua per una serie di valori della tensione di alimentazione del motore sino a superare del 20-30% il valore nominale di tensione. I valori della corrente a vuoto (I_0), delle perdite meccaniche (P_m) e del fattore di potenza ($\cos\phi_0$), si leggono sui rispettivi grafici in corrispondenza del valore nominale della tensione (V_n).

La prova a rotore bloccato, è la prova con la quale si determina la tensione di cortocircuito, la potenza di cortocircuito e il fattore di potenza di cortocircuito, sempre di un motore asincrono trifase con rotore avvolto, funzionante in cortocircuito, ossia con rotore bloccato, con la corrente nominale. Il rotore deve essere bloccato nella posizione che corrisponde al valore medio della corrente di corto circuito. La prova si effettua per una serie di valori della corrente di corto circuito, sino a superare del 20-30% il valore nominale di corrente. I valori della tensione di cortocircuito (V_{cc}), del fattore di potenza di cortocircuito ($\cos\phi_{cc}$) e della potenza di cortocircuito (P_{cc}), si leggono sui relativi grafici in corrispondenza al valore nominale della corrente (I_n).

I freni impiegati nelle prove di collaudo dei motori asincroni trifasi, col metodo diretto, sono freni elettromagnetici: il freno Pasqualini, usato nelle prove su motori di potenza limitata fino a una diecina di chilowatt, e la dinamo-freno nelle prove su motori di potenza più elevata.

Le prove di riscaldamento, hanno lo scopo di determinare le temperature delle diverse parti di una macchina, a regime, per stabilire se tali temperature sono contenute entro i limiti stabiliti dalle norme CEI per le varie classi di isolamento dei materiali impiegati nella costruzione della macchina.

La misura delle temperature si effettua con il metodo per resistenza, per gli avvolgimenti statorici e rotorici; con il metodo termometro, o col metodo dei rilevatori interni, per le altre parti della macchina.

Le prove di riscaldamento si possono effettuare con vari metodi:

- metodo del carico effettivo;
- metodo a circolazione;
- metodo equivalente.

La prova con carico effettivo, si effettua alimentando il motore con tensione e frequenza nominale caricandolo con l'ausilio dei freni; la prova col metodo a circolazione, si effettua solo se si dispone di due macchine gemelle; la prova col metodo equivalente, detto anche metodo dell'alimentazione a tensione ridotta, si effettua facendo funzionare il motore, alternativamente, a vuoto e in cortocircuito con tensione ridotta.

Le prove di isolamento, eseguite sulle macchine asincrone sono:

- misura della resistenza d'isolamento;
- prova con tensione applicata;
- prova con tensione ridotta.

La prova con tensione applicata comprende:

- prova di isolamento esterno;
- prova di isolamento fra le fasi.

La prova con tensione ridotta, si effettua con modalità diverse dipendenti dal tipo di macchina.

(3.1) PROVE DI COLLAUDO (prova a vuoto).

Per realizzare il circuito elettrico, della prova a vuoto, sono stati usati i seguenti strumenti:

- un variatore di tensione trifase, detto variac, della ditta De Lorenzo MOD 2019 con i seguenti dati di targa: alimentazione 220V-50Hz, erogazione 20-440 V, temperatura massima del filo 180°C, temperatura ambiente 40°C; portata: 30 A per un'ora, 20 A per tre ore, 17 A in servizio continuativo.
- un voltmetro della ditta Ganz di tipo HLV-2, N° 084326, di classe 0.5, con i seguenti dati di targa:

600 V	5 mA	120 KΩ
300 V	5 mA	60 KΩ
120 V	5 mA	24 KΩ
60 V	10 mA	6 KΩ

- un amperometro della ditta Ganz, di tipo HLA-2, N° 219325, di classe 0.5, con i seguenti dati di targa:

6 A	15 mΩ	2 mH
3	60 mΩ	8mH
1,2	90 mΩ	55mH
0,6	360 mΩ	220mH

- due wattmetri della ditta Siad di classe 0.5, N° 264952 per il wattmetro a ponte maggiore, N° 264950 per il wattmetro a ponte minore, di tipo LW-1 avente i seguenti dati di targa:

V _n (V)	V (max)	R _v (Ω)	C _{0,5} (W)	C _{1a} (W)	I _n (A)	I max (A)	R (Ω)
60	80	6	0,05	0,1	0,5	0,7	7,6
120	150	12	0,1	0,2	1	1,4	1,9
300	350	30	0,25	0,5			
600	650	60	0,5	1			

- un motore della ditta Elettronica Veneta, N° 2850, con i seguenti dati di targa: tensione U_D 380 V, U_Y 220 V, frequenza 50 Hz, correnti I_D 2.16 A, I_Y 1,25 A, potenza 500 W, coppie polari 1.

Lo scopo della prova, è quello di determinare le perdite che si hanno nel funzionamento a vuoto; esse sono:

- perdite nel ferro: dovute alla magnetizzazione del circuito magnetico;

Il file è di proprietà di Pierpaolo N. Se ne autorizza la copia purché non sia a scopo di lucro. Il file è scaricabile dal mio sito web all'indirizzo: <http://utenti.quipo.it/presependo> nella home page della sezione dedicata a Melfi

- perdite meccaniche: dovute all'attrito degli organi meccanici in movimento;
- perdite nel rame: dovute alla corrente assorbita a vuoto, non trascurabile come per i trasformatori.

Gli strumenti sopraccitati sono stati così scelti: variac di tipo induttivo per avere una forma d'onda il più possibile sinusoidale; ampermetro con portata tale da sopportare la corrente circolante nel circuito; voltmetro con portata tale da sopportare il 20-30% della tensione nominale; wattmetri con basso valore di $\cos\varphi$ e portate, voltmetriche e ampermetriche, con portate uguali rispettivamente a voltmetro ed ampermetro. L'ampermetro ed il voltmetro, fungono da strumenti di controllo e servono per impostare le portate dei wattmetri. Si sono collegati i wattmetri, dato il tipo di carico, in inserzione Aron; per rendere minimo l'autoconsumo dei wattmetri, si sono poste a monte le bobine ampermetriche e voltmetriche.

La prova andrebbe eseguita per valori elevati di tensione, per poi giungere a valori bassi; così facendo, si potrebbe avere il danneggiamento delle apparecchiature, che andrebbero cortocircuitate durante la fase iniziale, a causa dell'elevato valore della corrente di spunto, per motivi di carattere pratico, si è preferito partire da tensioni basse per poi giungere a valori elevati.

Si è alimentato il circuito con valori di tensione di 150 V fino ad arrivare ad un valore di 450 V; in questa fase si è avuto cura di non abbassare troppo il valore di corrente al fine di evitare alti valori di corrente.

La prova è stata articolata in sette fasi consecutive, incrementando il valore di tensione di 50 V per fase. Nella sesta fase, il circuito è stato alimentato, per motivi di carattere pratico, ad un valore di 380 V. Durante queste fasi è stata completata la tabella con i vari valori letti dagli strumenti, per poi arricchirla con i vari dati utili calcolati successivamente; in conclusione si sono costruiti i grafici riportanti le caratteristiche del motore a vuoto.

N°	I_0 (A)	V (V)	K_a	n.d.l. W_a	W_a (W)	K_b	n.d.l. W_b	W_b (W)	P_0 (W)	$\cos\varphi_0$	P_{cuT} (W)	P_{cu0} (W)	n_0
1	0,23	150	0,5	62	31	0,5	16	8	39	0,652	8,63	7,07	2900
2	0,28	200	0,5	88	44	0,5	3	1,5	45,5	0,496	12,79	10,48	
3	0,36	250	1	65	65	0,5	-8	-4	61	0,370	23,56	17,32	n_2
4	0,38	300	1	82	82	0,5	-32	-16	66	0,352	21,15	17,34	2850
5	0,43	350	1	105	105	0,5	-69	-34,5	70,5	0,27	30,17	24,73	
6	0,46	380	1	123	123	0,5	-91	-45,5	77,5	0,256	34,53	28,31	s
7	0,5	400	1	125	125	0,5	-110	-55	70	0,231	40,8	33,45	0,017

Dal grafico, in corrispondenza di I_n , si sono ricavati i seguenti valori:

- $V_0 = V$;
- $\cos\varphi = 0$,
- $P_0 = W$.

(3.2) PROVE DI COLLAUDO (prova in cortocircuito).

Collaudo per via indiretta mediante diagramma circolare.

Per realizzare il circuito elettrico, schematizzato in figura, sono stati usati i seguenti strumenti:

- un variatore di tensione trifase, detto variac, della ditta De Lorenzo MOD 2019 con i seguenti dati di targa: alimentazione 220V-50Hz, erogazione 20 \oplus 440 V, temperatura massima del filo 180°C, temperatura ambiente 40°C; portata: 30 A per un'ora, 20 A per tre ore, 17 A in servizio continuativo.
- un voltmetro della ditta Ganz di tipo HLV-2, N° 084326, di classe 0.5, con i seguenti dati di targa:

600 V	5 mA	120 K Ω
300 V	5 mA	60 K Ω
120 V	5 mA	24 K Ω
60 V	10 mA	6 K Ω

- un amperometro della ditta Ganz, di tipo HLA-2, N° 219325, di classe 0.5, con i seguenti dati di targa:

6 A	15 mΩ	2 mH
3 A	60 mΩ	8mH
1,2 A	90 mΩ	55mH
0,6 A	360 mΩ	220mH

- due wattmetri della ditta Siad di classe 0.5, N° 264952 per il wattmetro a ponte maggiore, N° 264950 per il wattmetro a ponte minore, di tipo LW-1 avente i seguenti dati di targa:

Vn (V)	V (max)	Rv (Ω)	C _{0,5} (W)	C _{1a} (W)	In (A)	I max (A)	R (Ω)
60	80	6	0,05	0,1	0,5	0,7	7,6
120	150	12	0,1	0,2	1	1,4	1,9
300	350	30	0,25	0,5			
600	650	60	0,5	1			

- un motore della ditta Elettronica Veneta, N° 2850, con i seguenti dati di targa: tensione U_D 380 V, U_Y 220 V, frequenza 50 Hz, correnti I_D 2.16 A, I_Y 1,25 A, potenza 500 W, coppie polari 1.

Gli strumenti, sopraccitati, sono stati così scelti: variac induttivo per distorcere il meno possibile la forma d'onda della tensione; ampermetro, e bobine ampermetriche dei wattmetri, con una portata superiore al 20-30% della corrente nominale; voltmetro, e le bobine volumetriche dei wattmetri, con una portata superiore del 20-30% della tensione nominale, wattmetri a basso cosφ.

Al fine di evitare il più possibile gli errori strumentali, a causa dell'autoconsumo delle apparecchiature, si collegano le bobine volumetriche dei wattmetri, e il voltmetro, a valle.

Una volta realizzato il circuito, lo si è alimentato per valori crescenti di tensione, riportando nelle tabelle redatte in precedenza, e riportate di seguito, tutte le letture strumentali. La prova è stata articolata in cinque fasi sequenziali e con il rotore bloccato. Al termine della prova, si sono eseguiti dei calcoli al fine di avere più dati utili per la realizzazione del diagramma circolare.

In una fase successiva si sono realizzati i diagrammi di seguito riportati.

Osservazioni:

La prova è stata eseguita due volte a causa di alcuni imprevisti verificatisi durante le letture della tensione; la tabella si riferisce ai dati ottenuti nello svolgimento della seconda prova.

N°	I _{cc} (A)	V _{cc} (V)	K _a	n.d.l. W _a	W _a (W)	K _b	n.d.l. W _b	W _b (W)	P _{cc} (W)	cosφ _{cc}	R (Ω)	X (Ω)	Z (Ω)
1	0,3	21	0,05	68	3,4	0,05	26	1,3	4,7	0,790	1,003	9,647	9,699
2	0,6	44	0,1	124	12,4	0,1	61	6,1	18,5	0,861	3,947	19,936	20,323
3	0,9	66	0,5	67	33,5	0,2	69	13,8	47,3	0,811	10,091	28,765	30,487
4	1,2	88	0,5	119	59,5	0,2	125	25	84,5	0,816	10,027	36,429	40,645
5	1,5	110	1	91	91	0,5	84	42	133	0,843	28,373	42,146	50,807

Dal grafico, in corrispondenza di I_n, si sono ricavati i seguenti valori:

- V_{cc} = V;
- cosφ_{cc} = 0;
- P_{cc} = W.